

ESTUDO DE POTENCIAL ENERGÉTICO REGIONAL PARA INSERÇÃO NA
MATRIZ ELÉTRICA – O CASO DA GERAÇÃO A BIOGÁS NA REGIÃO OESTE
DO PARANÁ

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de
Freitas

Rio de Janeiro
Maio de 2021

ESTUDO DE POTENCIAL ENERGÉTICO REGIONAL PARA INSERÇÃO NA
MATRIZ ELÉTRICA – O CASO DA GERAÇÃO A BIOGÁS NA REGIÃO OESTE
DO PARANÁ

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Aprovada por: Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Prof. Amaro Olímpio Pereira Junior

Prof. David Alves Castelo Branco

Prof. Nivalde José de Castro

Prof. Oswaldo Hideo Ando Junior

Prof^a. Suani Teixeira Coelho

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2021

Stilpen, Daniel Vasconcellos de Sousa

Estudo de potencial energético regional para inserção na matriz elétrica – o caso da geração a biogás na região oeste do Paraná / Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XVII, 198 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 109-149.

1. Planejamento Energético Regional. 2. Recursos Energéticos Distribuídos. 3. Geração Distribuída. 4. Biogás. 5. Oeste do Paraná. I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

“Não importa quão devagar você vai, desde que não pare”

(Confúcio)

“Alles hat ein Ende, nur die Wurst hat zwei”

(verso de tradicional música alemã)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a mim mesmo, por ter mantido o foco e perseverado mesmo nos momentos mais turbulentos dessa longa e árdua jornada do conhecimento.

À Monique, minha incrível e muito compreensiva esposa, que desde o início entendeu o grande esforço que seria necessário para desenvolver esse trabalho. Por me acompanhar na aventura de largar o emprego estável para estudar no exterior, por me apoiar psicologicamente, por me ajudar a estruturar a tese, por superar um ano de confinamento com marido 100% dedicado à tese e por fazer uma criteriosa revisão do texto.

Ao meu pai, que sempre me estimulou a estudar “até tirar o diploma de doutorado”.

Ao Marcos Freitas, meu orientador desde o mestrado, por sempre me motivar a entrar no doutorado, por acreditar neste tema, por entender o ritmo de dedicação possível para um aluno em tempo parcial e por me fazer persistir até o final. Obrigado pela longa parceria!

Ao Diego (Mumu), amigo da época de graduação, que sempre esteve disposto a ouvir minhas lamúrias e a fazer *brainstorms* para me ajudar a delimitar o escopo desta tese. Sem seu apoio o trabalho provavelmente não seria o mesmo.

À Empresa de Pesquisa Energética (EPE), pela vivência adquirida em balanços energéticos e na elaboração de cenários de oferta e demanda de energia.

Ao Juarez Castrillon Lopes, que sempre acreditou no tema, pela eficiente articulação institucional na EPE que permitiu minha inscrição no doutorado.

Aos colegas do IVIG e do PPE (pesquisadores, técnicos administrativos e professores) agradeço pela habitual cordialidade e pela visão interdisciplinar que sempre traziam para os projetos e conversas durante a pausa para o café.

Ao Programa Ciência Sem Fronteiras, pelo apoio financeiro para a etapa de doutorado sanduíche na Technische Universität München (TUM), em Munique (Alemanha).

À pesquisadora Dr^a Vicky Cheng, que gentilmente me recebeu no seu grupo de pesquisa Energy Efficient and Smart Cities (EESC) na TUM, me supervisionando durante um ano com muita dedicação e competência. *Herzlichen Dank für alles!*

Ao CIBiogás, pela oportunidade ímpar de trabalhar na equipe do Plano Energético do Oeste do Paraná e por autorizar sua utilização neste trabalho. Foi um período de intenso aprendizado sobre a cadeia produtiva do biogás e sobre a atividade agropecuária.

Ao Grupo Energisa e à Light, por terem me trazido a vivência profissional para que esta tese de doutorado tivesse maior coerência com a realidade operacional de uma distribuidora de eletricidade, assegurando maior robustez aos argumentos desenvolvidos.

Aos membros da banca, por aceitarem o convite e pelas contribuições feitas para a lapidação final deste trabalho.

Por último, aos inúmeros amigos de EPE, PPE, TUM, IVIG, CIBiogás, Energisa e Light, cujos nomes não caberiam nesta página e que contribuíram, direta ou indiretamente, com alguma frase, ensinamento ou dica para melhorar este trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ESTUDO DE POTENCIAL ENERGÉTICO REGIONAL PARA INSERÇÃO NA
MATRIZ ELÉTRICA – O CASO DA GERAÇÃO A BIOGÁS NA REGIÃO OESTE
DO PARANÁ

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

Maio/2021

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Planejamento Energético

Esta tese tem como objetivo principal avaliar o potencial energético do biogás em 54 cidades da região oeste do Paraná, para suprimento parcial da demanda elétrica até 2026. Inicialmente é feito um levantamento acerca do planejamento energético em diferentes recortes geográficos (nacional, regiões, estados, cidades e conjunto de cidades). Na sequência é feita a avaliação crítica da inserção de recursos energéticos distribuídos nas redes de distribuição, com foco na geração distribuída (que tem apresentado um ritmo de crescimento vertiginoso no Brasil). Em decorrência da vasta disponibilidade de resíduos orgânicos da atividade agropecuária, foi estimado que a região oeste do Paraná poderia produzir 1,1 milhão Nm^3/dia de biogás e 59,2 MWm de energia elétrica, somente em propriedades rurais, abatedouros e frigoríficos. Se forem adicionados os potenciais da energia solar fotovoltaica e das hidrelétricas, conclui-se que o potencial teórico das fontes renováveis para geração elétrica nessa região é de 3.252.423 MWh/ano (ou 371,3 MWm). Este montante equivale a 82,7% da demanda local em 2016 e ficaria na faixa entre 40,9% e 48,8% da projeção de consumo para 2026 (dependendo do cenário).

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

REGIONAL ENERGY POTENTIAL STUDY FOR INSERTION IN THE
ELECTRICITY MATRIX – THE CASE OF BIOGAS ELECTRICITY GENERATION
IN THE WEST REGION OF PARANÁ STATE

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

May/2021

Advisor: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department: Energy Planning

The main objective of this thesis is to evaluate the energy potential of biogas in 54 cities in the western region of Paraná, to supply part of the electrical demand by 2026. First is presented a survey about energy planning in different geographic areas (national, regions, states, cities and groups of cities). Next, a critical assessment of the insertion of distributed energy resources in the distribution networks is carried out, focusing on distributed generation (which has shown a rapid growth rate in Brazil). Due to the vast availability of organic waste from agricultural and livestock activities, it was estimated that the western region of Paraná state could produce 1.1 million Nm³/day of biogas and 59.2 MWm of electricity, only in rural properties and slaughterhouses. If solar photovoltaic and hydropower potentials are added, the overall theoretical potential of renewable sources for electricity generation in this region would be 3,252,423 MWh/year (or 371.3 MWm). This amount is equivalent to 82.7% of local demand in 2016 and would be in the range between 40.9% and 48.8% of the consumption projection for 2026 (depending on the scenario).

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Justificativa	3
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Objetivo Geral	8
1.3.2. Objetivos Específicos	8
1.4. Estrutura da Tese	9
CAPÍTULO 2 – PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NO BRASIL	10
2.1. Nível Nacional.....	11
2.2. Nível Regional.....	15
2.3. Nível Estadual.....	17
2.4. Nível Municipal.....	28
2.5. Nível Infra Estadual (Multi Cidades).....	30
CAPÍTULO 3 – RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS	32
3.1. Recursos Energéticos Distribuídos	32
3.2. Geração Distribuída.....	39
3.3. Biogás	49
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO	65
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICE I – Metodologia do Sistema de Geração de Balanços Energéticos – SIGEBA 1.0	150
ANEXO I – População estimada para 2016 na região oeste do Paraná (habitantes)	156
ANEXO II – Abate de aves na região oeste do Paraná em 2016 (milhões de cabeças).....	157
ANEXO III – Abate de bovinos na região oeste do Paraná em 2016 (cabeças)	158
ANEXO IV – Abate de suínos na região oeste do Paraná em 2016 (milhares de cabeças)	159
ANEXO V – Produção de leite na região oeste do Paraná em 2016 (metros cúbicos)	160
ANEXO VI – Efetivo de galinhas poedeiras na região oeste do Paraná em 2015 (cabeças)....	161
ANEXO VII – Produção de peixes na região oeste do Paraná em 2016 (toneladas)	162
ANEXO VIII – Produção de milho na região oeste do Paraná em 2015 (mil toneladas)	163
ANEXO IX – Produção de soja na região oeste do Paraná em 2015 (mil toneladas).....	164
ANEXO X – Produção de mandioca na região oeste do Paraná em 2015 (toneladas)	165
ANEXO XI - Registro de Programa de Computador SIGEBA 1.0 no INPI.....	166
ANEXO XII – Balanço Energético do estado do Paraná – ano base 2016	167

ANEXO XIII – Usinas hídricas (UHE, CGH e PCH) em funcionamento na região oeste do Paraná.....	168
ANEXO XIV – Usinas termelétricas (UTE) em funcionamento na região oeste do Paraná	169
ANEXO XV – Concentração de usinas fotovoltaicas (kW) em funcionamento na região na região oeste do Paraná.....	170
ANEXO XVI – Balanço Energético da Região Oeste do Paraná – ano base 2016.....	171
ANEXO XVII – Consumo de energia elétrica na região oeste do Paraná (MWh)	172
ANEXO XVIII – Metodologia para elaboração de cenários de demanda de energia no Plano Energético do oeste do Paraná	173
ANEXO XIX – Taxa de crescimento populacional por município entre 2016 e 2026	178
ANEXO XX – Potencial hidrelétrico na região oeste do Paraná	179
ANEXO XXI – Potencial fotovoltaico em propriedades rurais no oeste do Paraná	180
ANEXO XXII – Metodologia para cálculo do potencial de biogás no Plano Energético do oeste do Paraná.....	181
ANEXO XXIII – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de frangos no oeste do Paraná.....	191
ANEXO XXIV – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de bovinos no oeste do Paraná	192
ANEXO XXV – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de suínos no oeste do Paraná.....	193
ANEXO XXVI – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de peixes no oeste do Paraná.....	194
ANEXO XXVII – Potencial de geração elétrica com biogás na indústria de mandioca no oeste do Paraná.....	195
ANEXO XXVIII – Potencial de geração elétrica com biogás na bovinocultura leiteira no oeste do Paraná.....	196
ANEXO XXIX – Potencial de geração elétrica com biogás no oeste do Paraná.....	197
ANEXO XXX - Registro de Programa de Computador CIEEA 1.0 no INPI.....	198

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura Geral de um Balanço Energético	3
Figura 2 – Complexidade de operação de sistemas elétricos	4
Figura 3 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS.....	6
Figura 4 – Estrutura Atual do Setor Elétrico Brasileiro	10
Figura 5 – Geração Hidrelétrica no Brasil – 1901-1951	12
Figura 6 – Balanços Energéticos Regionais (Nordeste e Sudeste).....	15
Figura 7 – Matriz Elétrica da Região Sul – 2015	16
Figura 8 – Potencial de Produção de Biogás em Abatedouros (esquerda) e Laticínios (direita)	17
Figura 9 – Disponibilidade de Dejetos de Ovinos e Equinos na Região do Médio Alto Uruguai (RS)	29
Figura 10 – Informações Energéticas sobre Ribeirão Preto (SP) – 2018	29
Figura 11 – Demanda Energética no Oeste do Paraná – ano base 2016	30
Figura 12 – Potencial Teórico de Fontes Renováveis no Oeste do Paraná	31
Figura 13 – Exemplos de Recursos Energéticos Distribuídos.....	32
Figura 14 – Paradoxo do Planejamento: Geração Centralizada x RED	33
Figura 15 – Sistemas de Armazenamento de Energia	34
Figura 16 – Estratégias para Gerenciamento pelo Lado da Demanda.....	35
Figura 17 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica da Mini e Micro GD	41
Figura 18 – Evolução da Quantidade de Sistemas de GD Instalados – 2008 a 2021	46
Figura 19 – Alternativas Propostas para Revisão da REN 482/2012	48
Figura 20 – Quatro Etapas da Biodigestão Anaeróbica	50
Figura 21 – Usos Finais de Biogás e Biometano.....	54
Figura 22 – Armazenamento de Biogás e Biometano em Gasômetros	55
Figura 23 – Potenciais de Geração Elétrica e de Biometano em 2019, por Setor.....	56
Figura 24 – Participação Relativa dos Estados no Potencial Teórico de Biogás	57
Figura 25 – Localização das Plantas de Biogás de Pequeno Porte.....	59
Figura 26 – Localização das Plantas de Biogás de Médio Porte	60
Figura 27 – Localização das Plantas de Biogás de Grande Porte.....	60
Figura 28 – Localização das 543 Plantas de Biogás para Geração Elétrica em 2020	63
Figura 29 – Localização das 81 Plantas de Biogás para Energia Térmica em 2020	63
Figura 30 – Localização das 8 Plantas de Biogás para Produção de Biometano em 2020	64
Figura 31 – Localização das 6 Plantas de Biogás para Energia Mecânica em 2020	64
Figura 32 – Caracterização Territorial do Oeste do Paraná	65
Figura 33 – Presença de Cooperativas Agropecuárias no Oeste do Paraná	66
Figura 34 – Localização por Fotointerpretação de Aviários de Corte no Oeste do Paraná	68
Figura 35 – Localização por Fotointerpretação de Granjas de Suínos em Terminação no Oeste do Paraná	69
Figura 36 – Ventilação e Exaustão em Aviários	70
Figura 37 – Mortes de Aves no Paraná por Causas Não Biológicas – 2016	71
Figura 38 – Aeradores em Tanques de Piscicultura	76
Figura 39 – Ordenha Mecânica de Bovinos	78
Figura 40 – Linha de Produção em Abatedouros	79
Figura 41 – Diagrama Sankey de Energia no Paraná – ano base 2016	82
Figura 42 – Demanda Elétrica no Paraná – ano base 2016	83

Figura 43 – Diagrama Sankey de Energia na Região Oeste do Paraná – 2016.....	84
Figura 44 – Demanda Elétrica no Oeste do Paraná – ano base 2016	85
Figura 45 – Consumo Cativo na Indústria do Oeste do Paraná.....	90
Figura 46 – Consumo Livre na Indústria do Oeste do Paraná.....	91
Figura 47 – Consumo Cativo Rural no Oeste do Paraná.....	92
Figura 48 – Projeção de Demanda Industrial em Cascavel	95
Figura 49 – Projeção de Demanda Rural em Assis Chateaubriand	95
Figura 50 – Projeção de Demanda Total na Região Oeste do Paraná	96
Figura 51 – Subestações e Linhas de Transmissão na Região Oeste do Paraná	97
Figura 52 – Carregamento Percentual dos Transformadores Seleccionados em 2026	98
Figura 53 – Irradiação Solar Mensal no oeste do Paraná	101
Figura 54 – Potencial Solar Fotovoltaico no Oeste do Paraná	101
Figura 55 – Potencial de Biogás em Abatedouros no Oeste do Paraná.....	103
Figura 56 – Potencial Teórico de Energias Renováveis por Município	104
Figura 57 – Macro Etapas de Desenvolvimento do SIGEBA 1.0	151
Figura 58 – Filtro Lógico para Centros de Transformação, Setor Energético e Segmentos Industriais.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 1)...	20
Tabela 2 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 2)...	21
Tabela 3 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 3)...	22
Tabela 4 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 4)...	23
Tabela 5 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 5)...	24
Tabela 6 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 6)...	25
Tabela 7 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 7)...	26
Tabela 8 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 8)...	27
Tabela 9 – Fontes de Energia na GD em 31/05/2021	42
Tabela 10 – Modalidade no Sistema de Compensação da GD em 31/05/2021	43
Tabela 11 – Potência Instalada de Sistemas de GD por UF em 31/05/2021	43
Tabela 12 – Potência Instalada de Sistemas de GD por Região Geográfica em 31/05/2021	44
Tabela 13 – Classe de Consumo com Sistemas de GD em 31/05/2021	45
Tabela 14 – Evolução dos Sistemas e da Capacidade Instalada de GD – 2008 a 2021 .	45
Tabela 15 – Plantas de biogás no Brasil em 2020	57
Tabela 16 – Capacidade das plantas de biogás em operação no Brasil em 2020	58
Tabela 17 – Matéria-prima das plantas de biogás em operação no Brasil em 2020.....	61
Tabela 18 – Uso final do biogás oriundo de plantas em operação no Brasil em 2020...	61
Tabela 19 – Quantidade de plantas por setor e por uso final em 2020.....	62
Tabela 20 – Produção e Produtividade de Culturas Agrícolas Seleccionadas	67
Tabela 21 – Efetivo de Rebanhos e Produtos de Origem Animal Seleccionados.....	67
Tabela 22 – Indicadores de Continuidade Individuais	72
Tabela 23 – Indicadores de Continuidade Coletivos	73
Tabela 24 – Ultrapassagem de DEC e FEC no ano civil de 2016.....	74
Tabela 25 – Duração média das interrupções em 2016.....	75
Tabela 26 – Casos recentes de blecaute na região oeste com prejuízo para piscicultores	77
Tabela 27 – Casos recentes de blecaute na região oeste com prejuízo para produtores de leite	79
Tabela 28 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 1).....	86
Tabela 29 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 2).....	87
Tabela 30 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 3).....	88
Tabela 31 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 4).....	89
Tabela 32 – Variação do consumo de eletricidade por classe em relação a 2016 [%]... 93	
Tabela 33 – Potencial hidrelétrico inventariado na região oeste do Paraná	100
Tabela 34 – Potencial anual de biogás e energia elétrica em abatedouros e frigoríficos	102
Tabela 35 – Potencial anual de biogás e energia elétrica em propriedades rurais.....	102
Tabela 36 – Calibração da ferramenta SIGEBA 1.0 para matrizes estaduais	154
Tabela 37 – Calibração da ferramenta SIGEBA 1.0 para matrizes regionais	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica
ABGD – Associação Brasileira de Geração Distribuída
ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás e do Biometano
ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulada
ADAPAR – Agência de Defesa Agropecuária do Paraná
AEN – Agência de Notícias do Paraná
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
BEE – Balanço Energético Estadual
BEN – Balanço Energético Nacional
BIG – Banco de Informações da Geração
BRDE – Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul
BTU – British Thermal Unit
CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
CGH – Central Geradora Hidrelétrica
CH₄ – Metano
CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás
CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNPE – Conselho Nacional de Política Energética
CNPJ – Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

COPEL – Companhia Paranaense de Energia
CP – Consulta Pública
CPF – Cadastro de Pessoas Físicas
CPFL – CPFL Energia
DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
DER – Distributed Energy Resources
DIC – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
DICRI – Duração da Interrupção Individual Ocorrida em Dia Crítico por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
DMIC – Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
DOE – U.S. Department of Energy
DSM – Demand Side Management
E+ – Instituto E+ Transição Energética
EDP – EDP Energias do Brasil
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ESS – Encargos de Serviços do Sistema
ETE – Estações de Tratamento de Esgoto
EY – Ernst & Young
FAEP – Federação da Agricultura do Estado do Paraná
FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FGV – FGV Energia
FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
FIEP – Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FURNAS – Furnas Centrais Elétricas
FV – Fotovoltaica
GD – Geração Distribuída
GEE – Gases de Efeito Estufa
GEF – Global Environmental Facility
GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico

GJ – GigaJoule
GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
GNC – Gás Natural Comprimido
GNV – Gás Natural Veicular
GT MODERNIZAÇÃO – Grupo de Trabalho Modernização do Setor Elétrico
GWP – Global Warming Potential
H₂ – Hidrogênio
H₂S – Gás Sulfídrico
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IEA – International Energy Agency
IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente
ILUMINA – Instituto de Desenvolvimento Estratégico do Setor Energético
INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IoT – Internet of Things
IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA – Instituto de Planejamento Econômico e Social
IRENA – International Renewable Energy Agency
ITAIPU – Itaipu Binacional
LCOE – Custo Nivelado de Energia
LT – Linha de Transmissão
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
ME – Ministério da Economia
MEB – Matriz Energética Brasileira
MIT – Massachusetts Institute of Technology
MME – Ministério de Minas e Energia
N₂ – Nitrogênio
NC – Nível de Contratação
NIEPE – Núcleo Interdisciplinar de Estudos em Planejamento Energético
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OLADE – Organização Latino-Americana de Energia
OMS – Organização Mundial de Saúde
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU – Organização das Nações Unidas
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PCI – Poder Calorífico Inferior
PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia
pH – Potencial Hidrogeniônico
PIMEB – Programa de Implementação do Modelo Energético Brasileiro
PLD – Preço de Liquidação de Diferenças
PNE – Plano Nacional de Energia
POD – Programa Oeste em Desenvolvimento
PROBIOGÁS – Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil
PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RED – Recursos Energéticos Distribuídos
REN – Resolução Normativa
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SCES – Supercapacitores
SIGA – Sistema de Informações da Geração da ANEEL
SIGEBA – Sistema de Geração de Balanços Energéticos
SIN – Sistema Interligado Nacional
SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SV – Sólidos Voláteis
TE – Tarifa de Energia
TRH – Tempo de Retenção Hidráulica
TUM – Technische Universität München
TUSD – Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
UC – Unidade Consumidora
UF – Unidade da Federação
UHE – Usina Hidrelétrica
UN – United Nations

UNIDO – Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural

UTE – Usina Termelétrica

WWF – World Wild Fund

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

No Brasil o planejamento energético é realizado regularmente em âmbito nacional, com protagonismo do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Seus principais instrumentos são o Balanço Energético Nacional (BEN), que registra as matrizes energéticas e séries históricas desde 1970 (EPE, 2020a), e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), que apresenta os cenários de oferta e demanda de energia com horizonte temporal de dez anos (MME/EPE, 2020a).

Contudo, muitas vezes a solução ótima para um conjunto não é também a melhor solução para todas as suas partes. Neste sentido é possível presumir que o planejamento energético com maior granularidade geográfica (em âmbito estadual, regional ou municipal) tenderia a estimar com maior precisão a demanda local, assim como revelar com maior fidelidade as oportunidades para aproveitamento de recursos energéticos distribuídos (STILPEN, D.V.S., 2015, STILPEN, D.V.S., CHENG, V., 2015a, HUNT, J.D., STILPEN, D.V.S., FREITAS, M.A.V., 2018).

Alguns estados e municípios já compreenderam as vantagens proporcionadas pela descentralização do planejamento energético e têm publicado estudos com maior granularidade geográfica. Embora nem sempre se observe regularidade ou periodicidade definida, estas publicações representam um significativo salto de qualidade na acurácia dos cenários de demanda e oferta de energia, beneficiando as regiões analisadas.

Neste contexto é possível citar três estudos recentes¹: o Anuário de Energéticos por Município no estado de São Paulo (GOVERNO SP, 2019), a Matriz Energética do estado do Rio de Janeiro 2017-2031 (GOVERNO RJ, 2018) e o Atlas das Biomassas do Rio Grande do Sul para Produção de Biogás e Biometano (GOVERNO RS, 2016a).

Recursos Energéticos Distribuídos (RED)² podem ser definidos como sistemas para geração ou armazenamento de energia elétrica, normalmente modulares e de pequeno porte, instalados próximo às unidades consumidoras, podendo ser conectados à rede de distribuição ou operar em modo isolado do *grid* (EPE, 2018a, US DOE, 2002 e IRENA, 2019a).

¹ A contribuição efetiva destas referências será analisada no capítulo 2 desta tese;

² Tradução do termo em inglês *Distributed Energy Resources* (DER).

Os exemplos mais comuns de RED são: sistemas de geração distribuída (GD), armazenamento em baterias, veículos elétricos, eficiência energética e resposta da demanda, entre outros (FGV, 2016).

A inserção dos recursos energéticos distribuídos na rede da distribuidora, quando feita de forma planejada e com a efetiva participação de todos os *stakeholders*³, pode trazer diversas contribuições ao sistema, dentre as quais citam-se: aumento da qualidade da energia elétrica em alguns subconjuntos (especialmente redução de DEC⁴ e FEC⁵ em áreas rurais), redução da demanda de pico, maior segurança energética e diminuição dos custos com expansão e reforços de redes de distribuição.

Entretanto, caso não exista um sincronismo adequado entre os agentes, é possível que sistemas de geração distribuída ou armazenamento em baterias sejam instalados longe das zonas críticas da rede (que são identificadas nos estudos de carga das distribuidoras).

Portanto, neste ponto cabe a ressalva que a inserção dos RED na rede de distribuição pode causar um efeito oposto, piorando os indicadores de qualidade, tornando mais complexa a operação cotidiana de suprimento elétrico e aumentando a necessidade de reforços na rede no curto prazo (inclusive em novas subestações).

Nesta conjuntura se desenvolve esta tese de doutorado, que pretende discutir a relação entre a descentralização do planejamento energético e a crescente utilização dos recursos distribuídos na matriz elétrica nacional. No decorrer de cinco capítulos serão abordadas questões regulatórias, a disponibilidade territorial de alguns recursos energéticos, atributos operativos e ambientais dos RED, entre outros aspectos.

Além disso, será apresentado o mais completo estudo de planejamento regional no país, realizado entre 2017 e 2018 no estado do Paraná. O Plano Energético do Oeste do Paraná (POD, 2018a) analisou a matriz energética e traz cenários de demanda elétrica anual para 54 (cinquenta e quatro) municípios⁶, com abertura por classe consumidora.

³ Neste caso os *stakeholders* seriam a distribuidora, os clientes cativos, o operador do sistema elétrico (ONS) e a agência reguladora (ANEEL);

⁴ Sigla para “Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora”, sendo um indicador de qualidade para aferir a quantidade média de horas em que houve descontinuidade do suprimento de eletricidade para um consumidor, durante um período de apuração (ANEEL, 2015a);

⁵ Sigla para “Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora”, sendo um indicador de qualidade para aferir a quantidade média de interrupções no suprimento de eletricidade para um consumidor, durante um período de apuração (ANEEL, 2015a);

⁶ No início do projeto a área de interesse era formada por 50 municípios da antiga mesorregião oeste do Paraná, além de Ubitatã (mesorregião centro-ocidental), Nova Laranjeiras e Quedas do Iguaçu (ambas da mesorregião centro-sul) e Brasilândia do Sul (mesorregião noroeste). Posteriormente o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou uma nova divisão regional brasileira, substituindo os conceitos

Como consequência direta do supramencionado Plano Energético, em janeiro de 2019 foi anunciada a construção da Central de Bioenergia a Biogás de Toledo (PR). Com investimentos previstos em torno de R\$100 milhões, a central terá potência instalada de 1 MW e será abastecida com 11 mil Nm³/dia de biogás, oriundos de dejetos suínos e resíduos agroindustriais (TOLEDO, 2019, TOLEDO, 2020a e TOLEDO, 2020b).

Um exemplo adicional seria o Plano Paraná Trifásico, lançado pelo governo estadual e pela Copel em outubro de 2019 (AEN, 2019). Estão previstos investimentos de R\$ 2,1 bilhões até 2025 para modernização da rede rural da distribuidora, visando aumentar a qualidade de suprimento elétrico e fomentar o desenvolvimento econômico na região, baseado no agronegócio (AEN, 2020a, AEN, 2021a e AEN, 2021b).

1.2. Justificativa

O ponto de partida para construção de um cenário de demanda é um balanço energético e a Figura 1 ilustra uma representação dos seus principais fluxos. Com algumas adaptações é possível representar uma matriz energética estadual, regional ou municipal. A principal modificação seria referente à delimitação da fronteira geográfica (afetaria, por exemplo, a contabilização de importação e exportação de fontes de energia).

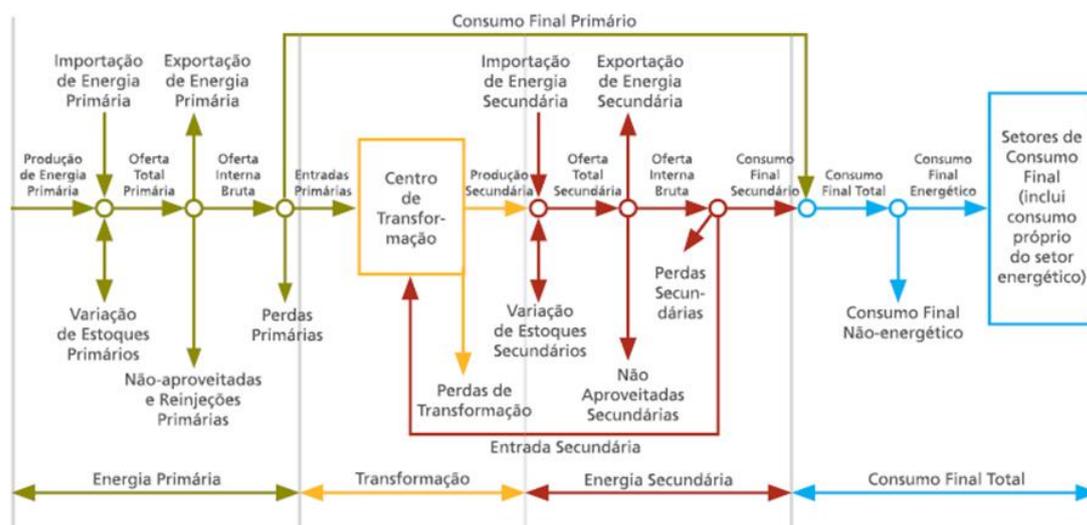


Figura 1 – Estrutura Geral de um Balanço Energético

Fonte: EPE, 2020a

de “mesorregião” e “microrregião” por “região geográfica intermediária” e “região geográfica imediata” (IBGE, 2017). De acordo com a nova classificação a maioria das cidades estudadas (52 dentre 54) se localiza na região geográfica intermediária de Cascavel (IPARDES, 2018).

Atualmente poucos estados brasileiros publicam balanços energéticos regularmente, com dados confiáveis e em consonância com a metodologia⁷ preconizada pela Agência Internacional de Energia – IEA. O motivo mais frequente é a inexistência de mão-de-obra qualificada e perene (servidores de carreira) dentro das secretarias estaduais, apta a realizar os estudos energéticos⁸.

No âmbito federal a EPE vem aprimorando continuamente o BEN e o PDE. É um desejo antigo da empresa conseguir refinar mais seus cenários, especialmente no sentido de explicitar melhor as singularidades estaduais e regionais existentes no Brasil⁹.

A penetração maciça dos RED na matriz elétrica torna mais complexo o papel do planejador, por acrescentar mais incertezas às projeções de demanda e oferta centralizada, além da avaliação acerca da necessidade de expansão do SIN (EPE, 2018b).

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e as distribuidoras também precisarão se adaptar, pois terão que lidar no curto/médio prazo com redes cada vez mais complexas e bidirecionais (Figura 2). O PDE aponta que a fração de recursos energéticos distribuídos subirá para 19% da matriz elétrica até 2030 (MME/EPE, 2020b).

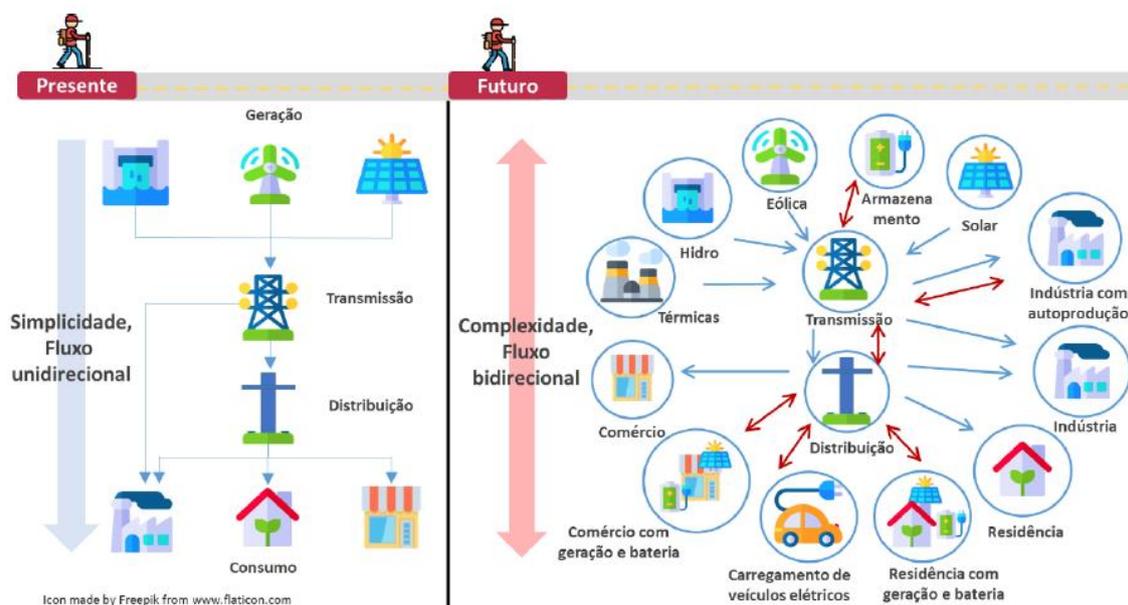


Figura 2 – Complexidade de operação de sistemas elétricos

Fonte: EPE, 2018a

⁷ Metodologia descrita na publicação “Energy Statistics Manual” (IEA, 2005);

⁸ Nessa situação a decisão costuma ser terceirizar a execução do estudo, contratando consultores no mercado. Isso não é um problema, desde que seja seguida a metodologia do BEN, para garantir comparabilidade de resultados e indicadores;

⁹ No capítulo 2 serão relatadas as iniciativas da EPE relacionadas a este propósito.

Em paralelo observa-se no setor elétrico uma crescente adoção da estratégia conhecida como “3D”: descarbonização, descentralização e digitalização (ABRADEE, 2017, CANAL ENERGIA, 2019, PIRES, A., 2018 e GESEL, 2018). Inclusive, algumas das maiores distribuidoras do país já incorporaram formalmente este conceito às suas estratégias corporativas (CEMIG, 2018, NEOENERGIA 2020, EDP, 2020, ENERGISA, 2020, CPFL, 2020).

Os três pilares da estratégia 3D se inserem numa tendência mais ampla, denominada transição energética. Conforme apontado na literatura, o conceito de transição energética geralmente está associado à substituição de fontes fósseis por fontes renováveis, o que representaria redução das emissões de gases de efeito estufa da matriz energética (IRENA, 2017).

Uma vez que a matriz elétrica brasileira já é composta majoritariamente por fontes renováveis (EPE, 2020a), a busca pela descarbonização da matriz elétrica não seria o vetor preponderante. Ainda assim, podem ser citados quatro benefícios que a transição energética propiciaria ao país (E+, 2020a):

- i. Maior diversificação das fontes (reduzindo a participação das hidrelétricas);
- ii. Maior segurança energética;
- iii. Maior flexibilidade do sistema (necessária para operar um grid com crescente entrada de fontes intermitentes¹⁰, com destaque para eólica e solar fotovoltaica);
- iv. Substituição de parte do portfólio atual por soluções energéticas mais baratas.

Vale destacar que a estratégia 3D tem relação direta com esta tese de doutorado. A descentralização se relaciona com o planejamento regional e com a progressiva utilização dos recursos energéticos distribuídos. A digitalização será fundamental para conectar os RED e operar redes de distribuição inteligentes e bidirecionais, garantindo a confiabilidade do sistema. Já o aproveitamento do biogás na GD se configura como um exemplo real de descarbonização da matriz energética.

Em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento

¹⁰ Cabe mencionar que alguns autores e instituições preferem utilizar “fontes renováveis não despacháveis” (IEMA, 2016) ou “fontes renováveis com geração variável” (Abeolica, 2019), argumentando que as medições anemométricas e os atuais modelos meteorológicos permitem uma acurácia elevada na previsão da geração eólica de curto prazo, permitindo ao ONS tempo hábil para despachar outras usinas sempre que necessário. Este autor discorda da suposta conotação depreciativa no termo “fontes intermitentes”.

Sustentável (ODS) e 169 metas relacionadas, que foram adotados oficialmente pelos seus 193 países-membros (UN, 2015). A Figura 3 apresenta o conjunto dos dezessete ODS:



Figura 3 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

Fonte: UN, 2015

Neste ponto vale destacar os seis Objetivos de Desenvolvimento Sustentável diretamente relacionados e com maior aderência aos dois elementos chave desta tese (planejamento energético e recursos energéticos distribuídos):

- ODS 7 – Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
- ODS 8 – Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos;
- ODS 9 – Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
- ODS 11 – Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- ODS 12 – Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis;
- ODS 13 – Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

No final de 2019 o mundo começou a enfrentar a mais séria crise de proporções globais em um século. Em dezembro de 2019 uma nova síndrome respiratória teve início na província de Wuhan, na China, e se espalhou rapidamente para outros países da Ásia¹¹. No início de 2020 a disseminação do COVID-19 atingiu fortemente a Europa e, partir do mês de fevereiro, toda a América Latina e Estados Unidos. Após dezoito meses de

¹¹ De acordo com a Organização Mundial de Saúde o coronavírus é uma grande família de vírus que causam sintomas respiratórios e podem infectar tanto humanos como animais domésticos e silvestres (OMS, 2020). O vírus mais recente, descoberto em 2019 na China, foi batizado de COVID-19.

pandemia, no final de maio de 2021 os registros oficiais apontavam mais de 172 milhões de casos e 3,7 milhões de mortes em 223 países e territórios (WHO, 2021)¹², se caracterizando como a maior pandemia no período de um século, ou seja, a mais severa desde a gripe espanhola de 1918.

Com intuito de reduzir o ritmo de contaminação e salvar mais vidas, muitos países restringiram a circulação de pessoas (*lockdown* parcial ou total). A dinâmica social e a mobilidade urbana mudaram completamente. Apenas atividades consideradas essenciais continuaram funcionando presencialmente e muitas empresas adotaram a jornada em *home office*.

Neste contexto, setores como indústria, comércio e transportes registraram quedas expressivas no consumo de eletricidade e combustíveis fósseis, enquanto que residências tiveram aumento substancial na demanda elétrica. Embora a pandemia ainda não tenha acabado, é possível verificar que países com *lockdown* registraram queda de cerca de 25% na demanda em relação ao mesmo período do ano anterior (IEA, 2020a).

Até o presente momento não se sabe quando terminará esta pandemia, tampouco há clareza sobre o ritmo da retomada econômica global, mas especialistas e autoridades já discutem algumas mudanças permanentes para médio prazo, no que tange às matrizes energéticas e elétricas dos países (OLADE, 2020a e OLADE, 2020b).

Por enquanto existe o consenso que o mundo pós COVID-19 exigirá sistemas energéticos resilientes a turbulências abruptas e imprevisíveis. As redes elétricas deverão ser cada vez mais robustas, flexíveis e inteligentes, para atender à crescente eletrificação da sociedade (IEA, 2020a, IEA, 2020b e SIEMENS, 2020).

Além disso, foi notória a melhoria significativa na qualidade do ar nas grandes cidades. Então é esperado que a sociedade valorize esse impacto positivo e pressione por medidas legais que forcem a substituição gradual das frotas movidas a combustíveis fósseis (carros, ônibus e caminhões) por veículos elétricos ou híbridos, sobretudo em locais onde essa discussão ainda esteja num estágio preliminar.

Portanto é possível inferir que a recuperação econômica global no período pós pandemia tende a favorecer investimentos e políticas públicas que fomentem a aceleração da transição energética (com destaque para os pilares da estratégia 3D) e o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (IRENA, 2020 e CBIE, 2020).

¹² Os números reais podem ser muito maiores, principalmente nos países em desenvolvimento, em razão da baixa testagem da população, da subnotificação de infectados, além da maior frequência de laudos inconclusivos para óbitos relacionados a sintomas respiratórios, ocorridos durante a pandemia.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese de doutorado é avaliar o potencial energético do biogás na região oeste do Paraná, associado à atividade agropecuária em 54 cidades, para suprimento parcial da demanda elétrica até 2026.

Para esta finalidade o estudo de caso mostrará que foi obrigatória a elaboração de um balanço energético regional, com levantamento de informações primárias com maior granularidade geográfica e algumas adaptações metodológicas (contribuição original desta tese).

Além disso houve a caracterização socioeconômica do território alvo, com dados geográficos, populacionais e da atividade agropecuária (inclusive com mapeamento de granjas de suínos e aviários da região por fotointerpretação de satélites).

Em seguida são desenvolvidos outros dois pontos de ineditismo deste trabalho: cenários de dez anos para oferta de biogás (de diferentes substratos) e de demanda de eletricidade (por município, classe consumidora e trajetória macroeconômica).

1.3.2. Objetivos Específicos

Neste trabalho serão desenvolvidos quatro objetivos específicos, a saber:

- i. Diagnóstico do status atual do planejamento energético descentralizado no país em quatro níveis (regiões geográficas, estados, municípios e multi cidades);
- ii. Discutir os aspectos mais relevantes envolvendo a questão dos Recursos Energéticos Distribuídos (conceituação, oportunidades e reforma do setor elétrico);
- iii. Contextualizar a geração distribuída no Brasil (principais fontes, capacidade instalada por UF e revisão da REN 482/2012);
- iv. Avaliar o biogás como fonte de geração elétrica (características, vantagens e desvantagens, atributos ambientais e operativos, potencial, disponibilidade geográfica e plantas existentes).

1.4. Estrutura da Tese

Esta tese de doutorado é dividida em cinco capítulos.

O capítulo 1 constitui a introdução do trabalho, com apresentação das principais questões a serem desenvolvidas (planejamento regional, recursos energéticos distribuídos e o estudo de caso), as motivações para realização deste estudo (a conveniência de maior granularidade geográfica no planejamento, a inserção dos RED na matriz, a transição energética e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU), a definição dos objetivos geral e específicos, além da própria organização do texto.

O capítulo 2 traz um levantamento a respeito do planejamento energético no Brasil. É apresentado um diagnóstico nas esferas federal, regional, estadual, municipal e mesoregional, para melhor compreensão de quais são os estados, cidades ou regiões mais avançadas nesta questão, tanto no quesito estruturação de equipes quanto em trabalhos já realizados.

O capítulo 3 aprofunda o tema Recursos Energéticos Distribuídos, abordando os vários tipos de RED, mas com foco na geração distribuída e no biogás. Serão analisados os serviços ancilares prestados à rede, os atributos ambientais (valorados ou não), os impactos positivos e negativos da atual reforma do setor elétrico, além do processo de revisão da REN 482.

O capítulo 4 detalha o estudo de caso desenvolvido em 2017 e 2018 na região oeste do Paraná, com a caracterização socioeconômica do território, disponibilidade de resíduos agropecuários diversos, apresentação dos resultados: cenários de demanda elétrica por município e classe consumidora e cenários de potencial de produção de eletricidade oriunda do biogás. Vale destacar que para obter as matrizes energéticas do Paraná e da região oeste foi utilizada a ferramenta computacional SIGEBA 1.0, desenvolvida durante esta tese e registrada no INPI.

O capítulo 5 consiste na síntese das contribuições originais e na apresentação das conclusões desta tese. Por último são relacionadas sugestões de possíveis trabalhos futuros na mesma temática.

CAPÍTULO 2 – PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NO BRASIL

O Novo Modelo do Setor Elétrico foi criado pela Lei nº 10.848/2004 (Brasil, 2004a) e tem três pilares básicos: a garantia da segurança do suprimento, a modicidade tarifária e a universalização do acesso à energia elétrica (CCEE, 2014). As principais instituições e comitês do setor são listadas abaixo, em ordem meramente alfabética:

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE
- Conselho Nacional de Política Energética – CNPE
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE
- Ministério de Minas e Energia – MME
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS

Dentre os agentes supramencionados o MME¹³ tem como parte de suas atribuições conduzir as políticas energéticas no país (MME, 2021), enquanto a EPE¹⁴ tem o desafio de realizar estudos para subsidiar o planejamento do setor energético. A Figura 4 evidencia algumas inter-relações, em especial nas esferas do MME e da ANEEL.

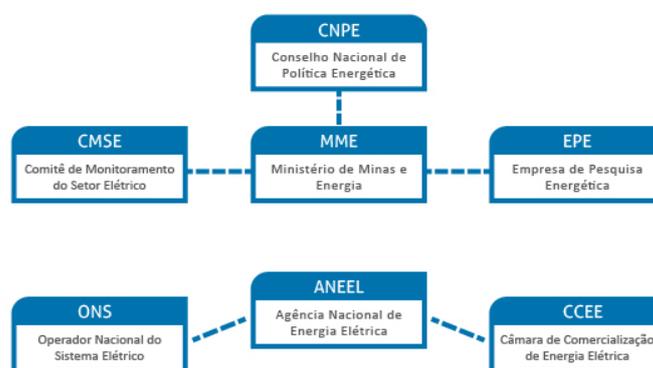


Figura 4 – Estrutura Atual do Setor Elétrico Brasileiro

Fonte: CCEE, 2020

¹³ O Ministério de Minas e Energia (MME) foi criado em 1960, assumindo parte das competências que antes cabiam ao Ministério da Agricultura. Recentemente suas responsabilidades foram redefinidas, na Lei nº13.844, de 2019 (Brasil, 2019);

¹⁴ A criação da EPE foi autorizada pela Lei nº10.847 de 2014 (Brasil, 2004b).

2.1. Nível Nacional

Segundo a EPE a informação é elemento essencial para garantir a melhor alocação de recursos, sendo indispensável na tomada de decisão dos agentes sobre como e quanto consumir, produzir ou investir (EPE, 2018c).

Como regra geral, a geração de dados e estatísticas deve, idealmente, ser atribuição de órgãos públicos pois estes possuem, em teoria, credibilidade e posição neutra (sem qualquer viés) perante todos os *stakeholders*. Como medida adicional, é fortemente recomendável que o governo dê ampla publicidade às informações produzidas e permita livre acesso para a sociedade¹⁵, de forma gratuita, a fim de garantir a isonomia entre todos os agentes.

No capítulo 1 foi antecipado que o balanço energético constitui a base do planejamento do setor de energia em qualquer localidade. Trata-se de um estudo que contabiliza em base anual os fluxos de oferta, transformação e consumo de mais de 50 fontes de energia, sob uma unidade comum¹⁶.

Nesse sentido, os insumos fundamentais para este trabalho seriam os dados de produção e demanda de energia em um determinado período. No Brasil as informações mais antigas relacionadas à disponibilidade de alguns energéticos remontam ao início do século XX (IBGE, 1990, BARROS & BOLUDA, 1983). A seguir são apresentadas as séries históricas mais antigas do país referentes a diferentes cadeias energéticas:

- Potência instalada das usinas de energia elétrica: desde 1900;
- Geração hidrelétrica: estimativas desde 1901 e medição a partir de 1952;
- Carvão mineral: produção e importação desde 1901;
- Querosene: produção, importação e exportação desde 1901;
- Coque de carvão: produção e importação desde 1902;
- Gasolina: produção, importação e exportação desde 1907;
- Óleo combustível: produção, importação e exportação desde 1913;
- Álcool combustível¹⁷: consumo aparente desde 1934;

¹⁵ Exceto no caso de informações cuja divulgação indiscriminada poderia colocar em risco a segurança da sociedade ou do Estado, razão pela qual são classificadas como reservadas, secretas ou ultrassecretas, de acordo com os critérios definidos na Lei nº 12.527/2011 (Lei de Acesso à Informação) (Brasil, 2011);

¹⁶ No Brasil a unidade adotada é a tonelada equivalente de petróleo (tep), que equivale a 41,868 GJ (EPE, 2020a). Outros países utilizam diferentes unidades padrão, como por exemplo GWh, kcal e BTU;

¹⁷ No período até 1977 apenas etanol anidro, depois também considera etanol hidratado.

- Petróleo bruto: produção, importação e exportação desde 1935;
- Óleo diesel: produção, importação e exportação desde 1939;
- Lenha: produção extrativa vegetal desde 1941 e consumo a partir de 1967;
- Gás natural: produção e consumo desde 1950;
- Gás Liquefeito de Petróleo (GLP): produção, importação e exportação desde 1954;
- Carvão metalúrgico: produção, importação e consumo desde 1955;
- Carvão vapor: produção, importação e consumo desde 1955.

Todavia, vale pontuar que naquela época não havia metodologia consolidada, tampouco precisão nas medições, de maneira que em muitos casos a informação disponível representa uma simples estimativa, sem menção às hipóteses adotadas ou até mesmo sobre a acurácia do dado¹⁸.

Como exemplo, a Figura 5 mostra a estimativa de geração hidrelétrica no país desde 1901, período no qual não havia medição sistemática nas usinas (IBGE, 1990). Neste caso foi utilizada como principal *proxy* a potência instalada a cada ano.

ANOS	ESTIMATIVAS DA PRODUÇÃO HIDRELÉTRICA (GWh)	ANOS	ESTIMATIVAS DA PRODUÇÃO HIDRELÉTRICA (GWh)
1901	16	1927	1 162
1902	23	1928	1 260
1903	32	1929	1 367
1904	45	1930	1 483
1905	63	1931	1 530
1906	89	1932	1 600
1907	125	1933	1 675
1908	174	1934	1 761
1909	245	1935	1 852
1910	345	1936	1 947
1911	355	1937	2 048
1912	386	1938	2 153
1913	420	1939	2 264
1914	457	1940	2 256
1915	497	1941	2 780
1916	540	1942	3 023
1917	587	1943	3 228
1918	638	1944	3 547
1919	694	1945	3 715
1920	755	1946	4 102
1921	813	1947	4 498
1922	850	1948	5 010
1923	880	1949	5 554
1924	910	1950	5 850
1925	987	1951	6 306
1926	1 071		

Figura 5 – Geração Hidrelétrica no Brasil – 1901-1951

Fonte: IBGE, 1990

¹⁸ Para piorar o quadro descrito, em alguns casos houve posterior alteração na metodologia sem a (necessária) revisão da série estatística, fato que compromete a confiabilidade nos registros mais antigos.

Um marco significativo ocorreu em 1968, quando houve uma iniciativa conjunta dos Ministérios de Minas e Energia e do Planejamento, no sentido de criar as bases para um estudo inovador que ficou conhecido como Matriz Energética Brasileira (MEB), cujos resultados teriam sido publicados em 1973¹⁹.

A MEB inovou ao aprofundar as análises dos centros de transformação e dos setores consumidores, até então com menor detalhamento. Além da matriz energética consolidada para o ano base 1970, foram apresentadas projeções de matrizes para os anos 1975, 1980 e 1985 (MME/IPEA, 1973).

Antônio Dias Leite Júnior, ministro de Minas e Energia à época, afirma que o MEB era mais ambicioso e abrangente que o atual balanço energético, na medida em que analisava, adicionalmente, o impacto do preço das fontes de energia no desempenho dos principais setores econômicos e na inflação (LEITE, 2014). Neste ponto vale lembrar que em 1973 ocorreu o primeiro choque internacional do petróleo, crise que impactou a balança comercial do país, uma vez que a economia brasileira era extremamente dependente da importação de petróleo leve.

Apesar de não ter havido continuidade na publicação de outras edições da MEB, é ponto pacífico que a mesma foi passo crucial para a posterior criação do Balanço Energético Nacional (LEITE, 2014 e PATUSCO, 2000), por meio da Portaria nº574 de 1976 (MME, 1976).

A primeira edição do Balanço Energético Nacional foi publicada ainda em 1976, com informações de oferta e consumo desde 1965 e projeções para os dez anos subsequentes, especialmente para os setores elétrico e de petróleo (Cavalcanti, 2000).

Em 1978 é criado o Comitê do Balanço Energético Nacional – COBEN, através da Portaria nº1.221 (MME, 1978, *apud* BARONE & BAJAY, 1990), estabelecendo uma equipe permanente de trabalho (que até então não existia). Posteriormente, a Portaria nº776 de 1980 revogou a anterior, retificando objetivos e a composição do comitê (MME, 1980).

Com o passar dos anos a periodicidade anual do BEN se consolidou e foi possível fazer aperfeiçoamentos metodológicos, buscando maior aderência às melhores práticas internacionais e permitindo a comparação de resultados e indicadores com outros países.

¹⁹ Há incerteza sobre esse ponto: João Patusco (ex-coordenador do BEN no MME) afirma que só houve divulgação interna de resultados parciais, não tendo havido publicação final à sociedade (PATUSCO, 2000). Este autor solicitou ao MME acesso ao documento em 16/8/2020, via Lei de Acesso à Informação, tendo obtido sucesso.

Contudo, cabe destacar que sempre houve a preocupação de revisar a série histórica para equalizar novos critérios com os anos anteriores.

Em 1980, por exemplo, o Brasil adotou a metodologia contábil proposta pela OLADE – Organização Latino-Americana de Energia²⁰. Nas duas décadas seguintes houve melhoria contínua nos critérios de apuração e na qualidade dos dados informados pelos agentes. A partir de 1998 existiu um movimento contínuo de convergência metodológica com a IEA – Agência Internacional de Energia, sempre observando o cuidado de proceder a revisão da série histórica.

A partir de 2004 a responsabilidade de elaborar e publicar o BEN passou a ser da recém-criada Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Nos primeiros anos houve um período de transição e capacitação técnica, além da supervisão do MME ao trabalho desenvolvido pela EPE.

Em 2006 a EPE lançou seu primeiro Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE, estudo de caráter indicativo (não determinativo) para o planejamento do setor, com periodicidade anual e horizonte temporal de dez anos (MME/EPE, 2016). Naquela ocasião a análise ainda estava restrita à energia elétrica, mas a partir do ano seguinte o PDE passou a considerar todas as fontes de energia para atendimento a qualquer uso final.

Em 2007 a EPE e o MME elaboraram em conjunto um estudo energético de longo prazo e caráter estratégico²¹: o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030. Pode-se dizer que o PNE 2030 foi o primeiro estudo de âmbito nacional que utilizou efetivamente o conceito de planejamento integrado dos recursos energéticos, ou seja, analisou conjuntamente todas as fontes disponíveis para atender as distintas demandas energéticas setoriais a cada ano (MME/EPE, 2007).

Em julho de 2020 foi divulgada a versão preliminar do PNE 2050, após longo período de espera pela sociedade. O relatório permaneceu em consulta pública por três meses e a versão definitiva foi disponibilizada em dezembro do mesmo ano (MME, 2020). Trata-se de uma atualização da visão de longo prazo, estendendo o horizonte temporal, incorporando tendências e mudanças socioeconômicas, regulatórias,

²⁰ A metodologia empregada no BEN até 1979 era simplória e não considerava a necessidade de fechamento dos fluxos setoriais. Quando houve alteração para metodologia da OLADE só foi possível recuperar informações consistentes a partir de 1970. Assim, decidiu-se excluir os anos 1965-1969 da série histórica;

²¹ Diferentemente dos Planos Decenais de Expansão de Energia (PDE), que têm caráter indicativo para o planejamento do setor, o PNE se propõe a orientar tendências e explorar diferentes alternativas do tipo *what-if*, visando evidenciar oportunidades, barreiras, riscos, impactos ambientais e custos atrelados à adoção de cada tecnologia ou solução energética. Portanto, uma vez que o PNE não é uma extensão temporal do PDE, não é seu objetivo ter acurácia na previsão da matriz energética de longo prazo.

tecnológicas e ambientais (entre outras) ocorridas no Brasil e no exterior desde 2007. Inclusive o MME apontou a intenção de atualizar o PNE regularmente a cada cinco anos.

2.2. Nível Regional

Quando se busca na literatura exemplos de estudos energéticos agregados nas regiões geográficas, observa-se raridade de ocorrências: foram encontrados somente dois casos de balanços energéticos, ambos produzidos no final da década de 1980 (Figura 6):

- i. Balanço Energético da Região Nordeste do Brasil 1980 – 1988 (CHESF, 1989);
- ii. Balanço Energético Consolidado da Região Sudeste 1980-1984 (FURNAS, 1987).

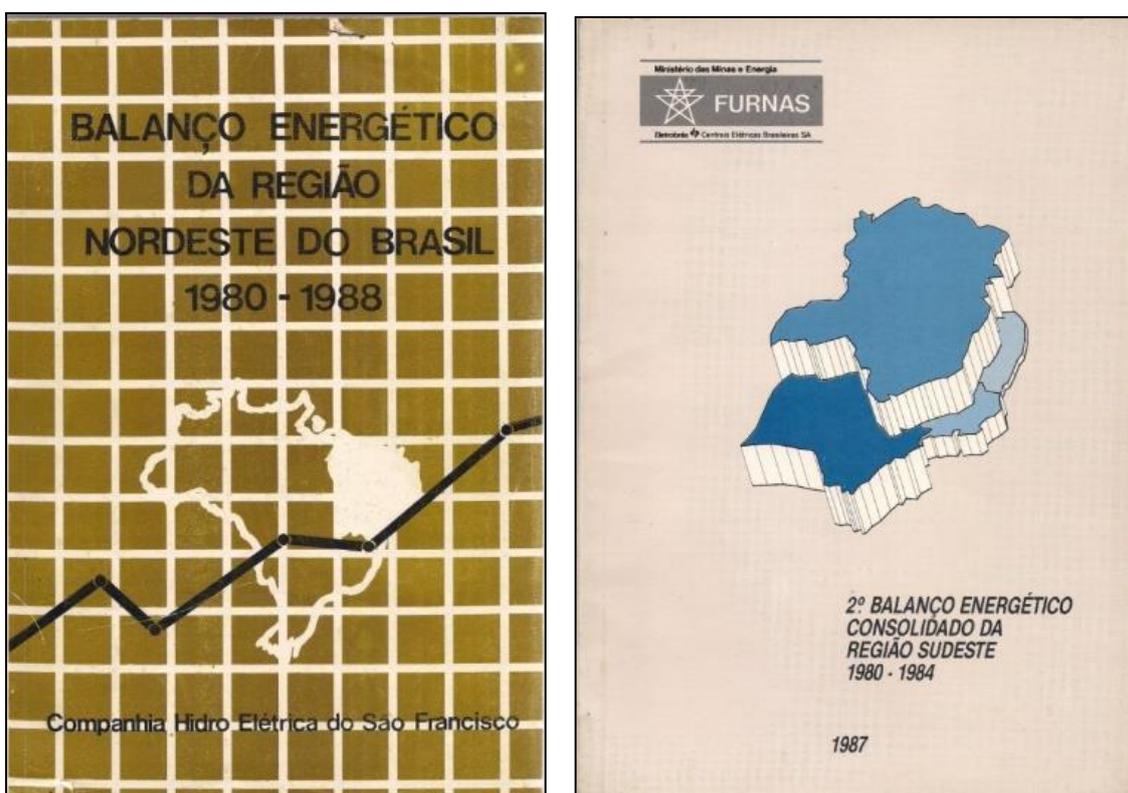


Figura 6 – Balanços Energéticos Regionais (Nordeste e Sudeste)

Fontes: CHESF, 1989 e FURNAS, 1987

Uma iniciativa mais recente ocorreu em 2011, quando a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e a EPE assinaram um Acordo de Cooperação Técnica visando promover a elaboração de um balanço energético para a região nordeste.

À EPE caberia a cessão dos dados não sigilosos, capacitação e suporte metodológico, enquanto que à Sudene competia a articulação com os estados por ela

representados, para montagem das equipes locais e captação de verbas para permitir o desenvolvimento das atividades.

No entanto, apesar de ambos os lados verem a iniciativa como mutuamente positiva, por algumas dificuldades envolvendo articulação institucional e incompatibilidade de cronograma o acordo não produziu resultados práticos.

Como lição aprendida a EPE passou a priorizar acordos de cooperação diretamente com cada estado. Dessa forma a interação entre as equipes pode se tornar mais frequente, contribuindo para que o projeto se desenvolva de forma mais eficaz e dinâmica.

Cinco anos mais tarde o MME lançou a única edição da publicação “Matrizes Elétricas Estaduais” (MME, 2016), que se propunha a apresentar informações sobre geração e consumo de energia elétrica para os 26 estados, Distrito Federal e as 5 regiões geográficas²². Também havia um ranking mesclando estados e regiões, além de indicadores de consumo *per capita* para os anos 2015 e 2000 (Figura 7).

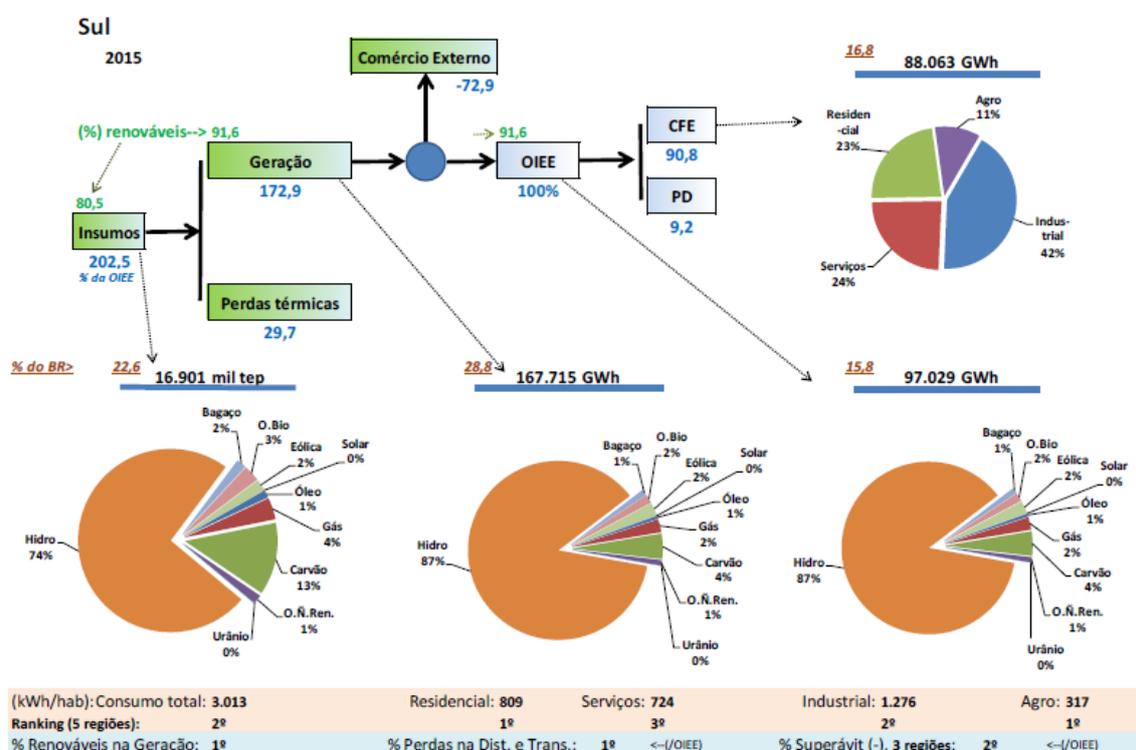


Figura 7 – Matriz Elétrica da Região Sul – 2015

Fonte: MME, 2016

²² Na opinião deste autor é lamentável que o MME não tenha tornado esta publicação perene, tendo em vista a riqueza das informações. Os indicadores e o ranking constituíam elementos extras para análise setorial comparativa.

Em 2019 o projeto GEF Biogás Brasil, em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), publicou um estudo sobre o potencial de produção de biogás na região Sul (GEF, 2019).

Foram analisados resíduos associados à pecuária (suinocultura, bovinocultura, avicultura) e à indústria de alimentos (abatedouros, laticínios e fecularias) nos três estados, cujo potencial foi estimado em 3,34 bilhões de Nm³ de biogás/ano.

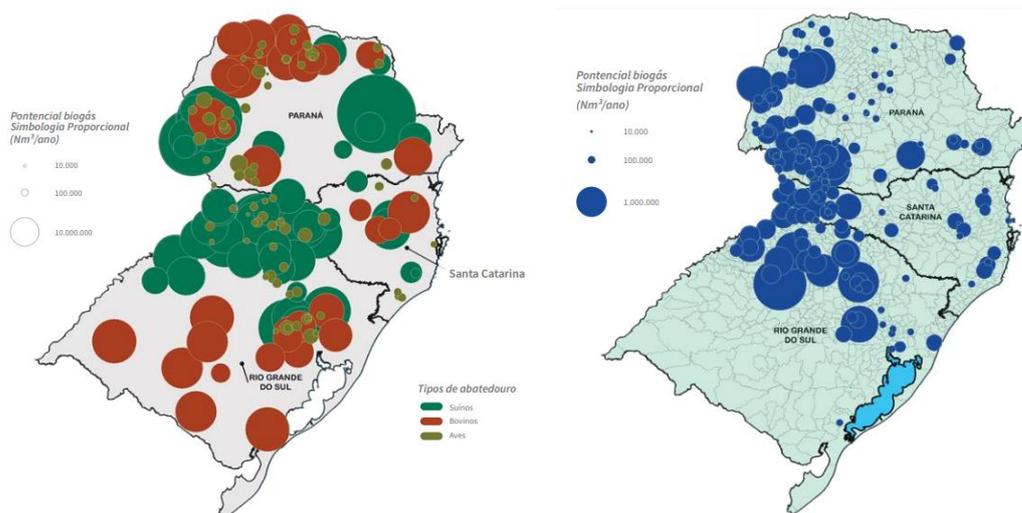


Figura 8 – Potencial de Produção de Biogás em Abatedouros (esquerda) e Laticínios (direita)

Fonte: GEF, 2019

2.3. Nível Estadual

A literatura apresenta diversos autores que defendem a elaboração de balanços energéticos estaduais (BEE) com regularidade, por se tratar de um instrumento que contribui substancialmente para o planejamento estratégico das unidades da federação, no sentido de propiciar maior autonomia para a gestão de seus recursos energéticos em sintonia com o desenvolvimento econômico setorial (ABREU, Y.V. *et al*, 2010; CAVALCANTI, F.J.M.M., 2000, POLIQUEZI NETO, A., 2013).

O primeiro estado a publicar um BEE foi São Paulo, em 1980 (BARONE, J.C., 1990). Tendo em vista o nível de desagregação das informações naquela época e o

ineditismo desta publicação, é possível afirmar que o trabalho atingiu um resultado satisfatório, com aderência metodológica ao BEN.

Em 1981 o MME publicou a Portaria nº1.290, fomentando pela primeira vez a execução dos balanços energéticos estaduais. Trata-se de instrumento pioneiro no reconhecimento da contribuição dos BEE, inclusive propondo um sistema de informações integrado, prevendo cooperação técnica entre MME e as UFs, além de harmonia metodológica entre os BEE e o BEN (MME, 1981).

Nos dois anos subsequentes as Portarias nº 1.344/1982, 1.383/1982 e 631/1983 estabeleceram as bases e o cronograma do Programa de Implementação do Modelo Energético Brasileiro – PIMEB (MME, 1982a; MME, 1982b; MME, 1983), através do qual os estados puderam interagir com o MME, reunindo informações primárias de consumo e oferta de energia, capacitando tecnicamente suas equipes e publicando as primeiras edições dos respectivos balanços estaduais²³ (LUCENA JÚNIOR, N.D, 2018).

Durante quase 20 anos não houve avanço substancial e a colaboração entre o MME e os estados passou a ter um caráter mais passivo, ou seja, o ministério oferecia suporte técnico quando solicitado. Por outro lado, cessaram os esforços de mobilização dos agentes estaduais, especialmente tendo o MME como protagonista.

Até que a publicação da Portaria MME nº 549 em 2002 criou a Comissão Permanente para a Consolidação dos Balanços Energéticos, que seria composta por representantes de 10 (dez) órgãos/ instituições e tinha como um dos objetivos padronizar critérios e metodologias para consolidação dos BEE (MME, 2002). Apesar de ainda estar em vigência, pode-se afirmar que esta portaria nunca surtiu o efeito desejado, uma vez que a maioria dos estados continuou carecendo de suporte conceitual do MME e da EPE, além de não terem se estruturado para realizar coleta de dados de forma independente.

Em 2008 a EPE resgatou a iniciativa e realizou, em parceria com o MME e a Sudene, um workshop de capacitação técnica em BEE exclusivo para os estados do Nordeste. Em 2013 a experiência foi repetida nos mesmos moldes. Em 2016 a EPE promoveu um terceiro encontro de capacitação para elaboração de Balanços Energéticos Estaduais, dessa vez mais amplo e convidando representantes de todas as UFs.

Apesar de todos os esforços de múltiplos agentes no decorrer das últimas quatro décadas, a realidade atual é que poucos estados brasileiros possuem uma equipe

²³ Neste ponto houve divergência na literatura sobre a primeira UF que conseguiu publicar seu balanço energético no âmbito do PIMEB: Bahia em 1982 (BARONE, J.C., 1990) ou Minas Gerais em 1983 (LUCENA JÚNIOR, N.D, 2018).

permanente dentro das secretarias estaduais de energia ou órgãos afins²⁴ com domínio de conceitos energéticos e metodológicos para a realização de um balanço estadual ou de até mesmo outros estudos energéticos.

Um dos principais motivos seria a frequente opção de capacitação de ocupantes de cargos comissionados, em detrimento de servidores de carreira. Quando isto ocorre o conhecimento não fica sedimentado na instituição e sim atrelado a pessoas sem vínculo perene com a mesma. Portanto, quando há exonerações (por exemplo, após uma eleição) a equipe se esvai e aquele órgão regride substancialmente, carecendo de um novo ciclo de aprendizagem.

Na sequência será apresentada a situação de cada UF tendo por base o mês de maio de 2021, em tabelas por região e com ordem alfabética, incluindo a identificação da secretaria que trata de assuntos de energia, além da discussão a respeito dos trabalhos correlatos recentemente publicados.

²⁴ Em muitos estados brasileiros ainda não existe ainda uma Secretaria Estadual de Energia. Muitas vezes a temática energética é inserida dentro de uma das três seguintes pastas de governo: Desenvolvimento Econômico, Infraestrutura ou Meio Ambiente. Contudo, ainda há unidades da federação nas quais inexistem uma instituição designada para estudos relacionados à energia.

Tabela 1 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 1)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ²⁵	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Alagoas	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Turismo (SEDETUR)	2000 – 2019	Sim	i) Atlas solarimétrico (2007) ii) Atlas eólico (2014) iii) Atlas de bioenergia de Alagoas (2015)
Bahia	Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA)	1980 – 2016	Sim	i) Atlas eólico (2013) ii) Atlas solar (2018)
Ceará	Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA)	1993 – 2007	Sim	i) Matriz energética Ceará 2030 (2009)
Maranhão	Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Energia (SEINC)	Não encontrada	Não se aplica	i) Matriz energética Maranhão 2030 (2009)
Paraíba	Secretaria de Infraestrutura, dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SEIRHMA)	Não encontrada	Não se aplica	i) Atlas eólico (2016)

Fonte: elaboração própria

²⁵ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento.

Tabela 2 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 2)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ²⁶	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Pernambuco	Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDEC)	Não encontrada	Não se aplica	i) Inventário da biomassa produtora de biogás de Pernambuco (2016) ii) Atlas eólico e solar (2017)
Piauí	Secretaria de Estado de Mineração, Petróleo e Energias Renováveis (SEMINPER)	Não encontrada	Não se aplica	i) Plano de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado do Piauí – PDES PI 2050 (2015)
Rio Grande do Norte	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico (SEDEC)	2000 – 2005	Sim	i) Potencial eólico do RN (2003) ii) Matriz energética do Rio Grande do Norte 2030 (2006) iii) Plano de energia elétrica do RN (2017) iv) Infográfico de matriz elétrica (2020) v) Infográfico do setor eólico (2020) vi) Infográfico de geração distribuída (2020) vii) Informativo da produção de petróleo e gás (2020)

Fonte: elaboração própria

²⁶ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento.

Tabela 3 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 3)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ²⁷	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Sergipe	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (SEDETEC)	Não encontrada	Não se aplica	i) Panorama Energético de Sergipe (2014) ii) Plano Estratégico 2019-2022 (2019)
Paraná	Companhia Paranaense de Energia (COPEL)	1980 – 2009	Não	i) Matriz energética do Paraná: ano 2000 (1994) ii) Atlas do potencial eólico do Paraná (2007) iii) Atlas de energia solar do Paraná (2017)
Rio Grande do Sul	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA)	1979 - 2014	Sim	i) Atlas eólico do RS (2014) ii) Atlas das biomassas do RS para produção de biogás e biometano (2016) iii) Plano energético do RS 2016/2025 (2016) iv) Atlas solar do RS (2018)
Santa Catarina	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE)	Não encontrada	Não se aplica	i) Balanço energético do setor industrial de SC (2014)

Fonte: elaboração própria

²⁷ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento.

Tabela 4 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 4)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ²⁸	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Distrito Federal	Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE)	Não encontrada	Não se aplica	i) Plano Estratégico DF 2019 – 2060 (2019)
Goiás	Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Inovação (SEDI)	2007 – 2016	Parcialmente ²⁹	i) Energias renováveis: análise da geração solar fotovoltaica no Brasil e Goiás (2018)
Mato Grosso	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDEC)	2007 – 2017	Parcialmente ³⁰	i) Matriz energética de MT e mesorregiões 2036 (2019)
Mato Grosso do Sul	Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINFRA)	2005 – 2015	Parcialmente ³¹	i) Panorama energético do MS – 1º trimestre 2020 (2020)

Fonte: elaboração própria

²⁸ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento;

²⁹ Observou-se duas diferenças metodológicas (pontos negativos): i) os poderes caloríficos inferiores de algumas fontes de energia diferem do BEN; ii) em alguns anos carvoarias apresentam saldo energético positivo, o que está conceitualmente errado (pela 1ª lei da termodinâmica todo centro de transformação deve ter saldo energético negativo ou nulo);

³⁰ Verificou-se duas questões: i) repete-se a questão de poderes caloríficos inferiores (PCI) de algumas fontes de energia em desarmonia com o BEN (ponto negativo); ii) as informações de oferta e demanda são disponibilizadas também com agregação por mesorregião (fator positivo);

³¹ Pontos negativos: i) no que se refere aos centros de transformação foram adotados parâmetros de eficiência dos processos em dissonância com o BEN; ii) além disso há anos em que destilarias e carvoarias apresentam saldo energético positivo. Fator positivo: cenários de projeção de oferta e demanda de energia para 10 anos (até 2025).

Tabela 5 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 5)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ³²	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Acre	Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINFRA)	Não encontrada	Não se aplica	i) Potencial de aproveitamento de energia renovável no estado do Acre (2016)
Amapá	Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINF)	Não encontrada	Não se aplica	Nenhum foi encontrado
Amazonas	Secretaria de Estado de Infraestrutura e Região Metropolitana de Manaus (SEINFRA)	Não encontrada	Não se aplica	Nenhum foi encontrado
Pará	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia (SEDEME)	Não encontrada	Não se aplica	Nenhum foi encontrado

Fonte: elaboração própria

³² Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento.

Tabela 6 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 6)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ³³	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Rondônia	Superintendência Estadual de Desenvolvimento Econômico e Infraestrutura (SEDI)	Não encontrada	Não se aplica	Nenhum foi encontrado
Roraima	Secretaria de Estado de Infraestrutura (SEINF)	Não encontrada	Não se aplica	Nenhum foi encontrado
Tocantins	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH)	Não encontrada	Não se aplica	i) Atlas solarimétrico do estado do Tocantins (2018)

Fonte: elaboração própria

³³ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento.

Tabela 7 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 7)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ³⁴	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Espírito Santo	Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (ARSP)	2008 – 2019	Parcialmente ³⁵	<ul style="list-style-type: none"> i) Atlas eólico: Espírito Santo (2009) ii) Atlas de bioenergia do Espírito Santo (2013) iii) A energia solar no Espírito Santo: tecnologias, aplicações e oportunidades (2013) iv) Boletim de informações energéticas do estado do Espírito Santo (2020)
Minas Gerais	Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)	1978 – 2017	Sim	<ul style="list-style-type: none"> i) Atlas eólico: Minas Gerais (2010) ii) Potencial de energias renováveis – eólica, solar, biomassa, resíduos e hidroeletricidade (2014) iii) Atlas solarimétrico de MG (2016) iv) Atlas de biomassa de Minas Gerais (2017)

Fonte: elaboração própria

³⁴ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento;

³⁵ Pontos negativos: i) repete-se a questão de poderes caloríficos inferiores (PCI) de algumas fontes de energia em desarmonia com o BEN; ii) há anos em que plantas de gás natural, coquearias, destilarias de etanol ou carvoarias apresentam saldo energético positivo. Ponto positivo: notória evolução metodológica e de conteúdo nos últimos anos.

Tabela 8 – Instituições e Principais Trabalhos Publicados em Cada Estado (parte 8)

Unidade da Federação	Órgão estadual responsável por realizar estudos na área de energia	Série histórica do balanço energético estadual (BEE) ³⁶	BEE segue metodologia contábil do BEN?	Outros estudos relevantes
Rio de Janeiro	Secretaria De Desenvolvimento Econômico, Energia e Relações Internacionais (SEDEERI)	1980 – 2016	Parcialmente ³⁷	i) Atlas Rio solar (2016) ii) Matriz energética do RJ 2017 – 2031 (2018)
São Paulo	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA)	1980 – 2019	Parcialmente ³⁸	i) Atlas eólico de SP (2012) ii) Plano paulista de energia – PPE 2020 (2012) iii) Potencial solar paulista (2013) iv) Potencial hidrelétrico remanescente de SP (2013) v) Anuário de energéticos de São Paulo (2019) vi) Boletim energético mensal (2020) vii) Atlas de bioenergia do estado de São Paulo (2020)

Fonte: elaboração própria

³⁶ Como regra geral foram consideradas válidas somente informações oficiais, disponíveis para consulta e *download* nos sites dos governos estaduais. Portanto, trabalhos acadêmicos (artigos, monografias, dissertações e teses) ou relatórios de consultorias, sem evidência de respaldo/validação pelas secretarias estaduais competentes, foram classificados como estimativas informais e não entram neste levantamento;

³⁷ Dentro do setor industrial é detalhado o segmento “vidro”, enquanto no BEN o mesmo está contido em “outras indústrias”;

³⁸ Poderes caloríficos inferiores adotados diferem do BEN em quase todos os energéticos.

2.4. Nível Municipal

No que tange a estudos energéticos com abrangência estritamente municipal, organizados pelas próprias prefeituras, não foi encontrado nenhum balanço energético ou matriz (projeção) para médio ou longo prazo.

As principais explicações para essa situação seriam a diminuta importância que a maioria das cidades brasileiras dá para a avaliação quantitativa dos seus recursos energéticos, além da falta de mão-de-obra qualificada nas equipes locais, agravada ainda pela escassez de recursos financeiros para contratação de consultores externos.

Em suma, comparando os níveis do setor público a esfera municipal seria a que geralmente tem a condição mais desfavorável para produzir estudos energéticos. Mas isso não significa impossibilidade, pelo contrário, é possível investir mais em articulação institucional para superar as barreiras citadas.

Nessa linha um exemplo seria o acordo de cooperação técnica assinado em 2007 entre a EPE e a prefeitura de Campo Grande (MS), que viabilizou a quantificação do potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) naquela cidade. O levantamento de dados coube à prefeitura, enquanto que a EPE depurou as informações e calculou os resultados, consolidados numa nota técnica pública (EPE, 2008).

Um segundo caso encontra-se atualmente em desenvolvimento na cidade de Maricá (RJ), que contratou uma consultoria para analisar o potencial municipal de geração elétrica a partir de várias fontes renováveis (eólica, solar, biomassa, biogás), além de petróleo e gás natural. A previsão de conclusão do estudo era março de 2021 (MARICÁ, 2020), mas até o final do mês de maio os resultados não foram divulgados.

Uma terceira estratégia, complementar às anteriores, consistiria nas prefeituras atuarem em parceria com as respectivas unidades da federação, no sentido de aproveitar os dados gerados para estudos energéticos estaduais. Em muitos casos existe detalhamento municipal, ainda que a divulgação seja feita de forma agregada (ex: atlas de potencial eólico, atlas solarimétrico, etc).

No Rio Grande do Sul, por exemplo, o Atlas das Biomassas para Produção de Biogás e Biometano (Governo RS, 2016a) apresenta o potencial teórico por município e por rebanho (Figura 9). Assim, cada cidade gaúcha tem acesso a estimativas preliminares sobre a disponibilidade de matéria orgânica em seu território.

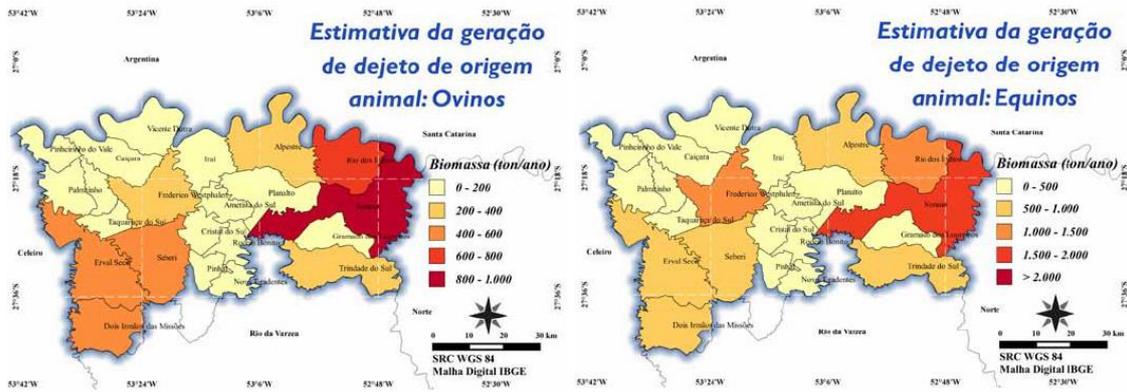


Figura 9 – Disponibilidade de Dejetos de Ovinos e Equinos na Região do Médio Alto Uruguai (RS)

Fonte: Governo RS, 2016a

No caso de São Paulo existe o portal “Dados Energéticos”, que através de um menu interativo disponibiliza informações de consumo em base anual e para todas as 645 cidades do estado: eletricidade (por classe), gás natural (por segmento), derivados de petróleo (por produto) e etanol. Na Figura 10 é mostrada a tela exibida quando é selecionado o município de Ribeirão Preto:

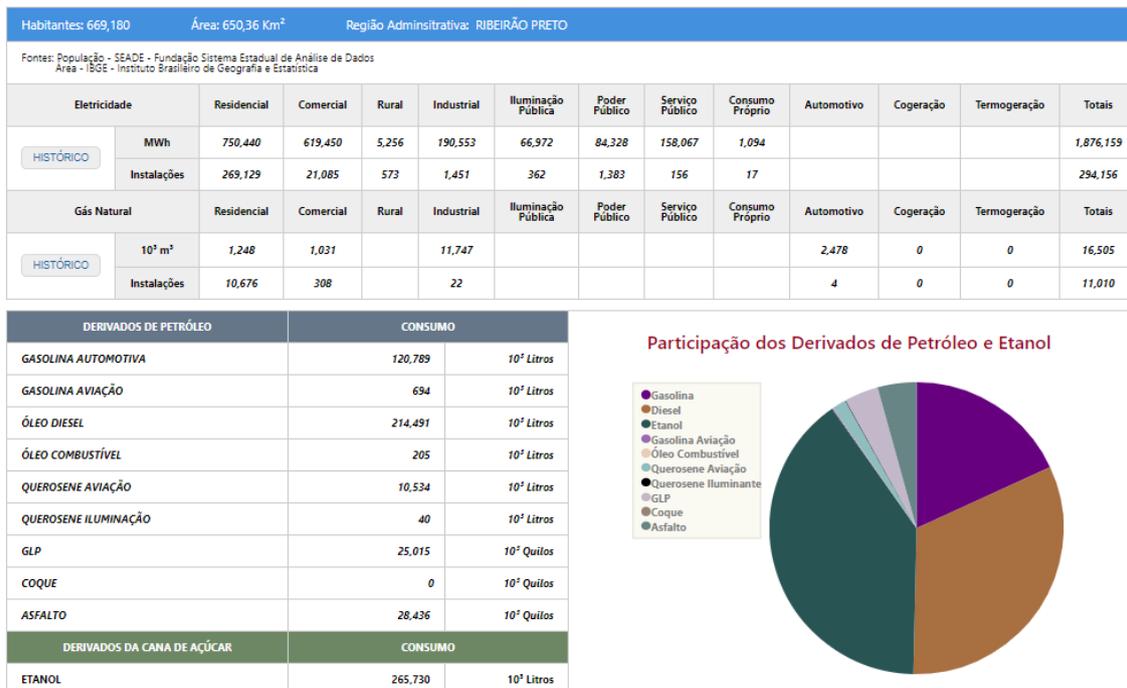


Figura 10 – Informações Energéticas sobre Ribeirão Preto (SP) – 2018

Fonte: Governo SP, 2020c

2.5. Nível Infra Estadual (Multi Cidades)

O único caso encontrado na literatura de planejamento energético organizado por um agrupamento de municípios brasileiros ocorreu no biênio 2017-2018, abrangendo 54 municípios do oeste do Paraná que têm como vocação econômica predominante a atividade agropecuária.

Em 2017 o Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás), em parceria com o Programa Oeste em Desenvolvimento (POD), iniciou a elaboração do Plano Energético da Região Oeste do Paraná (POD, 2018a), visando suportar o desenvolvimento da região até 2026.

O estudo contemplou a matriz energética (oferta e demanda) de 2016, a avaliação da qualidade da energia elétrica fornecida pela distribuidora local (Copel), cenários de demanda de eletricidade para dez anos, estimativa de potencial das energias renováveis, além da expansão da infraestrutura elétrica.

A Figura 11 ilustra a matriz energética agregada das 54 cidades foco do supramencionado Plano Energético. Os setores transporte, indústria e agropecuário registraram a maior demanda, conforme será melhor explicitado no capítulo 4.

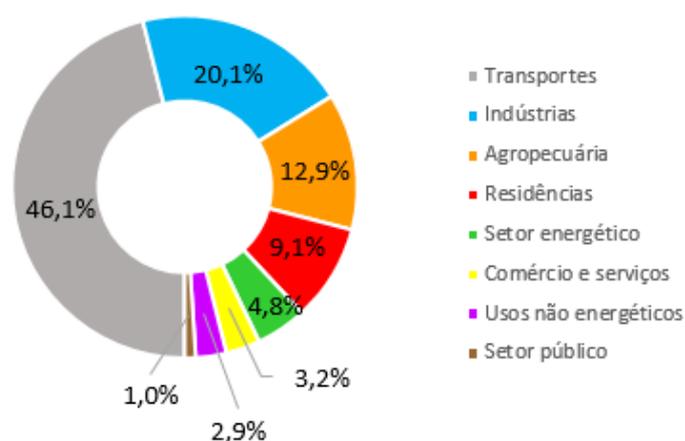


Figura 11 – Demanda Energética no Oeste do Paraná – ano base 2016

Fonte: elaboração própria, a partir de POD, 2018a

Na Figura 12 é apresentado o potencial anual de geração elétrica a partir de três fontes renováveis de energia (hidroeletricidade, solar fotovoltaica e biogás), totalizando 3.252,4 GWh/ano (ou 371,3 MWm).

Observa-se que aproximadamente metade do potencial calculado se refere ao potencial hidrelétrico remanescente, seguido dos sistemas solares fotovoltaicos e, finalmente, do biogás associado aos resíduos das atividades agrícolas e pecuárias³⁹.

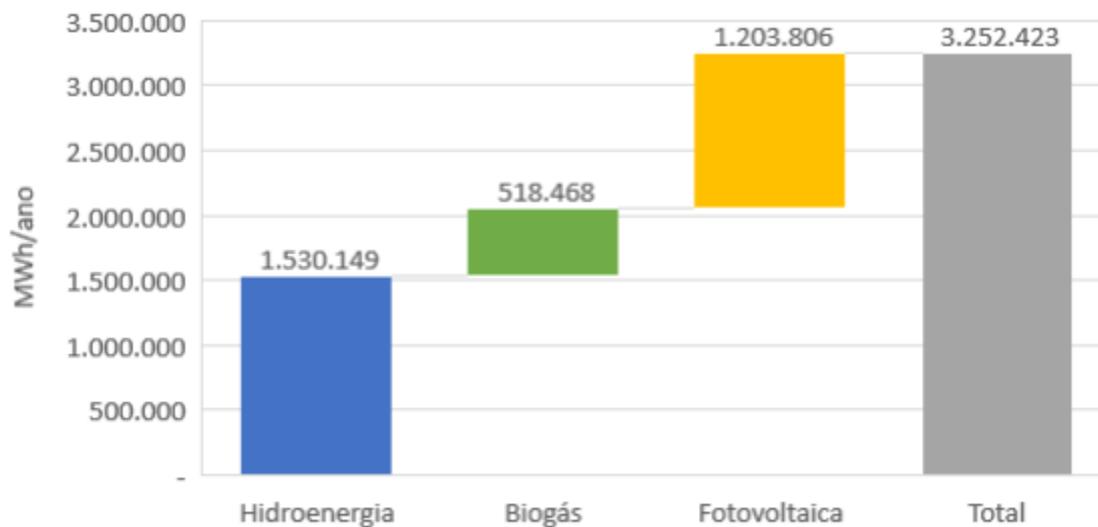


Figura 12 – Potencial Teórico de Fontes Renováveis no Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

³⁹ Maiores detalhes desta publicação, que teve participação direta deste autor na equipe técnica, serão apresentados como estudo de caso no capítulo 4.

CAPÍTULO 3 – RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS

O objetivo deste capítulo é introduzir a temática, muito relevante hoje no mundo, sobre o estado da arte da integração dos Recursos Energéticos Distribuídos nas matrizes elétricas. Será priorizada a caracterização da geração distribuída no Brasil, inclusive contemplando a modernização da regulação, com atenção primordial para o biogás.

3.1. Recursos Energéticos Distribuídos

Conforme definido no primeiro capítulo desta tese, os Recursos Energéticos Distribuídos são sistemas de pequeno porte normalmente conectados à rede de distribuição, que podem operar de forma sinérgica ou mesmo independente da distribuidora e do operador do sistema elétrico (injetando ou consumindo energia da rede a qualquer momento do dia, de acordo com a conveniência de seu proprietário).

Na Figura 13 são mostrados exemplos clássicos de RED observados nos países mais desenvolvidos, como veículos elétricos e seus postos de recarga, sistemas de armazenamento em baterias, geração distribuída, programas de resposta da demanda e sistemas elétricos para aquecimento de água e calefação de ambientes (IRENA, 2019b)⁴⁰.

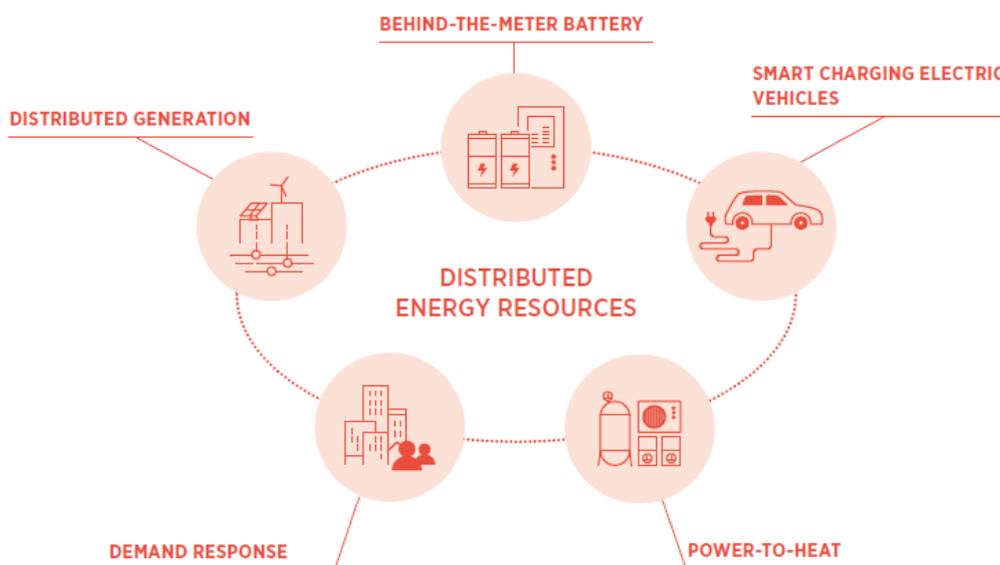


Figura 13 – Exemplos de Recursos Energéticos Distribuídos

Fonte: IRENA, 2019b

⁴⁰ No contexto nacional o tipo mais significativo é, seguramente, a geração distribuída (que será debatida na seção subsequente).

Como já explicado no capítulo introdutório, a inserção dos RED na matriz elétrica pode ser benéfica ou prejudicial à rede de distribuição, mas é ponto pacífico que a operação em tempo real do sistema será cada vez mais complexa.

A nova configuração exigirá a instalação de novas tecnologias: medidores inteligentes, digitalização das redes, internet das coisas (IoT), *data analytics* e inteligência artificial (EPE, 2018b, MME, 2020, IRENA, 2019b e MME/EPE, 2020a). Com a progressiva conexão destes equipamentos à internet, a segurança cibernética ganha cada vez mais importância. Tecnologias como *blockchain* devem ajudar a garantir a segurança da operação das redes de distribuição de eletricidade contra os ataques de *hackers*.

Dependendo do local de conexão, do tipo de sistema, da potência e do padrão de utilização diária (inclusive considerando sazonalidade anual), a difusão dos recursos energéticos distribuídos pode significar postergação de investimentos ou até mesmo antecipação de reforços em alguns subconjuntos e subestações⁴¹.

Neste ponto cabe uma reflexão acerca da incerteza para o planejamento da expansão do sistema elétrico. É fundamental que as premissas estejam bem calibradas e o cenário seja bastante aderente à realidade, caso contrário pode haver frustração do suprimento ou, ainda, investimentos desnecessários em geração centralizada.

A Figura 14 traz como exemplo o desafio de projeção o crescimento da geração distribuída, mas a dificuldade seria análoga para sistemas de armazenamento de energia, eficiência energética e programas de resposta da demanda.



Figura 14 – Paradoxo do Planejamento: Geração Centralizada x RED

Fonte: EPE, 2020b

⁴¹ Nesta segunda situação os custos seriam repassados aos consumidores cativos, na revisão tarifária subsequente. Todavia, a questão de caixa no curto prazo é sensível para a distribuidora.

No Brasil estima-se que nos próximos dez anos a fração de RED na matriz elétrica pode subir para 19% do suprimento (MME/EPE, 2020a) e para algo entre 32% e 34% até 2050 (EPE, 2018a). A título de comparação, na Austrália a participação relativa dos recursos distribuídos deve atingir o intervalo entre 30% e 45% em 2050 (IRENA, 2019b).

Neste ponto vale explicar as possíveis aplicações dos distintos sistemas de armazenamento, em desenvolvimento nas últimas décadas, com variados custos, performance e níveis de maturidade comercial. De acordo com seu porte e tempo de descarga, podem atuar de forma remota (RED) ou integrados às redes de distribuição e transmissão (CANTANE, D.A., ANDO JUNIOR, O.H & HAMERSCHMIDT, M.B, 2020).

Por exemplo, para aumentar a qualidade de energia em uma localidade, seria preciso utilizar sistemas de armazenamento com descarga de porte intermediário (entre 1 MW e 1 GW) e com descarga rápida (segundos), como volantes de inércia (*flywheel*) e supercondutores magnéticos e (respectivamente FES e SMES na Figura 15).

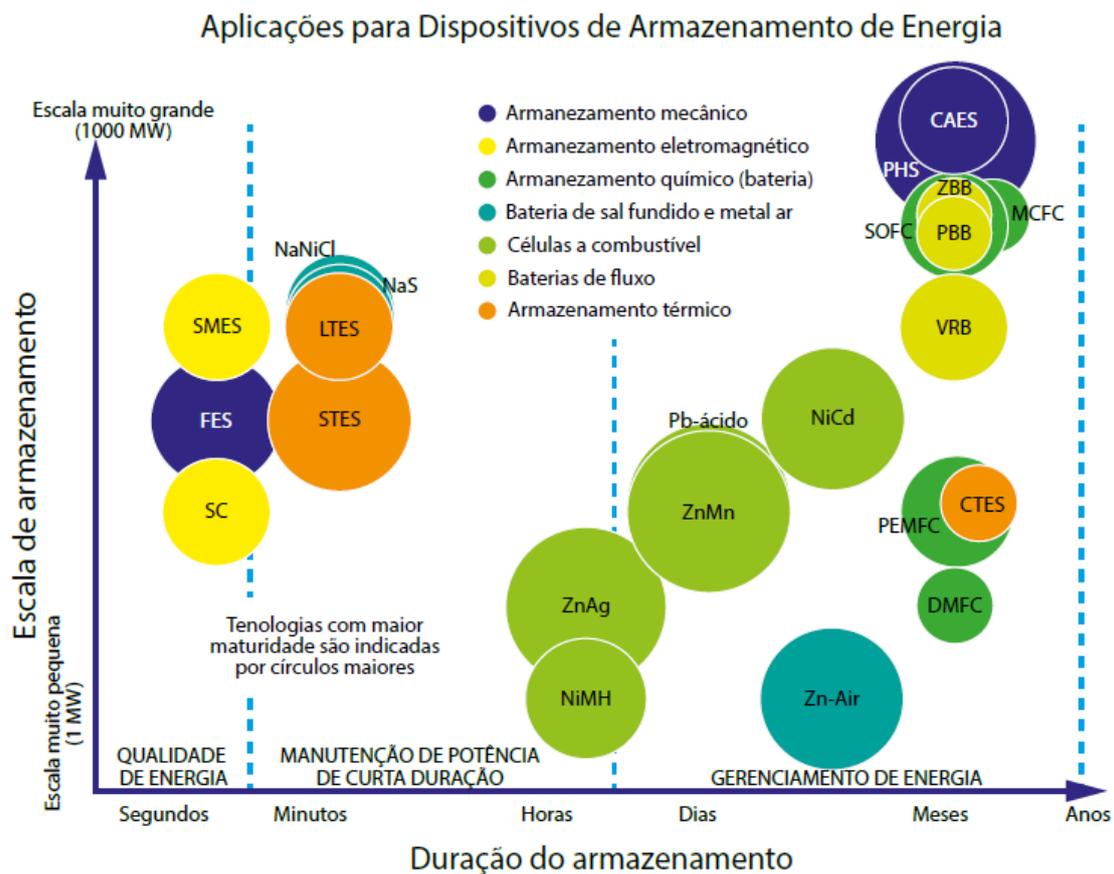


Figura 15 – Sistemas de Armazenamento de Energia

Fonte: CANTANE, D.A., ANDO JUNIOR, O.H & HAMERSCHMIDT, M.B, 2020

No outro extremo, as tecnologias mecânicas de armazenamento, como ar comprimido (CAES) e usinas hidrelétricas reversíveis (PHS); têm escala muito grande e longa duração, permitindo estratégias como arbitragens de preços e deslocamento de pico.

Os diversos tipos de baterias e células a combustível são as melhores alternativas para prestação de serviços ancilares nas redes de distribuição e transmissão (regulação de tensão e frequência, carga flutuante, entre outros) e para a integração das fontes renováveis com geração intermitente (eólica e solar)

Em 1985 surge o conceito de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD)^{42, 43}, que consiste em um conjunto de estratégias cujo objetivo é modificar a curva diária do sistema elétrico (Figura 16), reduzindo os picos de carga e a demanda instantânea na rede, facilitando o gerenciamento da mesma (GELLINGS, 1985 e WORLD BANK, 2005).

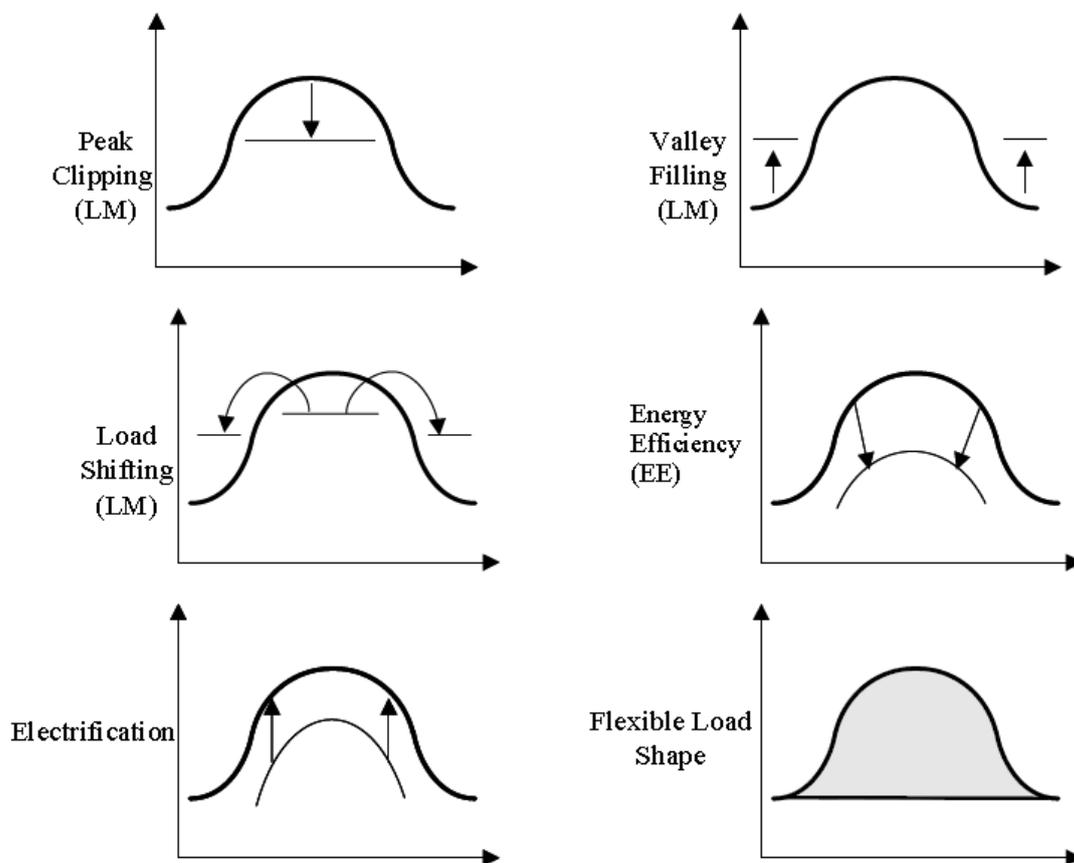


Figura 16 – Estratégias para Gerenciamento pelo Lado da Demanda

Fonte: WORLD BANK, 2005

⁴² Livre tradução do termo original, *Demand Side Management* (DSM);

⁴³ A ideia de restringir o consumo de energia surgiu em 1973, no 1º Choque Internacional do Petróleo, quando o preço do barril no mercado internacional subitamente quadruplicou (SHIOSHANSI, 1995).

As táticas de gerenciamento pelo lado da demanda mostradas têm relação direta com a entrada dos RED na matriz elétrica:

- i) Geração distribuída (no Brasil predominante solar): reduz o consumo na rede durante o dia mas aumenta a demanda no *grid* à noite. Se relaciona com a estratégia de deslocamento da carga (*load shifting*);
- ii) Baterias: são utilizadas no horário de ponta⁴⁴ (reduzindo a demanda na rede) e são carregadas em horários considerados “fora de ponta” (madrugada, manhã e tarde). Portanto, também são associadas com deslocamento da carga⁴⁵;
- iii) Eficiência energética: ações como a substituição de equipamentos obsoletos por outros de menor consumo contribuem de forma permanente para a redução da carga;
- iv) Veículos elétricos: a entrada de automóveis e ônibus elétricos na frota pode ajudar a preencher os vales (caso o abastecimento seja durante a madrugada), embora o motorista seja livre para conectar ao posto elétrico durante o dia. Então o impacto na carga vai depender da escolha do horário pelo proprietário, que pode inclusive ser influenciada por tarifas horárias diferenciadas⁴⁶;
- v) Resposta da demanda: são programas que se baseiam em oferta de remuneração para consumidores voluntariamente modificarem hábitos ou reduzirem suas atividades. Podem agir tanto como deslocadores de carga (por exemplo, clientes residenciais utilizando lavadora de roupas fora do horário de pico do sistema) como para a redução de pico (indústrias podem reduzir parcialmente as atividades). De uma forma geral pode-se dizer que a resposta da demanda serve para dar maior flexibilidade à curva de demanda diária.

Para que seja possível a difusão dos RED de maneira mais eficiente à operação das redes de transmissão e distribuição, é fundamental que a legislação continue sendo modernizada e ofereça os incentivos adequados para a configuração futura de fluxo bidirecional entre rede e clientes. Do contrário, os RED podem acabar sendo instalados em pontos desfavoráveis ou serem utilizados de forma a criar problemas sistêmicos.

⁴⁴ Que tem tarifa mais cara para clientes atendidos em média e alta tensão (ex: comércio e indústrias);

⁴⁵ Vale mencionar que a legislação brasileira proíbe que baterias injetem eletricidade no grid;

⁴⁶ No Brasil ainda não é permitido que veículos elétricos injetem energia na rede, como já acontece em países da Europa (ANEEL, 2018a).

No âmbito da atual modernização do setor elétrico brasileiro existem propostas em debate no Congresso Nacional que representam importante evolução do marco regulatório⁴⁷. Como será visto na sequência, algumas alterações são favoráveis à inserção dos RED, ainda que haja outras desfavoráveis (EPE, 2018a e E+, 2020b):

i) Tarifas com granularidade espacial (sinal locacional): atualmente não há qualquer fator que diferencie uma usina situada perto do centro de carga de outra em área remota. Nos leilões de geração centralizada todos os empreendimentos competem apenas por preço de energia, embora alguns careçam de mais investimentos em redes de transmissão e distribuição que outros.

Então a adoção do sinal locacional no segmento de distribuição seria muito benéfica aos recursos energéticos distribuídos, que seriam remunerados por ficarem no mesmo local (ou perto, dependendo do caso) de seus consumidores;

ii) Tarifas com granularidade temporal (preços horários): no mercado cativo a tarifa é praticamente fixa por um ano (com exceção de encargos que podem oscilar sazonalmente, como as bandeiras tarifárias), até o reajuste ou revisão tarifária subsequente. No mercado de curto prazo, até 31 de dezembro de 2020, os Preços de Liquidação de Diferenças (PLD) eram definidos semanalmente pela CCEE para cada subsistema (Norte, Sul, Nordeste e Sudeste/Centro-oeste) e cada patamar de carga (leve, média e pesada).

Em ambos os casos, há um desacoplamento entre o preço em tempo real e a tarifa praticada por força da legislação vigente. Então o consumidor só descobre qual foi o custo da eletricidade posteriormente, quando ocorrer o repasse tarifário.

Em 1º de janeiro de 2021 houve a implantação do preço horário pela CCEE, para fins de liquidação financeira no curto prazo. É uma evolução significativa, que traz um sinal de preços muito mais realista para o mercado.

No que se refere aos RED, a criação de tarifas com maior granularidade (inclusive para consumidores na baixa tensão) poderia ser o fator decisivo para a utilização de sistemas de armazenamento em baterias e participação em programas de resposta da demanda. Analogamente, proprietários de veículos elétricos poderiam alterar o horário de recarga, em busca de uma tarifa mais vantajosa. E

⁴⁷ Discussões iniciadas na Consulta Pública 33/2017 (MME, 2017), cujas principais propostas foram englobadas aos projetos legislativos PL 1917/2015 (BRASIL, 2015) e PLS 232/2016 (BRASIL, 2016), ambos ainda em tramitação. Como medida transitória, em setembro de 2020 foi publicada a Medida Provisória 998 (BRASIL, 2020), posteriormente convertida na Lei nº 14.120/2021, que reúne parte das alterações discutidas nestes principais projetos de lei.

a GD poderia se tornar ainda mais atrativa em determinados momentos, permitindo ao prosumidor⁴⁸ aumentar seu retorno financeiro;

- iii) Tarifas multipartes (separação fio x energia): hoje em dia os consumidores em baixa tensão têm tarifa monômnia (ou volumétrica) o que significa que sua conta é proporcional ao volume de energia demandada da rede⁴⁹. Quando um cliente reduz seu consumo, por exemplo com um sistema de GD, é diminuído na mesma proporção o pagamento pelo uso da rede (apesar de, na verdade, o cliente continuar utilizando a infraestrutura da distribuidora).

A tarifa binômnia (que é um tipo dentre as multipartes) prevê uma parcela fixa, (que pode ser associada ao custo fixo [R\$/UC], à carga da unidade consumidora [R\$/kW] ou à qualidade do suprimento) e outra parcela variável, atrelada à quantidade de energia (R\$/kWh). Sua implementação em todo grupo B corrigiria uma falha de mercado hoje observada: o subsídio cruzado em benefício de clientes cativos com GD, custeado por clientes cativos sem GD.

A implantação da tarifa binômnia reduziria a atratividade econômica dos RED que abatem consumo sem reduzir potência (GD e resposta da demanda), uma vez que manteria a parcela fixa referente à utilização da infraestrutura da distribuidora. Todavia, a magnitude do impacto dependeria do tamanho relativo da parcela fixa a ser estipulada pela ANEEL (em contraposição à parcela de energia);

- iv) Valorização de atributos ambientais: segundo o marco regulatório vigente, de todos os produtos entregues por uma usina centralizada, a energia é o único que é remunerado. Entretanto, há outras externalidades positivas que poderiam representar receita adicional aos geradores, como a contribuição do gerador para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Por exemplo, uma termelétrica a carvão emite mais GEE, durante sua operação, do que uma usina eólica. Assim como uma planta solar emite menos que uma termelétrica a gás natural. Então, a remuneração por atributos ambientais pode aumentar o retorno financeiro dos projetos de energias renováveis.

Dentro do contexto dos RED, a geração distribuída seria a opção mais favorecida. Projetos renováveis de pequeno porte, como biomassa (inclusive biogás), PCHs,

⁴⁸ Neologismo criado a partir da fusão dos termos “produtor” e “consumidor” (de energia), comumente utilizado no contexto da geração distribuída;

⁴⁹ Para este grupo também existe a cobrança do custo de disponibilidade, que varia em função da instalação consumidora ser monofásica (30 kWh/mês), bifásica (50 kWh/mês) ou trifásica (100 kWh/mês).

solar fotovoltaica e eólicas fariam jus à receita complementar. Em alguns casos este adicional pode ser decisivo para que o projeto se viabilize economicamente.

- v) Remuneração por serviços ancilares: o funcionamento adequado de qualquer sistema elétrico depende do atendimento aos requisitos de segurança, estabilidade e qualidade definidos pelo seu operador. Os serviços ancilares contribuem diretamente para este intuito, notadamente a compensação síncrona, os controles de frequência e tensão na rede, a reserva de potência operativa e o *black start*⁵⁰. O Encargo de Serviços do Sistema (ESS) é cobrado de todos os consumidores para pagar as usinas centralizadas que entregam serviços ancilares ao SIN, em especial as grandes hidrelétricas e as usinas térmicas de partida rápida⁵¹ (EPE, 2019). Entretanto, pode-se dizer que atualmente a eficiência deste encargo é parcial, uma vez que nem toda usina recebe receita adicional pela contribuição prestada ao operador. No caso dos RED, ainda não há previsão legal para permitir essa recompensa financeira.

A literatura tem destacado o potencial dos RED para prestação de serviços ancilares (CHAVES, 2009, MEDINA, 2012, BRANDÃO *et al*, 2017, EPE, 2019, CANTANE *et.al.*, 2020), em particular sistemas de armazenamento por baterias (controle de frequência, controle de tensão, reserva operativa e auto restabelecimento) e GD (compensação síncrona, reserva de potência ativa e controle de tensão).

Tecnologias de armazenamento que ainda se encontram atualmente em estágios anteriores de desenvolvimento tecnológico, como volantes de inércia (*flywheel*), ar comprimido e supercapacitores, podem evoluir nos próximos anos para uma contribuição mais significativa aos serviços ancilares (CANTANE *et.al.*, 2020).

3.2. Geração Distribuída

A definição de geração distribuída tem evoluído desde 2004, quando a agência reguladora estabeleceu a primeira conceituação nacional, por meio do Decreto nº 5.163 (BRASIL, 2004b). A definição vigente de geração distribuída, desde 2015, é mais ampla e estritamente qualitativa (ANEEL, 2015a):

⁵⁰ Auto restabelecimento da rede elétrica, após um evento de blecaute;

⁵¹ Termelétricas de ciclo aberto a gás natural, que são despachadas pelo ONS “na ponta”, ou seja, operam fora da base.

Centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas - ou não - pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Terminologia usada para um conjunto de tecnologias de geração elétrica eficiente e de porte reduzido, de equipamentos de controle e de armazenamento de eletricidade que aproximam a geração elétrica do consumidor.

Em 2012 houve a publicação da Resolução Normativa nº 482, que trouxe duas novas subcategorias: micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2012a). Posteriormente a Resolução Normativa nº 687 alterou as definições de microgeração e minigeração (ANEEL, 2015b), enquanto que a Resolução Normativa nº 786 modificou novamente o conceito de minigeração (ANEEL, 2017):

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras

A Resolução Normativa nº 482/2012 também criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no mesmo ano alterado pela REN nº 517 (ANEEL, 2012b), baseado em medições líquidas da produção de eletricidade (ou *net metering*).

O sistema de compensação brasileiro, cuja dinâmica está esquematizada na Figura 17, permite que a geração excedente dos sistemas de mini e micro GD seja injetada na rede da distribuidora, gerando créditos válidos por 60 (sessenta) meses, que não podem ser revertidos em dinheiro. Em contrapartida, quando a demanda supera a produção da GD os créditos são utilizados para abater a fatura daquela unidade consumidora (UC).

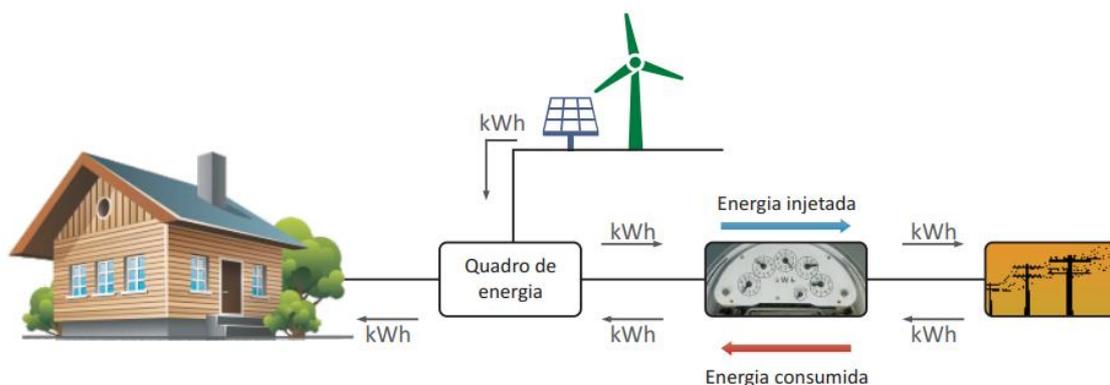


Figura 17 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica da Mini e Micro GD

Fonte: ANEEL, 2016

O SCEE também prevê o aproveitamento destes créditos em outra(s) UC(s) que tenha(m) a mesma titularidade⁵², desde que atrelada(s) ao mesmo CPF ou CNPJ e localizada(s) na mesma área de concessão onde os créditos foram gerados.

Apesar do discurso midiático de algumas associações setoriais girar em torno do empoderamento dos consumidores e de uma (suposta) maior independência frente às distribuidoras (ABSOLAR, 2019 e ABGD, 2020), é importante observar que, na prática, a maioria absoluta dos prosumidores opta por permanecer sendo cliente cativo da distribuidora, mesmo anos após a instalação de seu sistema de GD.

Isto se deve a um fato simples: o SIN funciona como se fosse uma grande bateria, para momentos em que os painéis solares fotovoltaicos produzem pouco ou nada (dias nublados, chuvosos ou durante a noite). Então a manutenção da condição de cliente cativo não denota dependência, pelo contrário, representa maior segurança operativa para o prosumidor que ainda evita o investimento em banco próprio de baterias (CBIE, 2019).

É incorreta a visão que a GD sempre posterga investimentos em todos os segmentos (geração centralizada, transmissão e distribuição). Dependendo da configuração elétrica de cada subconjunto da rede da distribuidora e do nível de utilização da infraestrutura existente, podem ser necessários investimentos adicionais para manter estabilidade de tensão e frequência, além dos indicadores de qualidade do suprimento. Em outras palavras, este exemplo seria uma externalidade negativa da GD, com custo compartilhado por todo o mercado cativo.

⁵² Nesta hipótese são previstas 3 modalidades: autoconsumo remoto, geração compartilhada e múltiplas unidades consumidoras (condomínios). Maiores detalhes do sistema de compensação, inclusive das diferenças entre créditos para clientes cativos do grupo A (alta tensão, com tarifa horária) e do grupo B (baixa tensão, com tarifa monômnia), encontram-se na REN 482/2012 da ANEEL.

Ainda do ponto de vista da distribuidora, a penetração da GD representa grande incerteza para o seu planejamento de demanda. Como os leilões acontecem com antecedência de até seis anos e é impossível saber qual será o montante de GD na área de concessão no médio prazo, se torna cada vez mais difícil fazer o ajuste fino da projeção de mercado e se manter dentro dos patamares regulatórios de nível de contratação (NC)⁵³.

Neste ponto é oportuno detalhar o quadro atual do mercado de geração distribuída no Brasil. A ANEEL possui o mais completo banco de informações sobre geração distribuída no Brasil (ANEEL, 2020a). Trata-se de um painel em Power BI que permite consultas a dados desde dezembro de 2008⁵⁴, além de apresentar mapas com a localização geográfica dos sistemas.

Tomando como referência o dia 31/05/2021 observa-se que existem no país 509.054 sistemas de GD em operação, espalhados por 5.320 cidades (95,5% do total do território) e totalizando 6.047,2 MW de potência.

As três tabelas subsequentes mostram, respectivamente, que a solar fotovoltaica é a principal fonte de energia empregada (97,5%), que a modalidade favorita no sistema de compensação é a geração na própria unidade consumidora (79,6%) e que Minas Gerais lidera o ranking dos estados com maior capacidade instalada de sistemas de mini e micro geração distribuída (17,9%).

Tabela 9 – Fontes de Energia na GD em 31/05/2021

Fonte	Quantidade de sistemas	Potência Instalada (kW)	Potência (% total)
Solar fotovoltaica	508.625	5.898.745,89	97,5%
UTE ⁵⁵	313	97.173,52	1,6%
CGH	47	36.305,47	0,6%
Eólica	69	14.930,70	0,2%
Total	509.054	6.047.155,58	100,0%

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

⁵³ As distribuidoras devem manter nível de contratação (total de contratos / carga) numa faixa entre 100,0% e 105,0%, para evitar penalidades por subcontratação ou sobrecontratação voluntárias. Conexão de sistema de GD pode se tornar um pleito da distribuidora para abater uma parcela do NC, por involuntariedade;

⁵⁴ Mês de conexão do primeiro sistema de GD no país (solar fotovoltaico, com 25 kW de potência, no município de Bocaiúva (MG);

⁵⁵ Inclui biogás, bagaço de cana, gás natural, resíduos sólidos urbanos, resíduos florestais, casca de arroz, gás de alto forno e licor negro.

Tabela 10 – Modalidade no Sistema de Compensação da GD em 31/05/2021

Modalidade	Quantidade de sistemas	Potência Instalada (kW)	Potência (% total)
Geração na própria UC	436.485	4.811.283,46	79,6%
Autoconsumo remoto	71.405	1.170.852,65	19,4%
Geração compartilhada	967	60.279,17	1,0%
Condomínios	197	4.740,30	0,1%
Total	509.054	6.047.155,58	100,0%

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

Tabela 11 – Potência Instalada de Sistemas de GD por UF em 31/05/2021

Estado	Quantidade de sistemas	Potência Instalada (kW)	Potência (% total)
MG	91.874	1.084.037,64	17,9%
SP	80.550	750.225,18	12,4%
RS	69.540	737.285,14	12,2%
MT	31.108	462.586,45	7,6%
PR	25.286	350.740,99	5,8%
GO	21.811	329.271,94	5,4%
RJ	27.527	263.958,11	4,4%
SC	19.648	246.324,39	4,1%
CE	14.450	221.005,43	3,7%
BA	19.640	199.702,68	3,3%
PE	11.295	175.273,74	2,9%
MS	14.653	174.058,65	2,9%
PA	12.242	139.321,50	2,3%
PI	10.002	120.716,02	2,0%
RN	8.682	118.660,00	2,0%
MA	9.762	118.364,96	2,0%
ES	8.024	107.960,08	1,8%
PB	8.061	107.903,46	1,8%

TO	7.707	77.856,54	1,3%
DF	3.553	72.998,61	1,2%
RO	4.298	64.752,84	1,1%
AL	2.854	37.167,67	0,6%
SE	2.902	34.456,05	0,6%
AM	2.004	30.881,83	0,5%
AC	796	9.584,09	0,2%
AP	444	8.342,04	0,1%
RR	341	3.705,55	0,1%
Total	509.054	6.047.155,58	100,0%

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

No que se refere às regiões geográficas, a Tabela 12 revela que a Sudeste se destaca, impulsionada pelo mercado de GD desenvolvido em Minas Gerais e São Paulo. Em segundo lugar aparece a região Sul, cujo desempenho pode ser associado ao Rio Grande do Sul (segundo estado com maior potência instalada).

Tabela 12 – Potência Instalada de Sistemas de GD por Região Geográfica em 31/05/2021

Região	Quantidade de sistemas	Potência Instalada (kW)	Potência (% total)
Sudeste	207.974	2.206.181,01	36,5%
Sul	114.474	1.334.350,22	22,1%
Nordeste	87.648	1.133.250,01	18,7%
Centro-Oeste	71.125	1.038.915,65	17,2%
Norte	27.833	334.458,39	5,5%
Total	509.054	6.047.155,58	100,0%

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

Pode parecer um contrassenso a preponderância da energia solar e o Nordeste ter potência instalada menor que o Sul. Contudo é fundamental considerar o alto custo dos painéis fotovoltaicos. Uma vez que a renda familiar média no Sul é mais alta do que no Nordeste, é natural que a diferença socioeconômica se reflita no investimento em GD.

A Tabela 13 mostra os setores comercial e residencial praticamente empatados, totalizando 3.508 MW. Isto indica que a baixa tensão tem maior adesão à GD.

Tabela 13 – Classe de Consumo com Sistemas de GD em 31/05/2021

Segmento	Quantidade de sistemas	Potência Instalada (kW)	Potência (% total)
Residencial	382.242	2.403.795,33	39,8%
Comercial	77.292	2.218.134,63	36,7%
Rural	36.331	828.458,52	13,7%
Industrial	11.223	521.455,66	8,6%
Poder Público	1.806	68.472,17	1,1%
Serviço Público	127	5.813,88	0,1%
Iluminação pública	33	1.025,39	0,02%
Total	509.054	6.047.155,58	100,0%

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

Após compreender o status atual do mercado nacional de GD, é interessante analisar sua evolução desde 2008. Nos primeiros 4 anos o crescimento ocorreu em ritmo vegetativo: ao final de 2011 havia apenas 13 sistemas de GD no Brasil, somando 169,22 kW de potência em operação (Tabela 14).

A partir de 2012, ano de publicação da REN 482, o ritmo de implantação de projetos acelera: entre 2012 e 2014 a taxa de crescimento anual foi de aproximadamente 300% ao ano, atingindo 385 sistemas de GD e 4.934,91 kW.

Tabela 14 – Evolução dos Sistemas e da Capacidade Instalada de GD – 2008 a 2021

Ano	Sistemas de GD instalados por ano	Potência adicionada por ano [kW]
2008	1	25,00
2009	2	23,20
2010	6	40,02
2011	4	81,00
2012	6	467,22
2013	59	1.494,66

2014	307	2.803,81
2015	1.462	14.609,89
2016	6.744	66.029,70
2017	13.990	152.347,42
2018	35.815	429.043,28
2019	122.642	1.564.120,69
2020	207.811	2.606.473,50
2021	120.205	1.209.596,19
Total	509.054	6.047.155,58

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

Com a publicação da REN 687, em 2015, o setor de mini e microgeração tem o impulso definitivo para sua consolidação no país. Nos anos subsequentes o crescimento se torna exponencial: em 6 anos a capacidade instalada subiu 980 vezes, até atingir 4.837,6 MW em dezembro de 2020.



Figura 18 – Evolução da Quantidade de Sistemas de GD Instalados – 2008 a 2021

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020a

A título de exemplo, apenas nos primeiros onze dias do ano 2021 o segmento de GD cresceu mais do que no período 2008 – 2014, tanto em quantidade de sistemas (396 x 386) quanto em potência (6.285,22 kW x 5.688,22 kW). Isto comprova a excepcional atratividade econômica atualmente verificada nos projetos de geração distribuída.

De fato, a GD propicia para os consumidores cativos redução nos custos com as faturas mensais de eletricidade, com retorno do investimento inicial em poucos anos, fruto de um conjunto de subsídios e isenções de encargos setoriais trazidos pela REN 482, além da isenção de ICMS concedida por todos os estados brasileiros desde 2018 (GD, 2018).

Essa condição faz com que vários custos relacionados ao serviço de distribuição, tais como encargos setoriais e a própria utilização das redes de transmissão e distribuição,

que representam parte significativa da tarifa final, não sejam remunerados pelos micro e minigeradores, sendo rateados entre os demais usuários cativos do sistema elétrico⁵⁶.

Neste ponto vale ressaltar que é absolutamente legítimo que qualquer país ou unidade da federação opte por conceder subsídios, isenções fiscais ou incentivos de outra natureza a qualquer fonte de energia ou tecnologia emergente, como forma de facilitar a superação de diferentes barreiras e acelerar sua penetração na matriz elétrica (ME, 2019). Afinal de contas, a livre competição por preço com fontes de energia já consolidadas seria muito árdua ou, em alguns casos, impossível em uma indústria nascente.

Portanto, a criação de um ou mais mecanismos de incentivo (desde que com embasamentos sólidos) não é, necessariamente, um problema. A questão crucial é assegurar uma reavaliação da situação após alguns anos, para evitar que o subsídio se perpetue integralmente, mesmo que as condições de contorno tenham se modificado.

Por exemplo, a inserção gradual de uma fonte na matriz representa ganho de escala para os fabricantes de equipamentos, que por sua vez resulta na progressiva diminuição do preço da tecnologia⁵⁷. Então, num contexto de maior competitividade com as opções mais consolidadas, o regulador precisa buscar a manutenção do equilíbrio entre as fontes. Assim se torna fundamental discutir a possibilidade de redução, ou até mesmo eliminação, dos subsídios existentes.

O maior problema da geração distribuída no Brasil é, justamente, a morosidade observada para rediscussão dos incentivos concedidos à GD na esfera federal. Apesar do ritmo exponencial de crescimento da GD no país, apresentado na Tabela 14, somente em 2018 a ANEEL abriu uma Consulta Pública neste âmbito (ANEEL, 2018b), apresentando seis diferentes alternativas para manutenção da situação atual ou redução parcial dos mecanismos de incentivo (Figura 19).

A alternativa zero equivaleria à não alteração das regras da geração distribuída no Brasil, enquanto que nas alternativas 1 até 5 ocorre a incorporação gradual de componentes hoje isentos da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) e da Tarifa de Energia (TE), a saber: TUSD Fio B (remuneração da rede de distribuição),

⁵⁶ A situação de momento dos subsídios à GD no Brasil foge à lógica econômica. Ocorre que, mesmo no patamar atual de preços, os painéis solares fotovoltaicos ainda são muito caros para a maioria das famílias brasileiras, de modo que se observa uma forte predominância da GD entre clientes de maior poder aquisitivo e/ou renda familiar. Então os subsídios e incentivos fiscais concedidos, pagos por todos os demais consumidores, beneficiam essencialmente os clientes cativos mais ricos. Para os fabricantes de equipamentos não há qualquer problema, mas será que faz sentido a perpetuação dessa alocação de custos (na forma de subsídio cruzado) em uma sociedade já tão desigual?

⁵⁷ O Custo Nivelado de Energia (LCOE) da energia solar FV caiu 70% entre 2012 e 2019 (IRENA, 2021).

TUSD Fio A (remuneração de redes de distribuição transmissão de terceiros), Encargos da TUSD, Perdas da TUSD, TE Encargos, TE Perdas e TE Transporte.

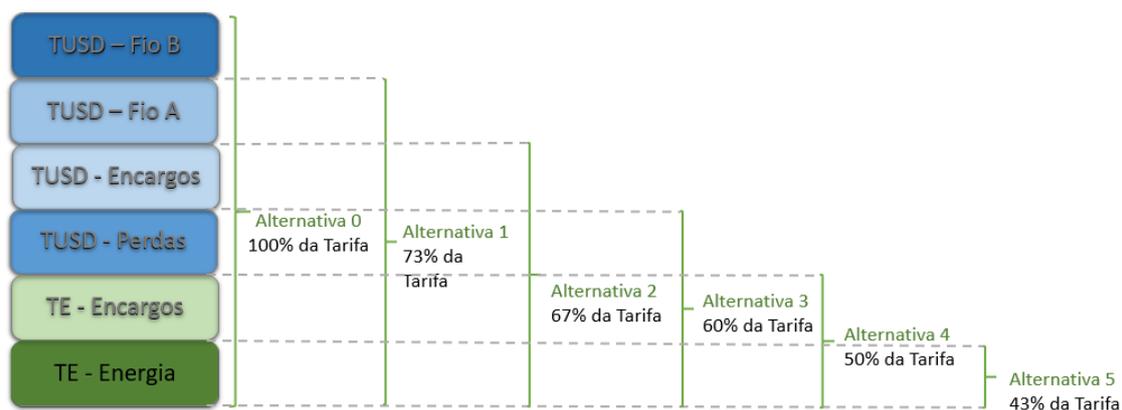


Figura 19 – Alternativas Propostas para Revisão da REN 482/2012

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2018b

Em dezembro de 2019, após um ano e meio de amplo debate e já no âmbito de outra Consulta Pública (ANEEL, 2019), quando tudo parecia se encaminhar para uma definição, houve um contratempo político/institucional que interrompeu a revisão da REN 482/2012.

Agentes ligados ao segmento solar e, portanto, diretamente interessados na manutenção das regras vigentes, iniciaram um movimento com argumentos sem lastro técnico e de forte apelo midiático. Liderados pela ABSOLAR e com o slogan “diga não à taxação do Sol”, o setor conseguiu apoio da mídia não especializada, assim como grande parte do movimento ambientalista. Em paralelo foi executado um eficiente lobby político, tanto no poder legislativo quanto no executivo (o presidente da república chegou a se manifestar publicamente contra a “taxação do Sol”).

Essa estratégia aumentou a pressão sobre a ANEEL, que optou por não dar continuidade ao processo de revisão da REN 482/2012. Importante assinalar que não houve suspensão formal nem conclusão do processo, mas as etapas subsequentes não foram agendadas até o presente momento. Em outras palavras, a discussão sobre a permanência dos subsídios da GD no país foi interrompida em razão da postura hesitante da agência reguladora em questão, em conjunto com a articulação política em Brasília.

Neste íterim muitos parlamentares foram convencidos pela campanha do segmento solar fotovoltaico e, aproveitando o vácuo regulatório configurado a partir da

omissão da ANEEL, apresentaram projetos de lei ou emendas a projetos em tramitação no Congresso Federal, com intuito de afastar o risco da (suposta) taxaço solar no Brasil. A listagem abaixo relaciona 6 (seis) projetos de lei identificados até janeiro de 2021:

- Projeto de Lei 5829/2019 (deputado federal Silas Câmara – Republicanos / AM);
- Projeto de Lei 5878/2019 (deputado federal Schiavinato – PP / PR);
- Projeto de Lei 5992/2019 (deputado federal Celso Sabino – PSDB / PA);
- Projeto de Lei 6156/2019 (deputado federal Luiz Antônio Corrêa – PL / RJ);
- Projeto de Lei 2215/2020 (deputado federal Beto Pereira – PSDB / MS).
- Anteprojeto do Código Brasileiro de Energia Elétrica (deputado federal Lafayette de Andrada – Republicanos / MG)⁵⁸;

Como o ordenamento jurídico brasileiro define que leis são hierarquicamente superiores às portarias e resoluções normativas, houve o entendimento que a solução para o impasse da GD sairá do legislativo, ao invés da rota tradicional (agência reguladora). Mas vale lembrar que o trâmite nas comissões e plenário pode ser lento e, assim, o prazo para conclusão é, neste momento, incerto.

Enquanto isso permanece vigente a redação atual da REN 482/2012, ou seja, a atuação da ABSOLAR está obtendo êxito no intuito de postergar ao máximo a possível redução dos subsídios da GD. No final de maio de 2021 a capacidade instalada da geração distribuída no Brasil já supera 6,0 GW e a consequência financeira é que os clientes cativos das distribuidoras estão custeando um subsídio cruzado anual da ordem de R\$ 3,0 bilhões (Correio Braziliense, 2020).

3.3. Biogás

O biogás é uma mistura gasosa resultante da decomposição de matéria orgânica, em condições anaeróbias (ausência de oxigênio), em um processo biológico denominado “digestão anaeróbia”⁵⁹.

⁵⁸ Importante salientar que o Código Brasileiro de Energia Elétrica está sendo proposto como um instrumento de consolidação normativo do setor elétrico brasileiro. Então é esperado que traga alguma proposta para a revisão dos subsídios da REN 482/2012;

⁵⁹ Existe outro subproduto deste processo: o biofertilizante (ou digestato), que é um líquido com alta concentração de nitrogênio, fósforo e potássio (principais componentes dos adubos industriais). O biofertilizante pode ser utilizado em lavouras, desde que atenda à legislação pertinente do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA.

A literatura aponta que a quantidade de biogás produzido e sua composição podem variar de acordo com alguns parâmetros dentro do reator (biodigestor). Mas no geral observa-se principalmente frações de metano (CH₄), em volumes entre 50% e 75%, e dióxido de carbono (CO₂), entre 25% e 50%, além de pequenas quantidades de hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), gás sulfídrico (H₂S) e outros gases (BIASI *et al*, 2018).

O conteúdo energético do biogás é proporcional ao seu teor de metano. No Brasil pode-se adotar uma média de 60% de CH₄ no biogás, o que equivale a um poder calorífico inferior (PCI) de cerca de 22 MJ/Nm³ (5.280 kcal/Nm³ ou 6,1 kWh/Nm³).

Se o biogás passar por uma etapa de purificação (refino), visando a retirada de dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e outros gases, água e siloxanos, o teor de metano do biogás pode alcançar patamares acima de 90%. Neste caso o combustível se torna equivalente ao gás natural e passa a ser denominado “biometano”, podendo ser injetado em gasodutos de transporte ou distribuição de gás natural (ANP, 2017).

O processo de biodigestão pode ser aplicado nos resíduos da agropecuária, efluentes da indústria de alimentos & bebidas, estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários, transformando passivos ambientais em uma fonte renovável de energia, permitindo a substituição parcial de combustíveis fósseis (ZANETTE, 2009).

A transformação bioquímica do substrato em biogás ocorre em quatro etapas (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), esquematizadas na Figura 20 e descritas na sequência (EMBRAPA, 2019):

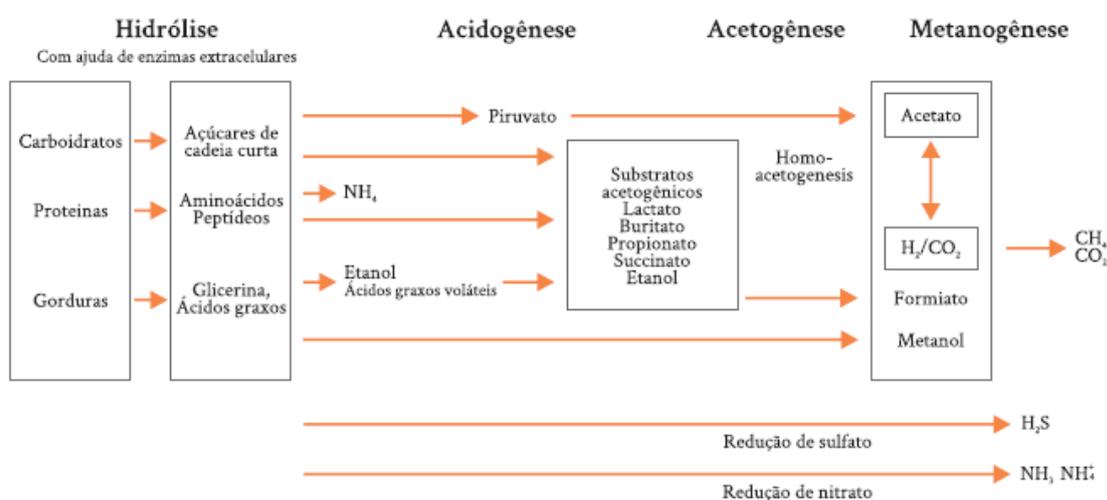


Figura 20 – Quatro Etapas da Biodigestão Anaeróbia

Fonte: EMBRAPA, 2019

1. Hidrólise: bactérias hidrolíticas decompõem compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em substâncias químicas mais simples (aminoácidos, açúcares e ácidos graxos). A duração varia de acordo com o substrato (poucas horas para carboidratos e alguns dias para proteínas e lipídios). No caso da lignocelulose e da lignina a hidrólise é, muitas vezes, incompleta.
2. Acidogênese: os monômeros formados na fase hidrolítica são utilizados como substratos por diferentes bactérias acidogênicas, produzindo ácidos orgânicos de cadeia curta (ex: propiônico, butírico, láctico, acético), álcoois, óxidos de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio e dióxido de carbono.
3. Acetogênese: os ácidos sintetizados na fase anterior são transformados pelas bactérias fermentativas acetogênicas em ácidos fórmico e acético, além de hidrogênio e dióxido de carbono.
4. Metanogênese: o carbono contido na biomassa é convertido a dióxido de carbono e metano através da ação de bactérias arqueas metanogênicas. As bactérias acetoclásticas convertem acetato a metano, enquanto que as hidrogenotróficas convertem hidrogênio e dióxido de carbono a metano.

Ainda de acordo com a Embrapa, os microrganismos presentes nos reatores anaeróbios são particularmente suscetíveis às condições ambientais e requerem que seja mantido um balanço delicado do sistema. Em seguida são apresentados os requisitos a serem atendidos para garantir uma boa cinética no biodigestor:

1. Temperatura: influencia a velocidade de crescimento e o metabolismo dos microrganismos. Reações endotérmicas são favorecidas quando a temperatura aumenta, enquanto que as reações exotérmicas são prejudicadas.
Para evitar desequilíbrio na cinética das reações bioquímicas no biodigestor, a temperatura interna do reator não deve variar mais do que 2°C em curto período.
2. pH: cada grupo de microrganismo tem uma faixa ideal para pH (as arqueas metanogênicas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo entre 6,7

e 7,5. Já os microrganismos fermentativos são menos sensíveis e podem se adaptar a variações amplas de pH, entre 4,0 e 8,5).

Vale lembrar que reatores anaeróbios são vedados (não podem ser abertos), o que dificulta a correção em tempo real do pH.

3. Potencial metanogênico bioquímico do substrato: a transformação de matéria orgânica em biogás depende do conteúdo de sólidos voláteis (SV) em cada substrato. Isto significa que cada resíduo terá um fator específico de conversão em metano, determinado em ensaios de laboratório.

4. Tempo de Retenção Hidráulica (TRH): é o tempo médio em que o substrato permanece no interior do biodigestor. Varia em função do substrato, do tipo de reator e dos aspectos operacionais, podendo oscilar entre 4 e 60 dias.
Em geral, quanto maior for o tempo de retenção hidráulica, maior será fração de matéria orgânica convertida em biogás.

5. Disponibilidade de nutrientes no substrato: diversos elementos químicos servem como micronutrientes, mas em concentrações elevadas ou em conjunto com outras condições apresentam efeito tóxico (PROBIOGÁS, 2015).
Por exemplo, compostos de enxofre podem causar precipitação de nutrientes essenciais (como ferro, níquel, cobre e molibdênio), prejudicando o processo anaeróbio. Já a amônia, oriunda da fermentação de ureia e proteínas, pode ser tóxica em concentrações elevadas.

A cadeia do biogás causa um conjunto de externalidade positivas para a sociedade, especialmente nas dimensões ambiental, econômica e social, e propicia a captura do metano que seria liberado para a atmosfera (caso houvesse a degradação da matéria orgânica em ambiente livre).

Considerando que o metano tem potencial de aquecimento global⁶⁰ 28 vezes maior que o do dióxido de carbono (IPCC, 2015), um benefício notório seria a redução das emissões de gases de efeito estufa em atividades potencialmente poluidoras.

⁶⁰ Tradução livre de *Global Warming Potential* (GWP).

Um diferencial competitivo do biogás é a capacidade de armazenamento, que permite maior flexibilidade operativa. Dependendo do tipo de substrato e do uso final pretendido (calefação, cocção, geração elétrica, transporte, entre outros), o grau de pureza necessário pode variar bastante (MARIANI, L.F., 2018):

1. Energia térmica: consumo próprio na calefação de ambientes (ex: galpões da avicultura durante o inverno), secagem de grãos, geração de vapor, aquecimento de água e na cocção de alimentos.

Nesse caso o biogás não necessita refino (até se transformar em biometano). Substitui lenha, GLP, óleo combustível ou qualquer outra fonte de energia tradicionalmente utilizada para geração de calor.

2. Energia elétrica: geração de eletricidade num pequeno grupo motogerador a partir do biogás (com menor rendimento) ou através do biometano (com maior rendimento, em razão do elevado teor de metano).

A eletricidade é um insumo necessário para muitos equipamentos nas unidades produtoras de biogás: bombas e agitadores (estações de tratamento de esgoto - ETE), sistemas de aspersão e irrigação (agricultura), equipamentos de ventilação (pecuária), sistemas de refrigeração (frigoríficos e laticínios), entre outros.

Uma vez que é possível estocar biogás, consumidores cativos que pagam tarifa horosazonal (atualmente grupo A) podem optar pela geração a biogás nos horários de pico, em que a eletricidade fornecida pela distribuidora está mais cara, para reduzir sua despesa com eletricidade.

3. Energia veicular: para utilização em veículos automotores não é possível usar diretamente biogás, apenas biometano. Para veículos pesados, que operam no ciclo Diesel, é mandatório fazer adaptações mecânicas para permitir uso de biometano.

Em localidades distantes da malha de gasodutos a autonomia dos veículos é uma limitação, uma vez que a logística de abastecimento por biometano praticamente inexistente. Também não se mostra economicamente viável o transporte rodoviário de biometano comprimido em cilindros (GNC) até outros mercados consumidores. Nas cidades já atendidas pelas distribuidoras de gás natural, em

regra geral o biometano não consegue competir economicamente com o gás natural veicular (GNV).

Outra possibilidade seria utilizar biometano em máquinas agrícolas (ex: tratores, semeadeiras, colheitadeiras), em substituição ao óleo diesel. Alguns fabricantes, como por exemplo a New Holland, estão desenvolvendo modelos “flex” adaptados para receber diesel e biometano, o que pode vir a impulsionar esse uso final nos próximos anos (SEBIGAS CÓTICA, 2018).

4. Outros usos: em propriedades rurais é permitida a aplicação direta do biofertilizante nas próprias lavouras (é proibido o transporte por qualquer modal entre dois ou mais estabelecimentos, ainda que do mesmo dono). Já a venda para terceiros carece de enquadramento na especificação de fertilizantes comerciais, além de autorização expressa dos órgãos competentes.

Por outro lado, o digestato proveniente de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários é contaminado por siloxanos, o que impede sua aplicação nas lavouras, visando evitar que estes compostos entrem na cadeia alimentar humana.

A Figura 21 consolida as rotas de produção e tratamento, de acordo com a destinação final do biogás ou biometano (MARIANI, L.F., 2018):

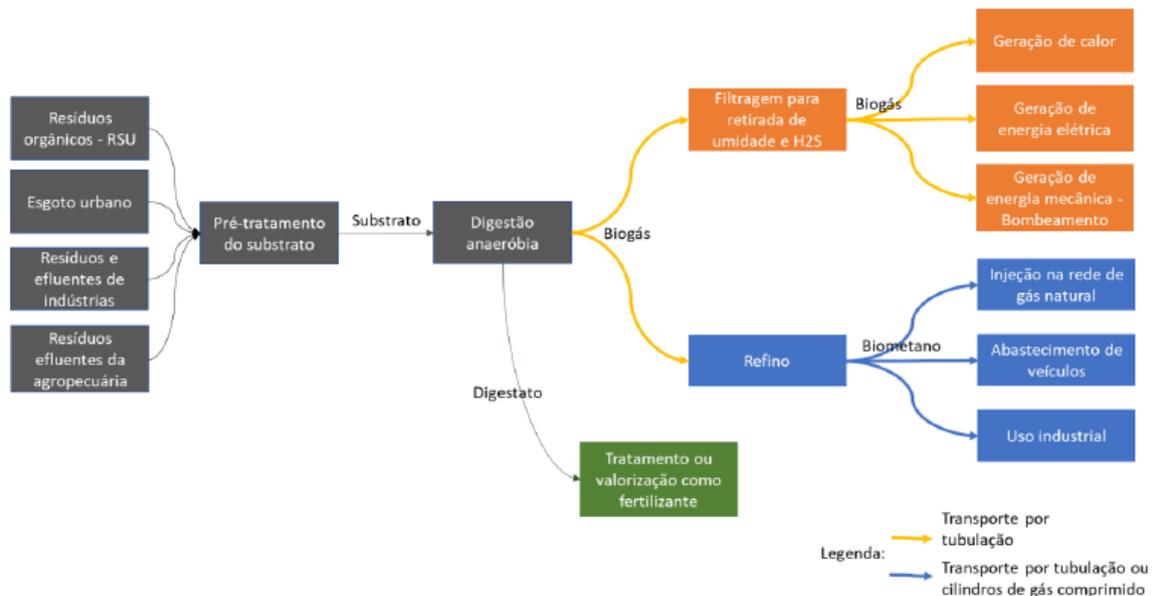


Figura 21 – Usos Finais de Biogás e Biometano

Fonte: MARIANI, 2018

O biogás e o biometano apresentam alguns atributos relevantes. Do ponto de vista operacional o aspecto mais importante seria a facilidade de armazenamento dessas fontes em gasômetros, que podem ser rígidos ou infláveis (Figura 22).



Figura 22 – Armazenamento de Biogás e Biometano em Gasômetros

Fonte: AEN, 2020b

Então é possível regularizar o suprimento de biogás ou biometano para o consumidor final, apesar de sua produção ser variável no decorrer do dia e apresentar sazonalidade anual. Por este motivo o biogás pode ser considerado uma fonte de energia renovável não intermitente, característica fundamental para determinadas aplicações que não permitem variação súbita de carga (ex: aquecimento de aviários e geração elétrica).

No quesito ambiental se destaca a possibilidade de redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o cumprimento do Acordo de Paris, compromisso climático do qual o Brasil é signatário (UN, 2015b).

A biodigestão de resíduos orgânicos pode evitar a livre emissão de metano na atmosfera que, conforme já apontado neste capítulo, tem potencial de aquecimento global 28 vezes maior que o CO₂. Trata-se da oportunidade de transformar um passivo ambiental em um ativo energético descentralizado, inclusive gerando renda para o produtor rural, indústria de alimentos, aterro sanitário ou estação de tratamento de esgoto (FGV ENERGIA, 2017).

A Associação Brasileira do Biogás e do Biometano (ABIOGÁS) calcula anualmente o potencial técnico de biogás no país. A estimativa mais recente se refere a 2019 e foram estudados três segmentos (saneamento, agroindústria e setor sucroenergético), sendo obtidas estimativas para geração elétrica a partir de biogás e produção de biometano. Os resultados, por setor, são mostrados na Figura 23:

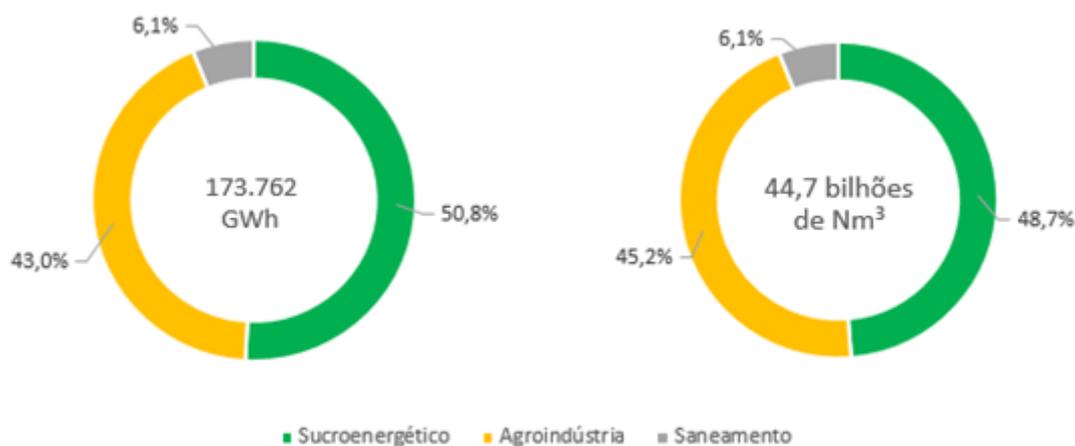


Figura 23 – Potenciais de Geração Elétrica e de Biometano em 2019, por Setor

Fonte: ABIOGÁS, 2020

Apesar do predomínio do setor sucroenergético (com cerca de metade do potencial teórico), pode-se entender que a agroindústria também tem uma fatia expressiva, superando 40% em ambas análises. Já o setor de saneamento registra apenas 6% do total (ABIOGÁS, 2020).

Em relação à dispersão territorial, a Figura 24 informa que São Paulo lidera com aproximadamente 1/3 (um terço) do potencial brasileiro de biogás. A explicação reside na combinação dos resíduos da agricultura no interior desta UF (em especial do setor sucroalcooleiro), além de efluentes industriais na região metropolitana da capital, aterros sanitários e ETE.

Na sequência aparecem empatados Minas Gerais e Goiás (com 12% cada), seguidos por outros estados com expressiva produção agropecuária: Paraná (9%), Mato Grosso (7%), Mato Grosso do Sul (6%) e Rio Grande do Sul (4%). Interessante observar que três estados (SP, MG e GO) agregam mais da metade do potencial nacional de biogás. Se forem considerados as sete UF mais representativas, a fração aumenta para 81%.

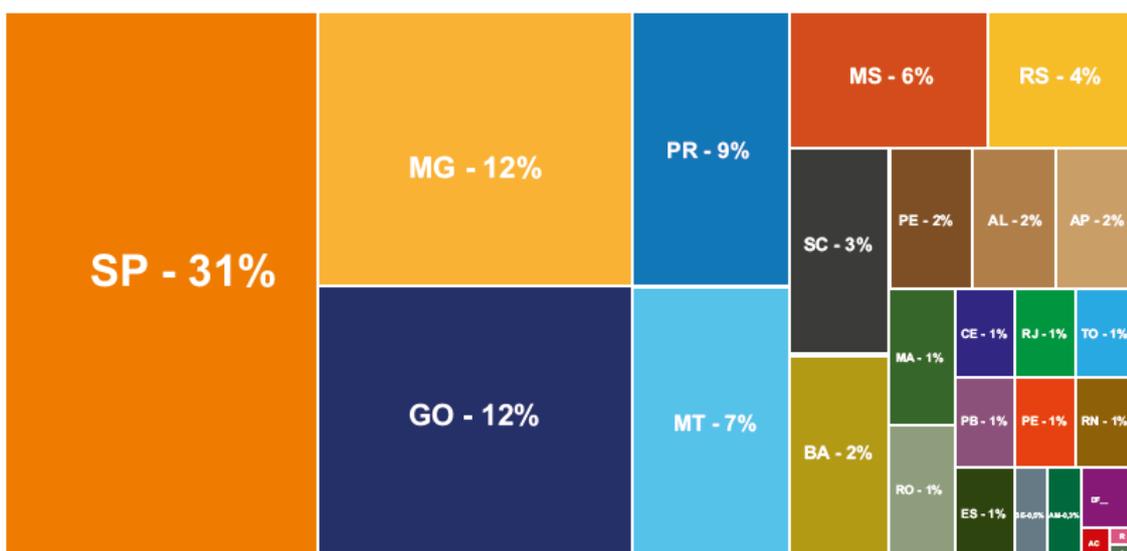


Figura 24 – Participação Relativa dos Estados no Potencial Teórico de Biogás

Fonte: ABILOGÁS, 2020

Nos últimos anos o setor de biogás vem crescendo no Brasil, graças a um conjunto de políticas, projetos de pesquisa e incentivos ligados diretamente ou indiretamente ao setor. No entanto, um longo caminho ainda precisa ser percorrido para eliminar as barreiras técnicas, econômicas, regulatórias e de mercado, para viabilizar cada vez mais modelos de negócios (STILPEN *et al*, 2018 e PROBIOGÁS, 2016).

De acordo com o Cadastro Nacional do Biogás (levantamento contínuo mantido pelo CIBiogás), em 2020 havia 638 unidades de produção de biogás em operação no Brasil, além de 26 em construção e mais 11 em reforma, totalizando 675 plantas e uma produção anual de biogás estimada em 5,0 milhões de Nm³/dia (CIBIOGÁS, 2021a). Os dados estão sintetizados na Tabela 15.

Tabela 15 – Plantas de biogás no Brasil em 2020

Status	Quantidade de plantas	Volume de biogás [Nm ³ /ano]
Em operação	638	1.829.068.834
Em instalação	26	349.961.930
Em reforma ou upgrade	11	43.349.781
Total	675	2.222.380.545

Fonte: elaboração própria, a partir de CIBIOGÁS, 2021a

No que se refere ao porte dos biodigestores em operação no país, observa-se que 77,7% das plantas produzem até 1 bilhão de Nm³ de biogás por ano, sendo consideradas de pequeno porte. As unidades de capacidade intermediária (entre 1 e 5 milhões de Nm³ anuais) agregam 16,3% ao conjunto. Já a fatia remanescente (6,0%) corresponde às maiores usinas nacionais, cuja capacidade operativa supera 5.000.000 de Nm³/ano (vide Tabela 16).

Tabela 16 – Capacidade das plantas de biogás em operação no Brasil em 2020

Porte	Quantidade de plantas	Volume de biogás [Nm ³ /ano]
Pequeno (até 1.000.000 Nm ³ /ano)	496	150.849.096
Médio (de 1.000.001 até 5.000.000 Nm ³ /ano)	104	239.360.738
Grande (acima de 5.000.000 Nm ³ /ano)	38	1.438.855.500
Total	638	1.829.065.334

Fonte: elaboração própria, a partir de CIBIOGÁS, 2021a

Entretanto, se a análise se fundamentar no volume de biogás produzido a situação se inverte: 78,7% são oriundos das maiores plantas, enquanto os médios e pequenos biodigestores representam 13,1% e 8,2% do total, respectivamente.

O BIOGASMAP é um mapa interativo de plantas de biogás, concebido originalmente pelo CIBiogás e atualizado continuamente em parceria com a ABIOGÁS e a UNIDO (CIBIOGÁS, 2020). O usuário consegue aplicar vários filtros para obter as informações desejadas, a saber: localização, porte, situação operativa, ano de entrada em operação, substrato, aplicação final.

A Figura 25 posiciona no mapa brasileiro as 496 usinas de pequeno porte. Verifica-se maior concentração nos estados de Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Goiás e Santa Catarina (em consonância com o cinturão de produção pecuária).



Figura 25 – Localização das Plantas de Biogás de Pequeno Porte

Fonte: CIBIOGÁS, 2020

A Figura 26 aponta a localização das 104 usinas de porte médio. Neste caso destacam-se efluentes industriais de empreendimentos na divisa entre Paraná e Mato Grosso do Sul, além de plantas associadas a resíduos agropecuários em Minas Gerais, Goiás e São Paulo.

Na sequência, a Figura 27 revela onde estão situadas as 38 maiores plantas de biodigestão do país, em geral instaladas em aterros sanitários ou estações de tratamento de esgoto (com destaque para São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais).



Figura 26 – Localização das Plantas de Biogás de Médio Porte
 Fonte: CIBIOGÁS, 2020

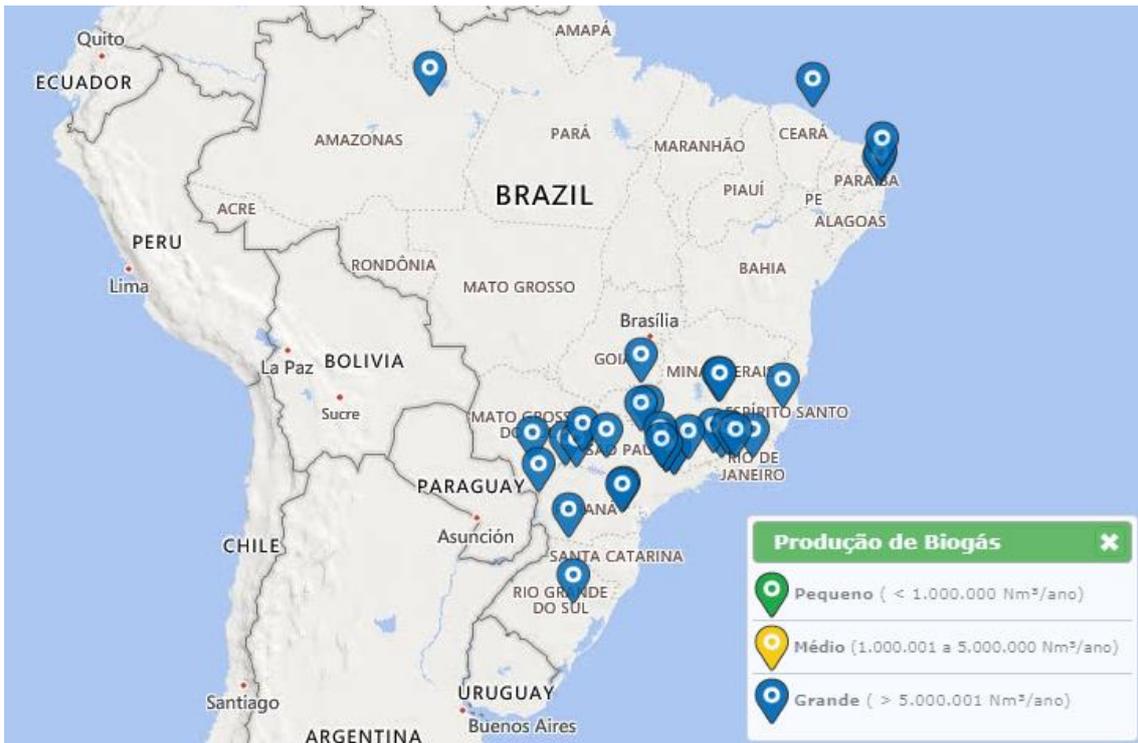


Figura 27 – Localização das Plantas de Biogás de Grande Porte
 Fonte: CIBIOGÁS, 2020

No que tange ao substrato, nota-se que 78,8% das plantas no país utilizam resíduos da atividade agropecuária, enquanto 12,2% operam com efluentes industriais e outras 8,9% funcionam com resíduos sólidos urbanos ou esgotos domésticos (Tabela 17).

Tabela 17 – Matéria-prima das plantas de biogás em operação no Brasil em 2020

Origem	Quantidade de plantas	Volume de biogás [Nm ³ /ano]
Agropecuária	503	203.048.019
Indústria	78	283.795.333
Aterro Sanitário e ETE	57	1.342.221.982
Total	638	1.829.065.334

Fonte: elaboração própria, a partir de CIBIOGÁS, 2021a

Contudo, a produção de biogás de cada categoria revela panorama distinto: 73,4% do volume está vinculado a aterros sanitários e ETEs, ao passo que 11,1% são oriundos das atividades agropecuárias no país e 15,5% são explicados pelo aproveitamento energético de efluentes industriais. Isso se justifica pelo fato dos aterros possuírem uma maior concentração espacial de resíduos orgânicos comparada aos demais segmentos, facilitando seu aproveitamento e a geração de biogás.

Quando se analisa a questão sob a ótica da aplicação energética, é possível deduzir que 85,1% das plantas de biogás no país se destinam à geração elétrica. Adicionalmente há 81 biodigestores (12,7%) dedicados à energia térmica (geralmente em propriedades rurais) e 2,2% divididos entre a produção de biometano para fins automotivos (uso veicular) e biogás para movimentar pequenas bombas na agricultura (Tabela 18).

Tabela 18 – Uso final do biogás oriundo de plantas em operação no Brasil em 2020

Aplicação energética	Quantidade de plantas	Volume de biogás [Nm ³ /ano]
Energia elétrica	543	1.328.281.811
Energia térmica	81	148.553.236
Biometano / GNV	8	344.704.175
Energia mecânica	6	7.526.112
Total	638	1.829.065.334

Fonte: elaboração própria, a partir de CIBIOGÁS, 2021a

A avaliação em função do volume de biogás traz resultado semelhante: 72,6% relacionados à geração elétrica, 18,9% para produção de biometano, 8,1% para calefação de ambientes, aquecimento de água e cocção, além de 0,4% para bombear digestato em lavouras.

O Sistema de Informações da Geração da ANEEL (SIGA) substituiu o antigo Banco de Informações da Geração (BIG), sendo atualmente o maior banco de dados sobre empreendimentos de geração elétrica no Brasil⁶¹. No que tange às informações de biogás, observa-se possível subnotificação no SIGA: adotando como data de referência o dia 31/05/2021, aparecem apenas 42 usinas somando 230,8 MW (ANEEL, 2021).

Juntando com as 270 unidades de mini e micro GD a biogás, que agregam mais 63,7 MW à matriz elétrica (ANEEL, 2020a), tem-se que a capacidade instalada de geração elétrica a biogás alcança 294,5 MW (apenas 0,16% do parque gerador nacional).

O BIOGASDATA é um Power BI que trabalha com a mesma base de informações do BIOGASMAP (CIBIOGÁS, 2021b). Ao relacionar usos finais do biogás e setores que têm os resíduos orgânicos, a Tabela 19 permite uma compreensão mais ampla de alguns dados já apresentados neste capítulo.

Tabela 19 – Quantidade de plantas por setor e por uso final em 2020

Quantidade de plantas	Agropecuária	Indústria	RSU ou esgoto	Total
Energia elétrica	487	20	59	566
Energia térmica	22	66	4	92
Biometano / GNV	3	1	7	11
Energia mecânica	6	0	0	6
Total	518	87	70	675

Fonte: elaboração própria, a partir de CIBIOGÁS, 2021a

Nas próximas duas páginas da tese serão apresentados os mapas com as 638 plantas de biogás que estavam em operação em 2020, em função do uso final: energia elétrica (Figura 28), energia térmica (Figura 29), biometano (Figura 30) ou energia mecânica (Figura 31).

⁶¹ O SIGA não inclui dados sobre mini e micro geração distribuída que podem ser consultadas no Power BI da ANEEL específico para GD (ANEEL, 2020a).



Figura 28 – Localização das 543 Plantas de Biogás para Geração Elétrica em 2020
 Fonte: CIBIOGÁS, 2021b



Figura 29 – Localização das 81 Plantas de Biogás para Energia Térmica em 2020
 Fonte: CIBIOGÁS, 2021b



Figura 30 – Localização das 8 Plantas de Biogás para Produção de Biometano em 2020
 Fonte: CIBIOGÁS, 2021b

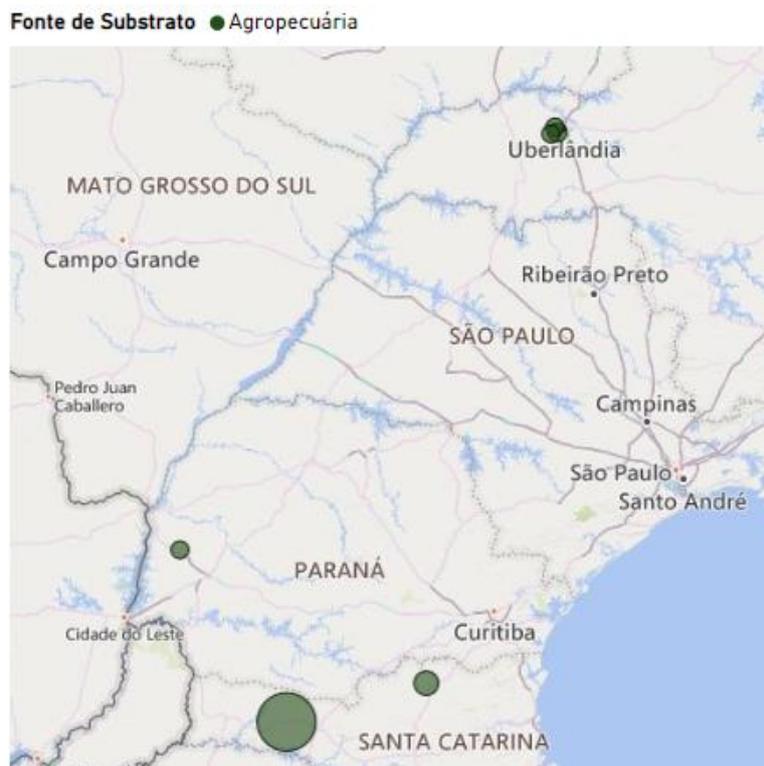


Figura 31 – Localização das 6 Plantas de Biogás para Energia Mecânica em 2020
 Fonte: CIBIOGÁS, 2021b

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso desta tese é o Plano Energético da Região Oeste do Paraná, que foi elaborado entre junho de 2017 e janeiro de 2018, através de um convênio entre a Itaipu Binacional, o CIBiogás e o Sebrae-PR, por encomenda do Programa Oeste em Desenvolvimento (POD)⁶².

Lançado em 2014 o Programa Oeste em Desenvolvimento é uma iniciativa ímpar no Brasil, de articulação entre poder público e o setor privado em prol da construção de estratégias para a promoção do desenvolvimento econômico na região (POD, 2020). O POD conta hoje com 5 eixos estruturantes⁶³ e 8 câmaras técnicas⁶⁴.

A região focal é constituída por 54 cidades (Figura 32), totalizando 25.853,5 km² de área (12,9% do Paraná), com grau de urbanização estimado em 85,6%. (POD, 2018b).



Figura 32 – Caracterização Territorial do Oeste do Paraná⁶⁵

Fonte: POD, 2018c

⁶² As informações coletadas à época e utilizadas no trabalho são aqui apresentadas sem atualização. Caso contrário haveria risco de descaracterização das premissas e divergência em relação aos resultados;

⁶³ Infraestrutura/logística, pesquisa e desenvolvimento, crédito e fomento, capital social/cooperação e energias limpas/renováveis;

⁶⁴ Grãos, frango, leite, peixe, suíno, infraestrutura e logística, energias, meio ambiente;

⁶⁵ A escala está com nítido erro de ordem de grandeza, aparentemente dez vezes maior que a distância real. Todavia, optou-se por não adulterar o mapa original e registrar esse equívoco como nota de rodapé.

A Tabela 20 mostra a produção das três principais culturas agrícolas da região (milho, soja e mandioca) no ano de 2016, em comparação com o estado do Paraná e o Brasil (IBGE, 2020a)⁶⁷. Observa-se também que a produtividade agrícola supera significativamente as médias estadual e nacional. Isso se deve às condições climáticas favoráveis, associadas à elevada fertilidade do solo “terra roxa”, típico daquela região.

Tabela 20 – Produção e Produtividade de Culturas Agrícolas Seleccionadas

2016	Safrá (t)			Produtividade (kg/ha)	
	Oeste	Paraná	Brasil	Oeste/PR	Oeste/BR
Lavoura					
Milho	4.952.546	13.929.989	64.188.314	+13,1%	+42,6%
Soja	3.720.565	17.122.294	96.394.820	+11,7%	+20,2%
Mandioca	526.508	3.888.111	21.036.314	+10,2%	+92,8%

Fonte: elaboração própria, a partir de IBGE, 2020a

De forma análoga, a Tabela 21 oferece uma síntese sobre a pecuária no oeste paranaense, apresentando dados das quatro principais cadeias produtivas (avicultura, suinocultura, bovinocultura e piscicultura), incluindo o quantitativo de rebanhos e de alguns produtos derivados típicos (ovos de galinha e leite de vaca).

Tabela 21 – Efetivo de Rebanhos⁶⁸ e Produtos de Origem Animal Seleccionados

2016	Oeste	Paraná	Brasil	Oeste/PR	Oeste/BR
Galináceos	106.909.817	331.868.454	1.347.626.192	32,3%	7,9%
Suínos	4.471.849	7.092.317	40.053.184	63,1%	11,2%
Bovinos	1.197.879	9.487.999	218.190.768	12,6%	0,5%
Tilápias (kg)	50.494.914	69.926.568	241.384.616	72,2%	20,9%
Ovos de galinha (10 ³ dúzias)	78.175	370.177	3.842.896	21,1%	2,0%
Leite bovino (10 ³ l)	1.056.523	4.726.291	33.680.401	22,4%	3,1%

Fonte: elaboração própria, a partir de IBGE, 2020a

⁶⁷ Os mapas temáticos de agropecuária podem ser encontrados nos Anexos II a X desta tese;

⁶⁸ Para galináceos, suínos e bovinos a unidade é “cabeça” (quantidade de animais). No caso da tilápia a informação se refere ao peso, enquanto que ovos são contabilizados em dúzias e leite em litros.

Na época da realização do Plano Energético não havia disponível uma base de dados pública e atualizada com a localização das propriedades rurais da pecuária⁶⁹. Nesse contexto, houve a decisão de fazer uma fotointerpretação das imagens de satélite, ou seja, fazer um processamento de imagens da mesorregião para identificar os galpões de avicultura (Figura 34) e as granjas de suínos (Figura 35).

Foram encontrados 11.985 estabelecimentos, sendo 56,86% dedicados à criação de aves de corte e o restante (43,14%) voltados para a suinocultura de terminação. No que se refere à densidade animal, foram adotados 10 cabeças/m² para galináceos e 0,7 cabeça/m² para suínos, coeficientes em consonância com a literatura (POD, 2018a).

No caso dos aviários observa-se um relativo espalhamento pela mesorregião, embora nove cidades totalizassem metade das cabeças em 2016: Cascavel, Toledo, Palotina, Assis Chateaubriand, Cafelândia, Nova Aurora, Santa Helena, Formosa do Oeste e Marechal Cândido Rondon. Não por acaso várias unidades industriais de abate das cooperativas mostradas na Figura 33 operam nestes municípios ou em seu entorno.

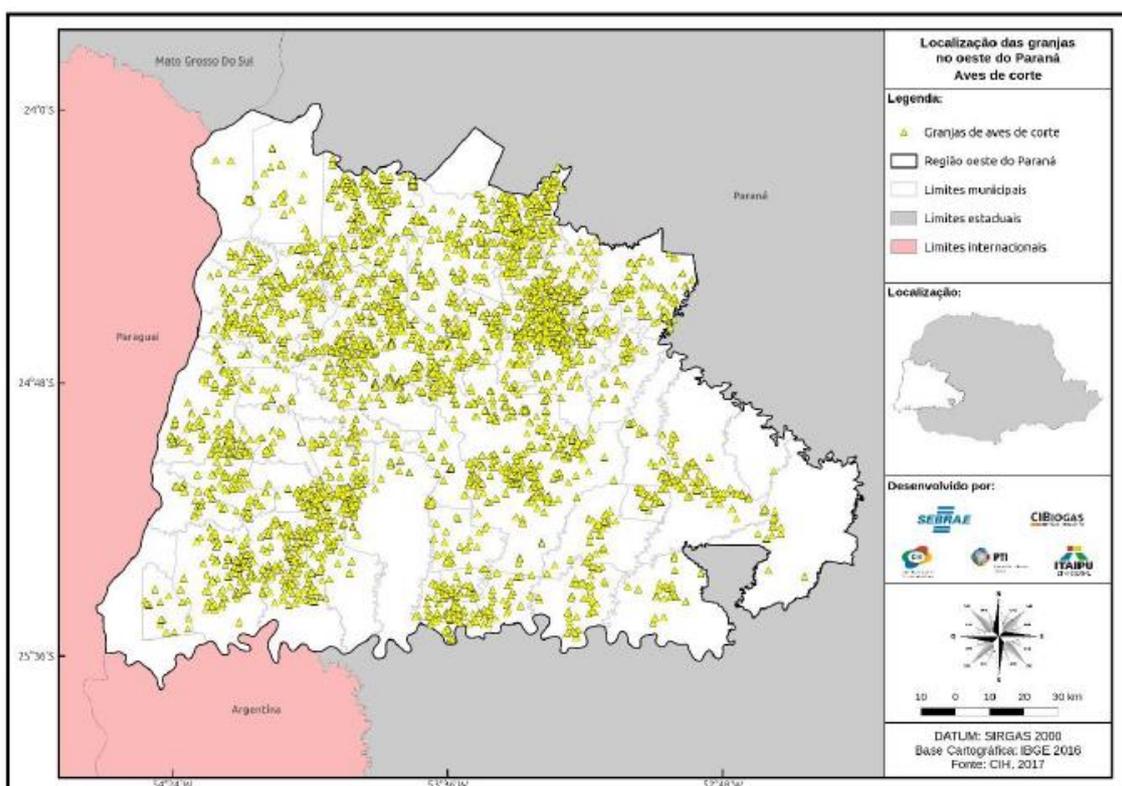


Figura 34 – Localização por Fotointerpretação de Aviários de Corte no Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

⁶⁹ O último Censo Agropecuário do IBGE havia sido publicado em 2006 e a edição de 2017 ainda estava iniciando a mobilização para realizar as pesquisas de campo.

No caso da suinocultura em fase de terminação observa-se uma concentração muito mais significativa ao redor de cinco cidades (Toledo, Marechal Cândido Rondon, Nova Santa Rosa, Entre Rios do Oeste e Santa Helena) que juntas representam 52% do plantel do oeste paranaense.

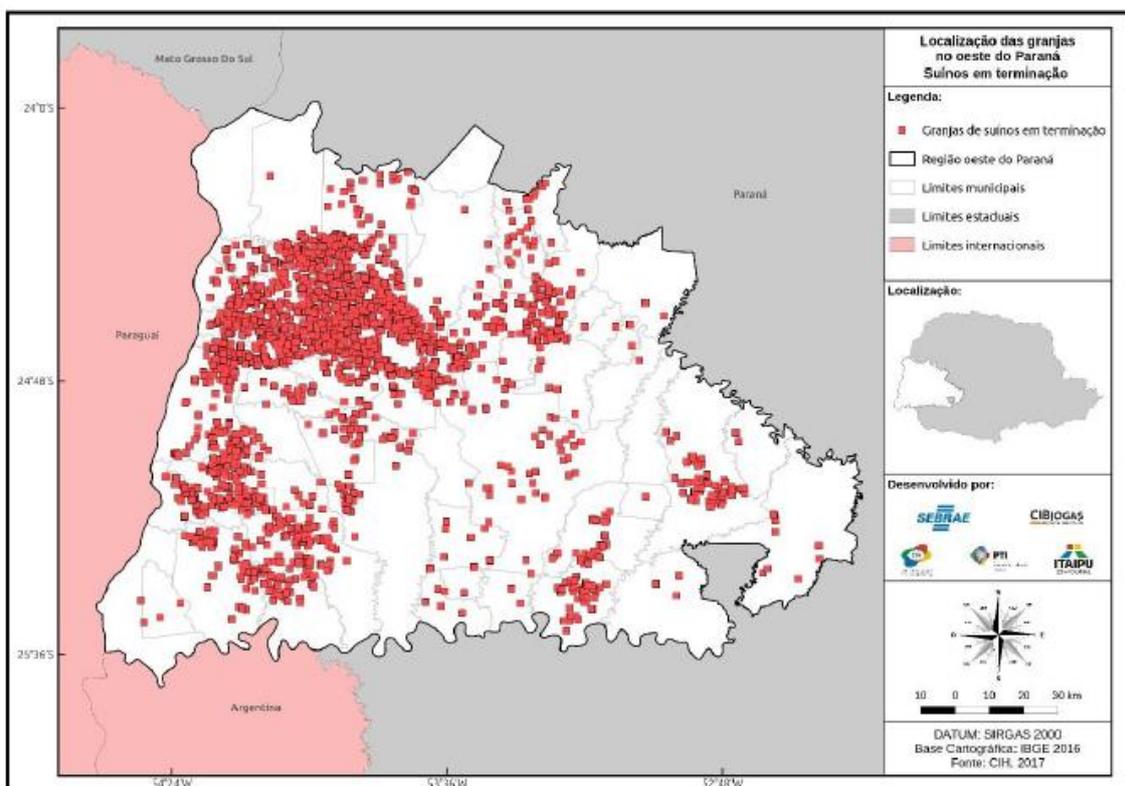


Figura 35 – Localização por Fotointerpretação de Granjas de Suínos em Terminação no Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

Outra atividade pecuária que se destaca é a bovinocultura de leite, com produção superior a 1,1 bilhão de litros em 2016 (IBGE, 2020b). Os 6 municípios mais importantes nesse caso, que somam 40% do total, são: Marechal Cândido Rondon (10,0%), Toledo e Cascavel (ambos com 8,9%), Matelândia, Guaraniaçu e Santa Helena (os três com 4,2%).

Recentemente tem ganhado relevância na região analisada a piscicultura de tilápias em cativeiro⁷⁰. Em 2016 a produção foi de aproximadamente 51 mil toneladas (IBGE, 2020b), sendo cerca da metade concentrada em quatro cidades: Assis Chateaubriand (13,7%), Toledo (13,0%), Nova Aurora (11,8%) e Maripá (9,2%).

⁷⁰ Em outubro de 2017 foi inaugurado em Palotina o maior abatedouro de peixes do Brasil, com investimentos de R\$110 milhões e capacidade inicial de abate de 60 toneladas/dia (BRDE, 2017).

A atividade pecuária pode ter diferentes requisitos de qualidade elétrica, dependendo dos equipamentos empregados na criação de cada animal. Na avicultura, por exemplo, a questão primordial é o conforto térmico das aves, sendo necessário controlar temperatura e umidade do galpão com emprego de ventiladores e exaustores (no verão) ou sistemas de calefação (no inverno)⁷¹ (CONSTANTINO, 2018 e EMBRAPA, 2014).

Na região estudada a umidade relativa do ar é baixa (costuma ficar abaixo de 60%) e a temperatura no verão frequentemente supera 30°C, enquanto que no inverno são comuns temperaturas abaixo de 10°C. Adicionalmente, como fator complicador, a amplitude térmica diária pode facilmente alcançar 20°C.

Para aquecer a granja da avicultura o produtor tem diversas opções, dentre as quais cita-se as principais: fornalhas a lenha, a GLP, elétricas ou até mesmo lâmpadas infravermelhas. Ou seja, dependendo da disponibilidade de biomassa no local, existe a possibilidade de se instalar uma solução térmica ao invés de um equipamento elétrico.

O maior desafio, sem dúvida, ocorre nos meses mais quentes do ano. Para aliviar as altas temperaturas dentro dos aviários utiliza-se apenas equipamentos elétricos, como ventiladores e exaustores (Figura 36). Então é fundamental que o suprimento da distribuidora de eletricidade na zona rural seja confiável, sem necessidade de investimento em baterias ou sistemas de geração própria (custos extras que poderiam até inviabilizar economicamente a produção de aves).



Figura 36 – Ventilação e Exaustão em Aviários

Fonte: RURAL PECUÁRIA, 2016 e COPACOL, 2020

⁷¹ Nas duas primeiras semanas de vida os pintainhos ainda não têm penas suficientemente para controlar sua temperatura corporal e podem morrer por estresse térmico (no verão) ou hipotermia (no inverno).

Em consonância com os requisitos apontados na literatura (MAPA, 2004 e EMBRAPA, 2000), entrevistas com produtores rurais durante o projeto revelaram que um blecaute de apenas vinte minutos poderia matar centenas ou até milhares de pintinhos e frangos em um único galpão, em função do estresse térmico (POD, 2018a). Por isso, na avicultura de corte do oeste paranaense as interrupções elétricas consideradas críticas são aquelas cuja duração é superior a quinze minutos.

Dados oficiais da Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR) revelam que a principal causa de mortes em aviários do Paraná em 2016 foi estresse térmico: 35,3% do total (ADAPAR, 2016). A Figura 37 mostra inúmeros episódios de estresse térmico ocorridos em cidades com expressiva avicultura na região estudada.

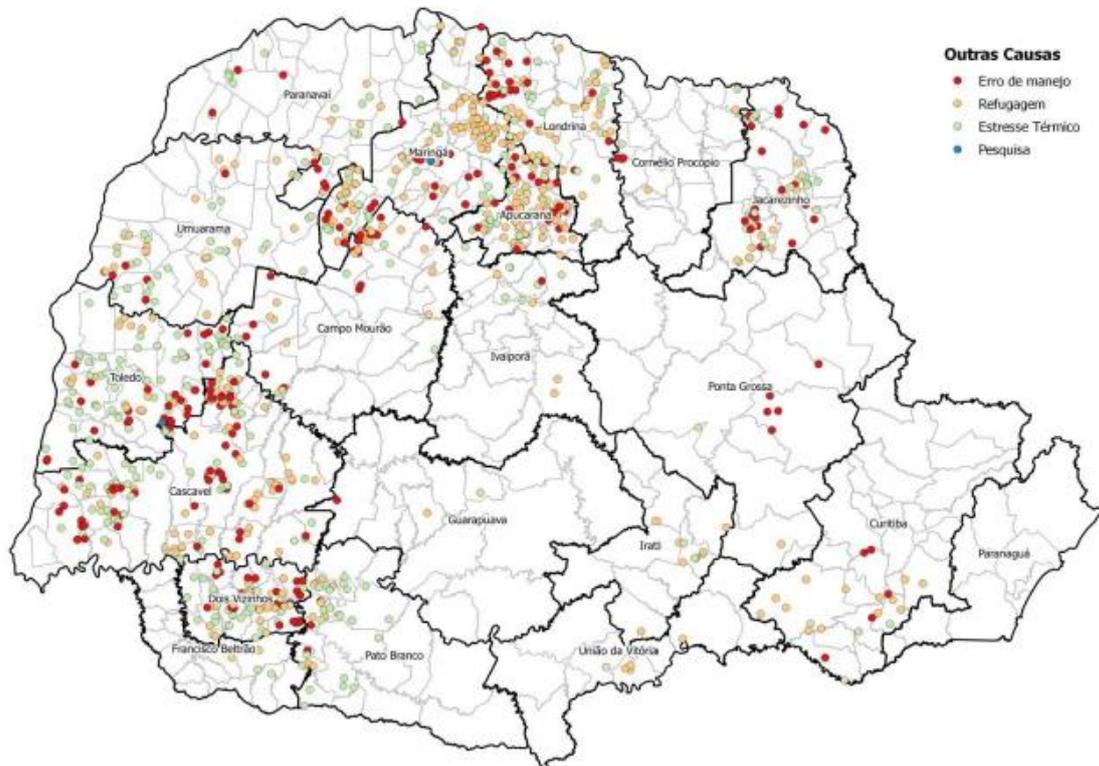


Figura 37 – Mortes de Aves no Paraná por Causas Não Biológicas – 2016

Fonte: ADAPAR, 2016

Nesse contexto duas hipóteses poderiam ser cogitadas: i) a qualidade do suprimento de energia elétrica pela distribuidora poderia estar abaixo do patamar regulatório estabelecido pela ANEEL ou ii) os produtores rurais não investiram

adequadamente em sistemas de ventilação e exaustão para permitir o controle de hipertermia nas aves durante o verão.

Caso a primeira alternativa seja verdadeira, a segunda não precisaria ser investigada, uma vez que sem eletricidade os equipamentos mencionados não teriam serventia. Ademais, seria inviável analisar tecnicamente os projetos de ventilação e exaustão em mais de 6.800 granjas (não havia informações nem cronograma para isso).

A primeira hipótese pode ser verificada por meio dos indicadores de continuidade⁷², disponíveis no site da ANEEL por conjunto elétrico (ANEEL, 2020c). Tendo em vista que o Plano Energético tinha o compromisso de preservar as informações individuais de cada unidade consumidora nas áreas rurais do oeste do Paraná, optou-se pela avaliação dos indicadores coletivos de duração e frequência (Tabela 23).

Tabela 22 – Indicadores de Continuidade Individuais

Indicador	Fórmula	Observação
DIC: duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão	$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$	Expresso em horas e centésimos de hora
FIC: frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão	$FIC = n$	Expresso em número de interrupções
DMIC: duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou por ponto de conexão	$DMIC = t(i) \text{ máx}$	Expresso em horas e centésimos de hora
DICRI: duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou por ponto de conexão	$DICRI = t_{\text{crítico}}$	Expresso em horas e centésimos de hora

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020b

Onde:

i = índice de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão no período de apuração, variando de 1 a n ;

n = número de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão considerado, no período de apuração;

⁷² Os indicadores de continuidade podem ser individuais ou coletivos e são definidos no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL, 2020b).

$t(i)$ = tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada ou do ponto de conexão, no período de apuração;

$t(i)$ máx = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora ou no ponto de conexão considerado, expresso em horas e centésimos de horas;

$t_{\text{crítico}}$ = duração da interrupção ocorrida em Dia Crítico.

Tabela 23 – Indicadores de Continuidade Coletivos

Indicador	Fórmula	Observação
DEC: duração equivalente de interrupção por unidade consumidora	$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc}$	Expresso em horas e centésimos de hora
FEC: frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora	$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc}$	Expresso em número de interrupções e centésimos do número de interrupções

Fonte: elaboração própria, a partir de ANEEL, 2020b

Onde:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em baixa tensão (BT) ou média tensão (MT) faturadas do conjunto;

Cc = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT;

$DIC(i)$ = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras;

$FIC(i)$ = Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras.

Conforme detalhado no Plano Energético (POD, 2018a) as 54 cidades são atendidas por 21 conjuntos elétricos⁷³. O sítio da agência reguladora informa que para o ano de 2016 foi constatado que houve ultrapassagem do limite de DEC em quatro conjuntos (19%) e em um houve extrapolação do FEC (ANEEL, 2020c).

⁷³ De acordo com a ANEEL o conjunto elétrico é definido por Subestação de Distribuição e pode ter abrangência variada. Conjuntos grandes podem abranger mais de um município, ao mesmo tempo em que alguns municípios podem possuir mais de um conjunto.

Os quatro conjuntos elétricos que excederam as metas de DEC e/ou FEC atendem (parcialmente ou na totalidade) 21 municípios da área focal, inclusive 3 dentre as 5 cidades com maior produção de frangos de corte (vide Tabela 24).

Tabela 24 – Ultrapassagem de DEC e FEC no ano civil de 2016

Conjunto elétrico	Municípios abrangidos	DEC limite	DEC real	FEC limite	FEC real
Cascavel	Cascavel, Catanduvras, Céu Azul, Diamante do Sul, Guaraniaçu, Ibema, Lindoeste, Nova Laranjeira, Santa Tereza do Oeste, São Pedro do Iguaçu e Vera Cruz do Oeste	13,0	13,6	10,0	9,81
Laranjeiras do Sul	Nova Laranjeira	22,0	22,32	13,0	11,54
Pinheiros	Braganey, Cafelândia, Campo Bonito, Cascavel, Catanduvras, Corbélia, Guaraniaçu, Ibema, Iguatu e Toledo	14,0	14,07	10,0	10,09
Realeza	Boa Vista da Aparecida, Capitão Leônidas Marques, Cascavel, Catanduvras, Lindoeste, Santa Lúcia e Três Barras do Paraná	15,0	17,44	12,0	11,94

Fonte: POD, 2018a

Embora não seja um indicador oficial da ANEEL, é possível estimar a duração média das interrupções em cada conjunto dividindo-se o DEC pelo FEC. Como pode ser verificado na Tabela 25, a duração média dos blecautes nos quatro conjuntos de pior performance está muito acima do tolerado para o manejo da avicultura no verão.

Mesmo se selecionarmos apenas o conjunto elétrico de melhor desempenho (São Cristóvão, que atende parte de Cascavel), a interrupção média seria de 58 minutos (o triplo do limite tolerado pelos frangos de corte em situação de hipertermia)⁷⁴.

⁷⁴ Este ponto demonstra que a regulação do segmento de distribuição está defasada. Mesmo nos 17 conjuntos elétricos em que a distribuidora está dentro dos limites de DEC e FEC, os produtores rurais estão sendo economicamente prejudicados (devido à morte de aves) e não são indenizados na íntegra. Este é o principal motivo da insatisfação histórica dos avicultores da região oeste paranaense com a Copel.

Tabela 25 – Duração média das interrupções em 2016

Conjunto elétrico	DEC real	FEC real	Duração média por blecaute
Cascavel	13,6	9,81	1h23min
Laranjeiras do Sul	22,32	11,54	1h56min
Pinheiros	14,07	10,09	1h24min
Realeza	17,44	11,94	1h28min

Fonte: POD, 2018a

Outra atividade pecuária de muita relevância local é a suinocultura. Mas nesse caso os blecautes têm consequências mais brandas, uma vez que os animais em fase de terminação são homeotérmicos e, portanto, menos vulneráveis à temperatura ambiente. Além disso, a camada adiposa dos animais constitui uma proteção natural às baixas temperaturas registradas no inverno paranaense.

Entretanto, os meses de verão exigem monitoramento, pois a literatura indica que os suínos adultos toleram bem temperaturas até 26°C (EMBRAPA, 2003). Então é preciso instalar ventiladores e exaustores, similares aos empregados na avicultura, para retirar calor das granjas e propiciar maior bem-estar animal.

Apesar de a qualidade da energia apresentar problemas na região estudada, não são frequentes mortes de suínos em larga escala por estresse térmico. Inclusive, as entrevistas com produtores durante o projeto confirmaram não haver tanta preocupação com blecautes na rede de distribuição. A explicação seria a possibilidade de diferentes táticas para reduzir a temperatura do rebanho (por exemplo: fornecer mais água ou banhar os animais, utilizar “cortinas” para bloquear a radiação solar direta, entre outras).

Na criação de tilápias a literatura mostra que a despesa com energia (óleo diesel e eletricidade) representa o segundo maior custo operacional para os piscicultores⁷⁵, variando entre 6% e 11%, perdendo apenas para o gasto com ração (EMBRAPA, 2016 e CNA, 2019). A eletricidade é usada para renovar a água dos tanques, por bombeamento, e para fazer aeração forçada (oxigenação) (Figura 38).

⁷⁵ A representatividade da eletricidade nos custos da piscicultura tende a aumentar nos próximos anos, fruto da gradual retirada de subsídios da tarifa dos produtores rurais, movimento iniciado no final de 2018 pelo MME e em consonância com a atual modernização do setor elétrico.



Figura 38 – Aeradores em Tanques de Piscicultura

Fonte: G1, 2019 e MFRURAL, 2020

Nesse contexto é possível afirmar que o impacto das interrupções elétricas na criação de peixes dependerá não somente de sua duração, mas também do período do dia em que ocorrer o blecaute (manhã, tarde, noite ou madrugada) e do fator sazonalidade (estação do ano).

Os tanques têm grandes dimensões e a taxa de renovação diária é baixa, de forma que a troca completa costuma levar mais de uma semana. Assim, mesmo que aconteça um blecaute de 12h (duradouro mesmo para padrões de zona rural), a tendência é que não haja degradação substancial da qualidade da água (temperatura, pH, turbidez e condutividade, entre outros parâmetros físico-químicos de referência), a ponto de causar elevada mortalidade de peixes.

Mesmo na hipótese de o fornecimento de energia elétrica não ser reestabelecido em até dois dias, situação incomum na região foco deste estudo de caso, o produtor rural ainda teria tempo para adotar uma solução alternativa e reverter a situação: usar um gerador a diesel para acionamento simultâneo de várias bombas em paralelo, com o objetivo de recuperar a qualidade da água dos tanques de forma acelerada.

Entretanto, a questão da oxigenação da água exige uma avaliação mais cautelosa, por envolver diversas variáveis. Primeiramente, o emprego de aeradores permite que o nível de oxigênio na água permaneça em patamar adequado mesmo à noite e de madrugada, quando a oxigenação natural (fotossíntese das microalgas e fitoplânctons) é interrompida e a demanda permanece constante (O PRESENTE RURAL, 2018).

Além disso, a aeração artificial permite a intensificação da criação (maior quantidade de peixes no tanque), na medida que aumenta a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água. Também favorece, indiretamente, o ritmo de crescimento dos peixes,

uma vez que mais ração pode ser disponibilizada sem comprometer a qualidade da água (ração não ingerida se decompõe na água e gera amônia, que é tóxica para os peixes).

Em relação à sazonalidade, a estação de manejo mais complexo é o verão, quando a temperatura sobe e o nível de oxigênio dissolvido no tanque reduz, podendo haver maior mortalidade de peixes (O PRESENTE RURAL, 2014). Nesse sentido, é fundamental que entre os meses de dezembro e fevereiro o piscicultor esteja mais atento à qualidade da água e aos níveis de oxigenação para os alevinos, juvenis e adultos em terminação.

No que se refere à duração, mesmo após um blecaute de poucas horas a oxigenação da água costuma se manter numa faixa aceitável para os peixes. Assim sendo, as interrupções de suprimento elétrico críticas (que trazem prejuízo financeiro substancial aos piscicultores) são as mais longas.

Na Tabela 26 são mostrados quatro casos recentes ocorridos em cidades do oeste do Paraná, onde ficou comprovada a responsabilidade (nexo causal) da distribuidora Copel pelos prejuízos decorrentes da longa interrupção no fornecimento de eletricidade.

Destaca-se que é mostrado apenas um único caso para cada data, mas a distribuidora teve que indenizar financeiramente todos os produtores rurais afetados pelos blecautes. Além disso observa-se que foram eventos de longa duração, ocorridos no horário mais adverso para a oxigenação natural (noite/madrugada) e na estação mais crítica do ano (verão).

Tabela 26 – Casos recentes de blecaute na região oeste com prejuízo para piscicultores

Município	Data	Duração do blecaute	Prejuízo
Toledo	31/01/2014	18h	17 mil peixes (R\$ 32 mil)
Marechal Cândido Rondon	23/12/2014	9h (madrugada e parte da manhã)	10 toneladas
Assis Chateaubriand	23/02/2019	Madrugada	40 toneladas (R\$160 mil)
Cascavel	15/12/2019	16h30 de 15/12 até 11h15 de 16/12	27 toneladas (R\$130 mil)

Fonte: elaboração própria, a partir de CGN, 2019, O PRESENTE RURAL, 2014, CATVE, 2019, O PARANÁ, 2020

No caso da bovinocultura de leite ocorre o oposto, ou seja, a situação mais desfavorável é a interrupção elétrica de curta duração. O motivo é que o equipamento utilizado na ordenha das vacas, denominado “teteira”, funciona em sistema a vácuo (Figura 39). Quando ocorre o blecaute o vácuo é interrompido e a teteira, por gravidade, cai no chão do curral.



Figura 39 – Ordenha Mecânica de Bovinos

Fonte: AGRO MOGIANA, 2019 e RURAL PECUÁRIA, 2018

Caso a eletricidade retorne rapidamente (em poucos segundos) é muito improvável que um funcionário a recolha ou desligue o sistema, antes que o equipamento volte a funcionar, aspirando todas as impurezas que estiverem no piso (fezes, urina e terra, entre outras). Neste caso, além de descartar todo o leite produzido naquela batelada, os funcionários perderão algumas horas para fazer toda a assepsia do sistema de coleta, segundo minuciosamente os rígidos padrões da vigilância sanitária, antes de iniciar a próxima ordenha.

Durante a elaboração do Plano Energético houve relatos de entrevistados que mencionaram esse risco operacional. Contudo, no desenvolvimento desta tese não foram encontradas reportagens sobre prejuízos causados aos produtores de leite em decorrência de blecautes de curtíssima duração⁷⁶.

Entretanto foram encontrados registros de blecautes de longa duração ou variações profundas de tensão na rede de distribuição de quatro cidades, que geraram descarte do leite bovino já produzido, por falta de refrigeração para seu armazenamento (Tabela 27).

⁷⁶ Para uma investigação mais detalhada seria necessário analisar os indicadores de continuidade individuais (DIC, FIC, DMIC, DICRI), em cada propriedade rural afetada, em busca de um possível nexos causal entre a falta de suprimento elétrico e as perdas durante a ordenha. Os indicadores de continuidade coletivos oferecem resultados mais agregados e não servem para avaliar eventos de curta duração em uma unidade consumidora específica.

Tabela 27 – Casos recentes de blecaute na região oeste com prejuízo para produtores de leite

Município	Data	Duração do blecaute
Três Barras do Paraná	28/12/2018	12h
Palotina	04/02/2019	Oscilações de tensão por tempo indefinido
Corbélia	13/02/2019	48h
Missal	03/11/2019	70h

Fonte: elaboração própria, a partir de MILK POINT, 2018, SISTEMA FAEP 2019, PORTAL CORBÉLIA, 2019 e PORTAL MISSAL, 2019

Nos abatedouros (seja de peixes, aves, suínos ou bovinos) há demanda elétrica para acionamento de equipamentos na linha de produção (como esteiras, equipamentos de corte, torneiras, iluminação, sistemas de ar condicionado), além das câmaras frias para refrigeração/congelamento (Figura 40).



Figura 40 – Linha de Produção em Abatedouros

Fonte: GAZETA DO POVO, 2017 e AEN, 2016

Caso ocorra uma interrupção na distribuição de eletricidade e não haja sistema de *backup* ou geração própria, que permita manter a operação, a linha de produção terá que parar imediatamente. De qualquer forma será crucial manter a temperatura nas câmaras frias, para atender as normas de Vigilância Sanitária e evitar descarte dos produtos.

Nesta circunstância mesmo um blecaute inferior a uma hora pode causar prejuízo significativo para abatedouros. Assim, é fortemente recomendável que o empreendedor leve em consideração a qualidade da energia elétrica fornecida pela rede da distribuidora

(indicadores de continuidade) e avalie o investimento em geradores de emergência e/ou sistemas de geração própria de eletricidade.

Na Figura 33 foi mostrado que há unidades de abate na maioria dos municípios do oeste do Paraná (72% das cidades). Como são unidades industriais de grande consumo, podendo ser na zona rural ou área urbana, a continuidade do fornecimento de eletricidade se torna um fator crucial para a concorrência nacional e internacional no competitivo mercado de proteína animal⁷⁷.

O descarte de alimentos impróprios para consumo humano em decorrência da falta de eletricidade para refrigeração pode ter como consequências muitas contratuais, afetar a credibilidade do frigorífico e, no limite, a perda de clientes (*market share*). Por este motivo a indústria de alimentos deve buscar alternativas para reduzir o risco de suprimento elétrico exclusivo pela distribuidora⁷⁸.

Concluída a caracterização territorial, demográfica e econômica da mesorregião oeste paranaense, o passo subsequente consiste em calcular o balanço energético da área estudada. Nesse sentido o ponto de partida seria o Balanço Energético do Paraná, mas, conforme mostrado no capítulo 2, a edição mais recente se refere ao ano base 2009.

Houve então a decisão de promover uma atualização da publicação, tendo como referência o ano de 2016. A metodologia empregada foi praticamente a mesma do BEN, sendo que neste caso as importações e exportações passam a representar entrada e saída de energia do estado (exatamente como ocorre em qualquer estudo similar)⁷⁹.

Em razão da impossibilidade de obtenção das parcelas de “importação”, “exportação” e “variação de estoques” de forma segregada, se tornou necessário adaptar o bloco de oferta. Então foi criada uma variável de ajuste, que seria a diferença algébrica entre as três rubricas supracitadas (importação – exportação +/- variação de estoques). Com isto foi possível consolidar a matriz energética do Paraná.

Foram utilizadas as quatro equações básicas de uma matriz energética, apresentadas na sequência, que auxiliam na consolidação dos blocos de oferta, transformação e consumo:

⁷⁷ Muitas unidades dedicadas ao abate de frangos e suínos exportam parcela significativa de sua produção para o Oriente Médio e a Ásia, respectivamente. Já a carne bovina e as tilápias são, majoritariamente, para consumo interno;

⁷⁸ Conforme será visto mais adiante neste capítulo, uma possibilidade seria aproveitar os resíduos orgânicos do abate para geração de biogás em biodigestores;

⁷⁹ O tratamento da questão de fronteira na elaboração dos balanços energéticos do estado do Paraná e da região Oeste do Paraná está apresentado no Apêndice 1.

Equação 1:

$$\text{Oferta Interna Bruta} = \text{Produção} + \text{Importação} - \text{Exportação} +/\text{- Variação de Estoques} - \text{Não Aproveitado} - \text{Reinjeção}$$

Equação 2:

$$\text{Oferta Interna Bruta} = \text{Total da Transformação} + \text{Perdas na Distribuição e Armazenagem} + \text{Consumo Final} + \text{Ajustes}$$

Equação 3:

$$\text{Consumo Final} = \text{Consumo Final Não Energético} + \text{Consumo Final Energético}$$

Equação 4:

$$\text{Consumo Final Energético} = \text{Setor Energético} + \text{Residencial} + \text{Comercial} + \text{Público} + \text{Agropecuário} + \text{Transportes} + \text{Industrial} + \text{Consumo Não Identificado}$$

As fontes primárias de informação para o Balanço Energético do Paraná também são as mesmas da edição nacional, complementadas por outra exclusiva do estado: o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (Ipardes). Na sequência são apresentadas em ordem alfabética, dentro de cada bloco:

- Cadeia do petróleo e gás natural: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME);
- Cadeia da eletricidade: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME);
- Cadeia da cana-de-açúcar: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Empresa de Pesquisa Energética (EPE);
- Setores residencial, comercial, público e energético: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Setor agropecuário: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Setor transportes: Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), Agência Nacional de Transportes Terrestres

(ANTT), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA);

- Setor industrial: Associações setoriais da indústria, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES).

Para agregação das informações e consolidação da matriz energética do Paraná foi utilizado o *software* SIGEBA 1.0, desenvolvido por este autor entre 2015 e 2016, durante seu doutorado sanduíche na Technische Universität München (TUM), na Alemanha⁸⁰.

Os resultados obtidos (Figura 41 e Anexo XII) revelaram uma matriz energética estadual com 18,2 milhões de tep em 2016, bastante equilibrada entre fontes renováveis e não renováveis (50,5% x 49,5%). Na parte do consumo houve predominância dos setores transportes (36,5%) e indústria (34,6%).

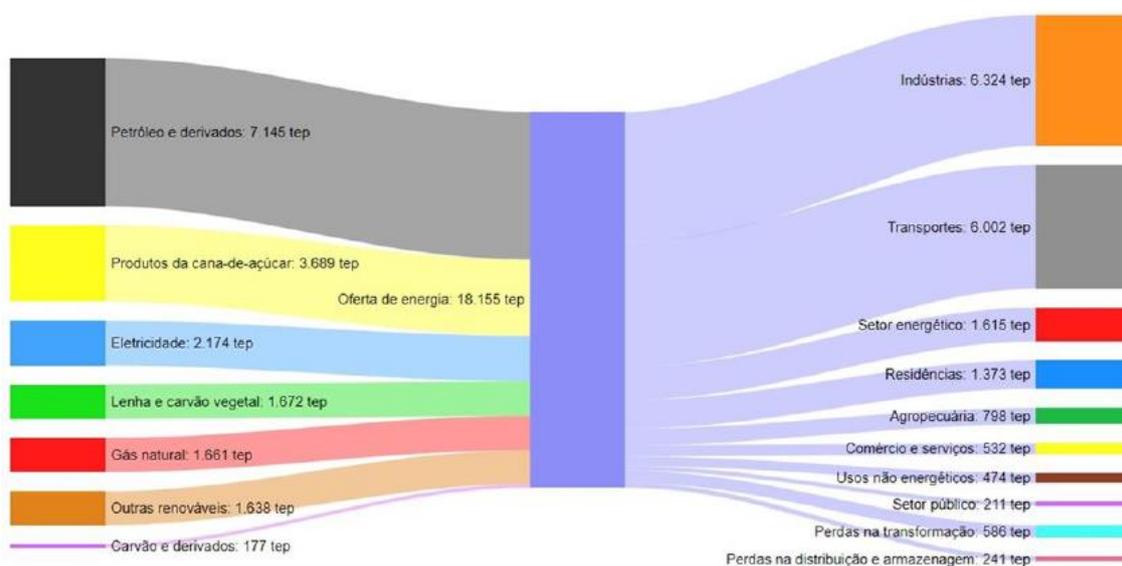


Figura 41 – Diagrama Sankey de Energia no Paraná – ano base 2016

Fonte: elaboração própria, a partir de IPARDES, 2017a

⁸⁰ O Sistema de Geração de Balanços Energéticos – SIGEBA 1.0 foi desenvolvido em linguagem Excel e consiste em uma planilha com mais de 100 abas. Foi validado por meio da comparação de 256 parâmetros obtidos via abordagens “top down” e “bottom up”, com o critério de desvio máximo de 10,0% (o mesmo utilizado informalmente pelo MME). Em 2017 o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) concedeu o registro do programa de computador SIGEBA 1.0 pelo prazo de 50 anos (INPI, 2017), que é apresentado no Anexo XI. Maiores detalhes metodológicos do *software* podem ser encontrados no Apêndice 1.

No que se refere à matriz elétrica a fração de fontes renováveis atingiu 92,8%, fruto da disparidade estrutural associada à presença da usina hidrelétrica Itaipu no estado. Observando-se a Figura 42 deduz-se que o Paraná é um grande “exportador líquido” de energia elétrica⁸¹, com mais da metade do total produzido sendo injetada no Sistema Interligado Nacional. Em relação ao consumo local, indústrias e residências respondem, por 25,2% da demanda da UF.

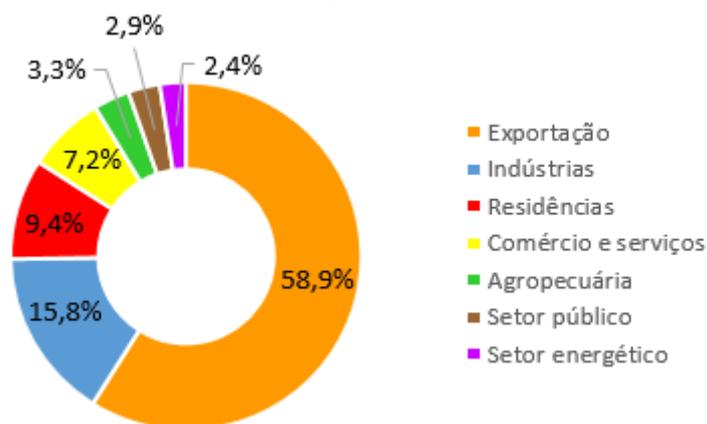


Figura 42 – Demanda Elétrica no Paraná – ano base 2016

Fonte: elaboração própria, a partir de IPARDES, 2017a

O passo seguinte foi fazer um recorte geográfico inédito, a fim de permitir a elaboração da primeira matriz energética da mesorregião oeste paranaense. Foram utilizadas as mesmas fontes públicas de informação primária mencionadas para o nível estadual, a mesma metodologia (para permitir comparação de resultados e indicadores), além do *software* SIGEBA para a consolidação final em tabelas e gráficos.

Neste ponto cabe destacar uma peculiaridade acerca dos centros de transformação. No Paraná não há petroquímicas, unidades de processamento de gás natural (UPGN), coquearias ou plantas de enriquecimento de urânio. Adicionalmente, no oeste do estado também não há refinarias de petróleo, plantas de biodiesel nem destilarias de etanol, mas foram mapeadas hidrelétricas, termelétricas e sistemas de GD (vide Anexos XIII a XV).

Em relação à indústria, a região oeste tem unidades fabris de alimentos e bebidas, siderurgia, químicos, além de cerâmica vermelha. Mas não há de plantas de cimento, ferro-ligas, mineração, pelletização, alumínio, papel, celulose, cerâmica branca ou têxtil.

⁸¹ Situação caracterizada quando a oferta total é maior que o consumo total, considerando todo o portfólio de usinas de geração elétrica em uma região qualquer (país, UF, município, etc).

Desta maneira, todo o consumo de combustíveis em modais de transporte (diesel, gasolina, etanol e querosene de aviação), na siderurgia (carvão vapor e coque de carvão mineral), GLP (majoritariamente para residências, nos usos finais cocção e aquecimento de água) e outros derivados de petróleo é atendido pela “importação” desses energéticos de outras localidades que podem, inclusive, ser dentro do próprio Paraná.

Os resultados (Figura 43 e Anexo XVI) revelaram uma matriz energética regional com 2,1 milhões de tep em 2016, com leve predominância das fontes renováveis (55,4%). Na parte da demanda destacam-se os setores transportes (46,1%) e indústria (20,1%).

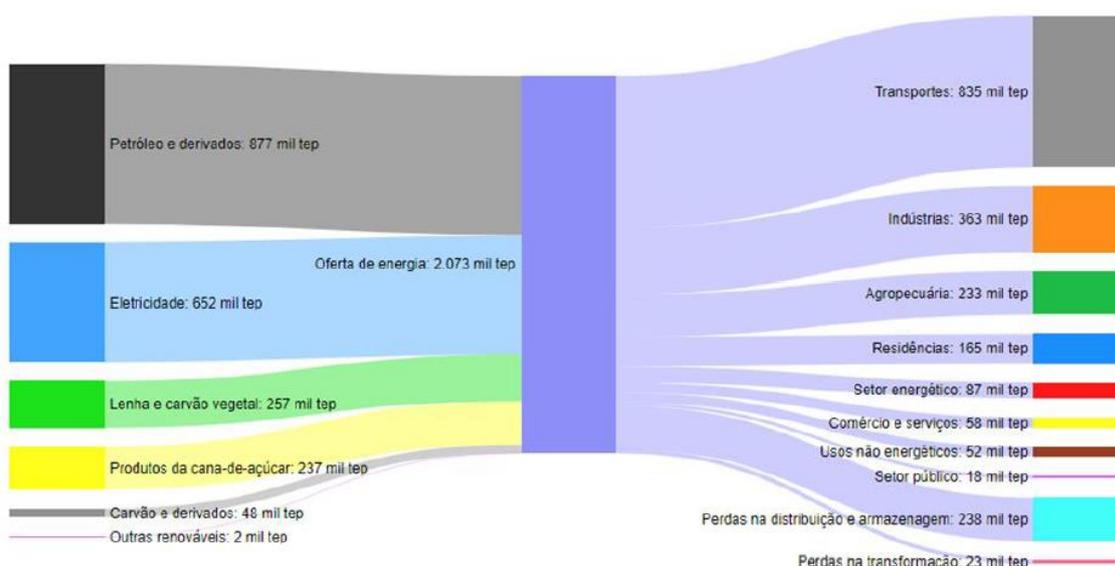


Figura 43 – Diagrama Sankey de Energia na Região Oeste do Paraná – 2016

Fonte: elaboração própria, a partir de IPARDES, 2017a

No que se refere à matriz elétrica, a oferta total foi de 60,2 TWh. A maior contribuição, seguramente, foi da hidrelétrica de Itaipu, que fica localizada no rio Paraná, mais especificamente no trecho de fronteira entre os municípios de Foz do Iguaçu e Ciudad del Este (Paraguai).

Entretanto, a demanda regional foi de 4,9 TWh, menos de 10% da oferta total. Isto significa que cerca de 90% da eletricidade é “exportada” da mesorregião, ou seja, injetada no SIN. A Figura 44 apresenta o consumo elétrico, excluindo a parcela de exportação. A cadeia produtora de alimentos (agroindústria) se destaca pelo fato de demandar quase metade do total (44,5%).

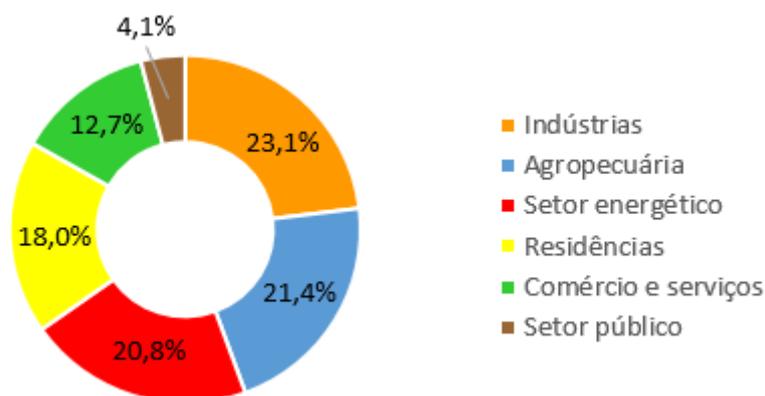


Figura 44 – Demanda Elétrica no Oeste do Paraná – ano base 2016

Fonte: elaboração própria, a partir de IPARDES, 2017a

O Plano Energético do Oeste do Paraná tinha como um de seus principais objetivos apresentar um diagnóstico de consumo elétrico por cidade. A Tabela 28 consolida os dados das 54 cidades da área estudada com detalhamento por classe consumidora⁸², extraídos da Base de Dados do Estado (DBEweb), que está disponível no sítio do IparDES (IPARDES, 2017a)⁸³.

A classe industrial foi subdividida nas parcelas “cativo” e “livre”. A primeira se refere aos clientes do ambiente regulado (ACR), cujo suprimento é exclusivo da distribuidora. A segunda diz respeito aos consumidores que migraram para o ambiente de contratação livre (ACL) e podem contratar energia através de uma comercializadora, negociando as condições contratuais (preço da energia e prazo) com os geradores.

⁸² De acordo com a Resolução Normativa nº414/2010 da ANEEL são estas as classes de consumo: residencial, industrial, comercial, rural, poder público, iluminação pública, serviço público e outros consumos. Na Tabela 28 as últimas quatro categorias foram agrupadas na rubrica “outras classes”;

⁸³ O mapa coroplético com o consumo total de eletricidade por município encontra-se no Anexo XVII.

Tabela 28 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 1)

Município	Residencial	Industrial (cativo)	Industrial (livre)	Comercial	Rural	Outras classes	Total
Anahy	1.287	215	0	1.083	1.773	686	5.045
Assis Chateaubriand	22.593	10.304	0	19.009	20.901	10.850	83.658
Boa Vista da Aparecida	4.745	947	0	1.721	3.805	1.975	13.193
Braganey	2.202	59	0	2.003	2.866	1.065	8.196
Brasilândia do Sul	1.850	1.140	0	2.616	1.087	929	7.622
Cafelândia	9.725	1.936	0	114.951	18.708	4.462	149.781
Campo Bonito	1.366	76	0	763	2.974	768	5.947
Capitão Leônidas Marques	7.806	4.641	0	4.592	7.501	3.275	27.814
Cascavel	217.126	93.050	115.057	197.714	45.248	80.693	748.888
Catanduvas	3.152	1.411	0	1.803	5.313	3.385	15.064
Céu Azul	6.303	17.863	3.112	4.351	8.980	2.591	43.201
Corbélia	10.267	3.832	0	8.145	10.997	4.855	38.097
Diamante do Sul	782	12	0	348	1.322	422	2.885
Diamante D'Oeste	1.635	206	0	988	2.513	1.349	6.691
Entre Rios do Oeste	2.988	2.468	0	2.217	7.570	2.066	17.308
Formosa do Oeste	4.093	712	0	3.999	11.555	2.200	22.560

Fonte: IPARDES, 2017a

Tabela 29 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 2)

Município	Residencial	Industrial (cativo)	Industrial (livre)	Comercial	Rural	Outras classes	Total
Foz do Iguaçu	236.766	13.469	7.461	204.877	5.302	65.058	532.934
Guaíra	22.886	12.216	2.935	14.558	4.839	12.144	69.578
Guaraniaçu	4.997	1.194	0	3.075	8.459	3.559	21.284
Ibema	2.735	1.814	0	1.935	1.697	1.559	9.739
Iguatu	843	59	0	372	1.078	636	2.988
Iracema do Oeste	1.206	242	0	449	2.202	674	4.773
Itaipulândia	7.009	14.294	0	3.812	6.982	3.444	35.540
Jesuítas	4.924	11.633	0	1.957	8.496	2.545	29.555
Lindoeste	1.706	469	0	1.253	1.356	1.046	7.630
Marechal Cândido Rondon	37.944	78.644	4.841	28.493	36.181	15.403	201.506
Maripá	3.317	6.292	2.758	3.770	15.302	1.570	33.010
Matelândia	9.541	69.168	7.870	5.585	11.976	5.119	109.260
Medianeira	36.960	80.834	8.000	25.323	12.198	10.221	173.535
Mercedes	3.398	1.477	0	2.460	12.679	1.448	21.461
Missal	6.319	3.832	870	3.672	13.519	2.654	30.866
Nova Aurora	6.593	7.529	0	6.976	24.247	3.079	48.425
Nova Laranjeiras	1.987	143	0	1.515	5.340	1.273	10.258

Fonte: IPARDES, 2017a

Tabela 30 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 3)

Município	Residencial	Industrial (cativo)	Industrial (livre)	Comercial	Rural	Outras classes	Total
Nova Santa Rosa	5.351	3.597	0	4.903	14.236	1.936	30.024
Ouro Verde do Oeste	2.922	2.131	0	1.426	6.930	1.236	14.645
Palotina	24.981	118.537	0	22.018	34.510	9.591	209.638
Pato Bragado	3.326	2.608	0	1.800	5.991	2.189	15.914
Quatro Pontes	2.475	3.000	0	1.086	12.078	1.092	19.731
Quedas do Iguaçu	12.095	40.394	7.998	6.936	10.278	9.190	86.891
Ramilândia	1.199	41	0	758	2.955	1.029	5.983
Santa Helena	15.504	11.307	3.599	9.355	25.905	10.355	76.025
Santa Lúcia	1.638	2.756	0	1.008	3.209	677	9.287
Santa Tereza do Oeste	5.900	10.333	4.339	3.104	4.708	2.579	30.962
Santa Terezinha de Itaipu	16.973	8.313	175	9.112	3.983	7.433	45.990
São José das Palmeiras	1.660	134	0	764	2.322	709	5.589
São Miguel do Iguaçu	17.953	11.605	625	12.761	17.435	6.668	67.046
São Pedro do Iguaçu	2.587	131	0	1.945	4.719	1.126	10.508
Serranópolis do Iguaçu	2.354	143	0	1.228	8.697	1.329	13.751
Terra Roxa	11.032	5.404	0	8.411	8.378	3.809	37.034
Toledo	92.189	94.076	217.191	65.816	58.887	36.911	565.071

Fonte: IPARDES, 2017a

Tabela 31 – Consumo de eletricidade por classe na região oeste do Paraná em 2016 [MWh] (parte 4)

Município	Residencial	Industrial (cativo)	Industrial (livre)	Comercial	Rural	Outras classes	Total
Três Barras do Paraná	4.330	5.962	0	2.813	8.915	2.108	24.227
Tupãssi	4.737	6.106	0	4.036	7.826	2.476	25.181
Ubiratã	14.269	43.229	0	11.751	10.875	5.686	85.809
Vera Cruz do Oeste	4.062	506	0	2.221	5.066	2.151	14.007

Fonte: IPARDES, 2017a

A Figura 45 e a Figura 46 apresentam de forma gráfica os perfis de consumo mensal dos consumidores industriais cativos e livres, respectivamente, em várias cidades. Também é possível comparar com a médias de todas as cidades (barra vermelha).

Como esperado, foi constatado que os consumidores livres têm média mensal bastante acima dos clientes cativos (488,4 MWh/mês/UC x 6,3 MWh/mês/UC). Houve sete cidades com média mensal acima de 20 MWh por cliente cativo: Matelândia, Palotina, Ubiratã, Medianeira, Quedas do Iguaçu, Céu Azul e Itaipulândia (Figura 45).

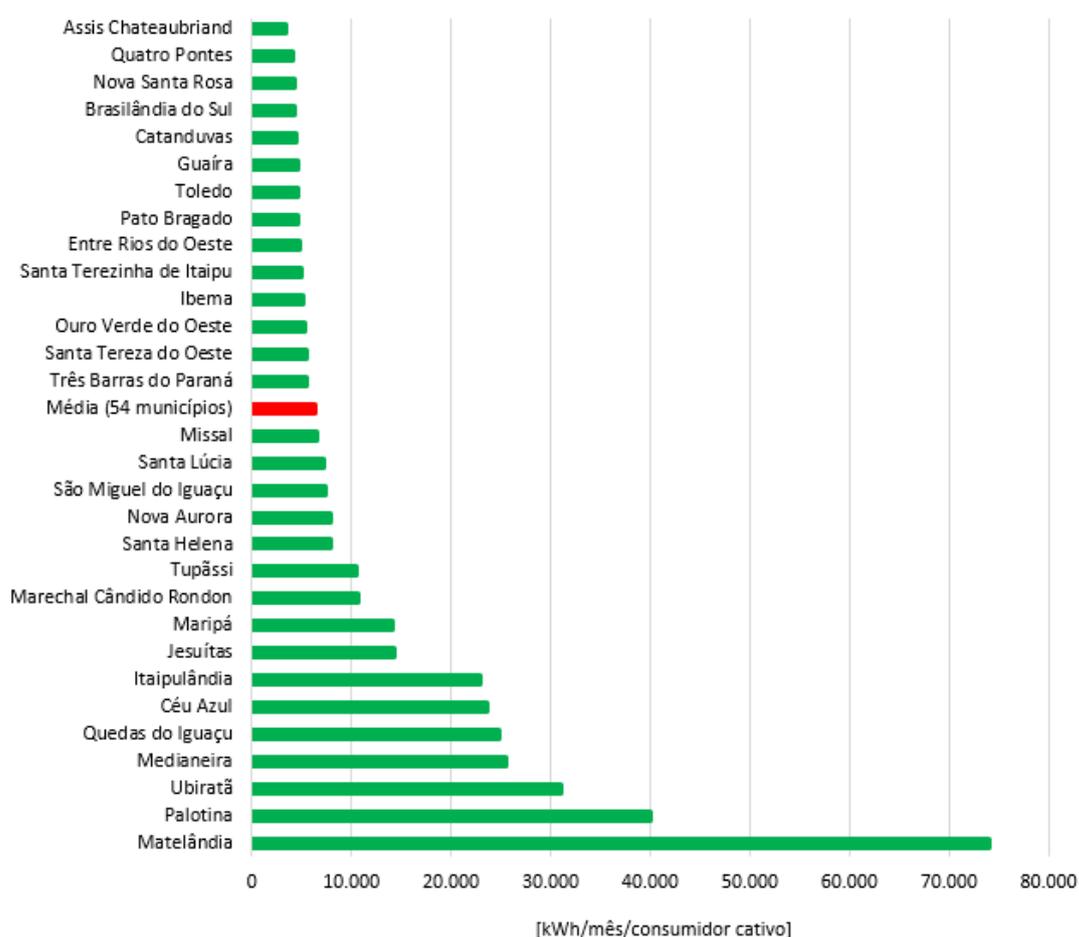


Figura 45 – Consumo Cativo na Indústria do Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

Foram encontrados clientes livres em 15 cidades, dentre as quais se destaca Toledo (responsável por quase 60% do total). Cabe esclarecer que essa é a cidade com maior plantel de suínos do Brasil, tendo inclusive alguns frigoríficos de grande porte. Por esta razão a demanda por consumidor livre em Toledo é 4,5 vezes maior que a média na área analisada (Figura 46).

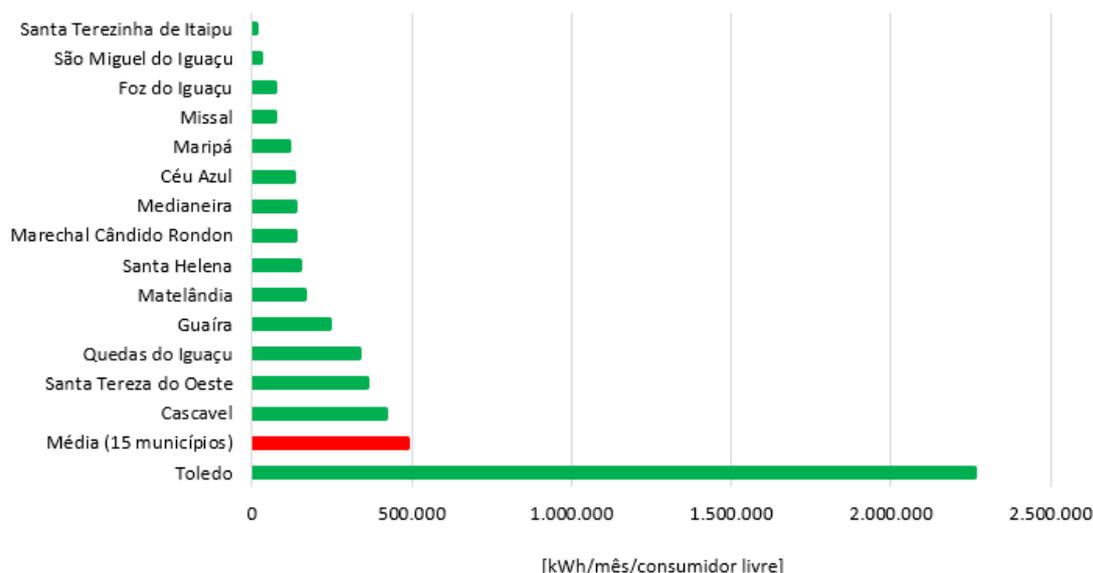


Figura 46 – Consumo Livre na Indústria do Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

Entretanto é muito importante esclarecer que a migração para o mercado livre é uma decisão que serve apenas para reduzir a despesa com energia elétrica, mas não protege o consumidor contra as interrupções e oscilações da rede (pois o “serviço de fio” continua sendo prestado pela mesma distribuidora, com a mesma infraestrutura de rede).

Assim, os indicadores de continuidade coletivos (DEC e FEC) e individuais (DIC, FIC, DMIC, DICRI) continuarão sendo exatamente os mesmos, independentemente se o cliente está no ACR ou ACL. Logo, não se justifica migrar para o mercado livre por esse motivo.

Como já mostrado no início deste capítulo, a atividade agropecuária na área estudada é desenvolvida, majoritariamente, em pequenas propriedades. A Figura 47 revela que Cafelândia, Nova Aurora, Palotina, Quatro Pontes, Entre Rios do Oeste e Maripá são as seis cidades com maior demanda média mensal na zona rural, todas acima de 1.500 kWh/mês/cliente, enquanto que a média dos 54 municípios ficou em 878 kWh/mês/cliente.

Na época da elaboração do Plano Energético esse patamar de demanda mensal era baixo demais para permitir a migração dos consumidores rurais para o mercado livre⁸⁴. Por este motivo 100% dos consumidores rurais eram cativos em janeiro de 2018, como sintetizado na Tabela 28.

⁸⁴ De acordo o artigo 16 da Lei nº9.074/1995 o requisito para migração para o mercado livre era que a demanda mínima contratada deveria ser de 3.000 kW, em qualquer tensão.

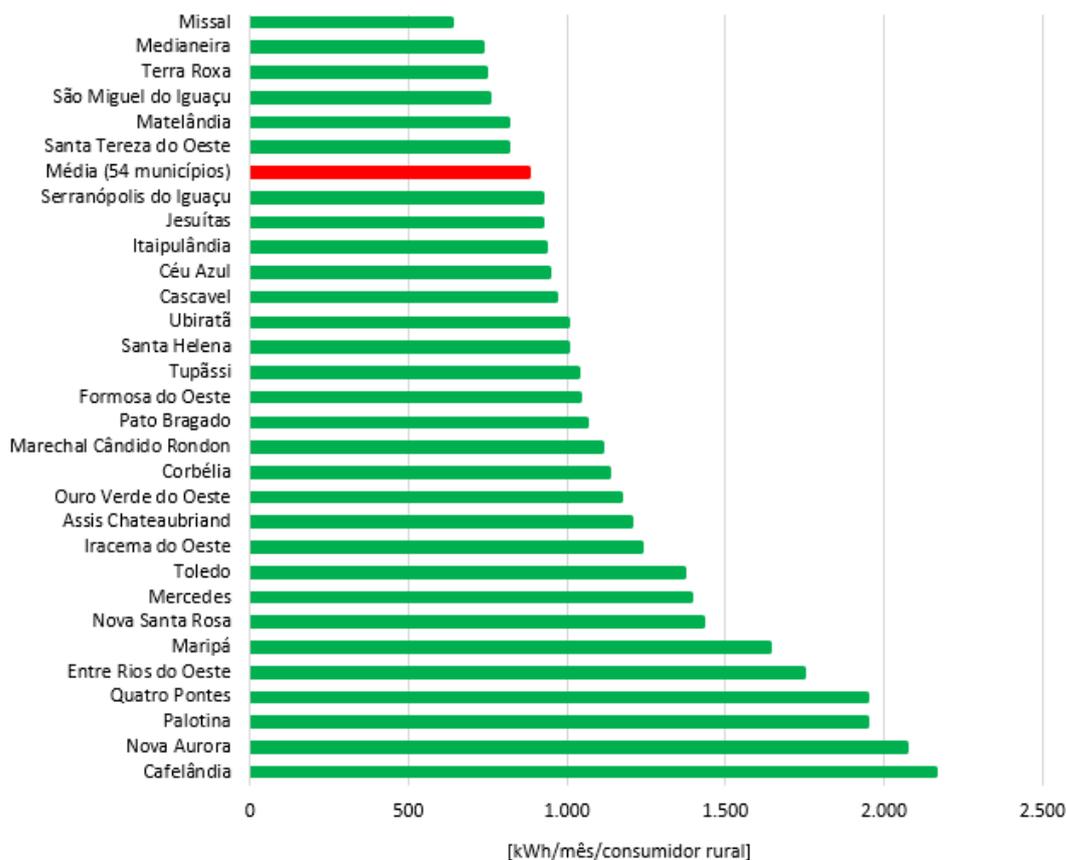


Figura 47 – Consumo Cativo Rural no Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

O passo seguinte foi cumprir um dos principais objetivos do Plano Energético: projetar cenários de demanda até 2027 para a região, partindo do ano base 2016. Foram montados 3 cenários (otimista, referência e pessimista)⁸⁵ para cada um dos 54 municípios da região oeste paranaense e para 5 classes de consumo, totalizando 810 cenários. Em seguida será apresentado um resumo das premissas adotadas:

- Cenário pessimista (ou conservador): hipótese de estagnação econômica, inclusive limitando a renda das famílias (por consequência impactando setores como comércio e serviços). A *proxy* para crescimento da demanda na região oeste paranaense será a variação populacional em cada cidade.
- Cenário referência (ou provável): manutenção da tendência econômica atual, de crescimento impulsionado pelo agronegócio e setor industrial (especialmente segmento de alimentos). Os consumos específicos (kWh/t ou kWh/m³ ou

⁸⁵ O nome dos cenários foi escolhido pelo cliente do estudo (Programa Oeste em Desenvolvimento), em função do crescimento econômico associado a cada um. A equipe do projeto indicou o cenário referência como sendo a trajetória mais provável para o período decenal 2017 – 2026;

kWh/animal abatido ou kWh/ha irrigado) na indústria e no agronegócio são considerados. A renda per capita se mantém no nível atual. Em adição, a dinâmica populacional apontada pelo Ipardes é novamente adotada.

- Cenário otimista (ou próspero): além de manter a demografia do Ipardes, é admitido um ritmo de crescimento econômico mais intenso nos municípios de atividade agropecuária com maior relevância. Em paralelo, a renda das famílias cresce e, com isso, a demanda associada a segmentos comércio/serviços e residencial ganha impulso.

Um dos elementos chaves para a elaboração de cenários é a demografia⁸⁶. O Ipardes já possuía uma estimativa por município até 2040 no horizonte estudado (IPARDES, 2017b), de forma que a equipe optou por utilizar essa fonte para a variação populacional. Em suma, a referência apontava crescimento suave: de 1,36 milhão de pessoas em 2016 para 1,42 milhão de habitantes em 2026 (média de +0,37% ao ano)⁸⁷.

Não seria viável apresentar e analisar nessa tese o resultado dos 840 cenários de demanda construídos para o Plano Energético do Oeste do Paraná. Por esta razão decidiu-se montar uma tabela síntese para consolidar o resultado alcançado por classe (Tabela 32), assim como um resultado global por cada um dos três cenários.

Tabela 32 – Variação do consumo de eletricidade por classe em relação a 2016 [%]

Variação 2026/2016	Residencial	Comercial	Industrial	Rural ⁸⁸	Outras classes ⁸⁹	Total
Cenário Conservador	+3,6%	+5,2%	+10,9%	+429,9%	+4,2%	+69,5%
Cenário Referência	+14,4%	+12,8%	+21,2%	+475,1%	+12,2%	+84,3%
Cenário Otimista	+20,2%	+18,5%	+33,0%	+547,2%	+22,4%	+102,1%

Fonte: POD, 2018a

⁸⁶ Mais detalhes acerca da metodologia de construção dos cenários está disponível no Anexo XVIII;

⁸⁷ O Anexo XIX mostra a taxa média anual de variação demográfica em cada cidade da região oeste paranaense, evidenciando inclusive onde haverá decréscimo populacional;

⁸⁸ Esta classe pode incluir algumas agroindústrias, caso as mesmas estejam localizadas dentro da propriedade rural e assim cadastradas junto à distribuidora de eletricidade;

⁸⁹ Grupo composto pelo poder público, iluminação pública, serviço público e outras não mencionadas antes.

Na coluna total verifica-se que a região pode crescer entre 1,6% a.a. no cenário pessimista até 7,3% a.a. no cenário mais favorável. A trajetória mais crível, segundo a equipe do projeto (cenário referência) indica taxa de variação anual de +6,3% a.a na demanda de eletricidade para o conjunto de cidades.

As indústrias podem crescer entre 1,0% a.a., numa situação de estagnação, e 2,9% a.a. na trajetória de melhor desempenho econômico. Entretanto, o ritmo esperado é de +1,9% a.a, muito próximo ao cenário macroeconômico desenhado pela EPE no âmbito do Plano Decenal mais recente à época (MME/EPE, 2017).

A classe rural é a mola propulsora da economia regional. Acredita-se que a elevada produtividade no campo, associada a novos investimentos em logística, tornarão os produtos agrícolas e a cadeia da proteína animal do oeste paranaense ainda mais competitivos, tanto no mercado interno quanto para exportações.

Assim, o ritmo de aumento da demanda elétrica rural pode oscilar de 18,1% a.a. até 20,5% a.a, num contexto mais favorável. Sem dúvidas, é um desempenho notável que exigirá modernização da rede elétrica da distribuidora em uma gama de ramais com histórico de falhas e baixa qualidade do suprimento. Cabe esclarecer que as subestações de distribuição também precisarão comportar tamanho incremento de potência.

Em seguida, serão apresentados alguns cenários para exemplificar o detalhamento por cidade e classe elétrica. Na Figura 48 é mostrado o resultado para o setor industrial da cidade de Cascavel, enquanto que na Figura 49 aparecem as trajetórias para a demanda rural no município de Assis Chateaubriand.

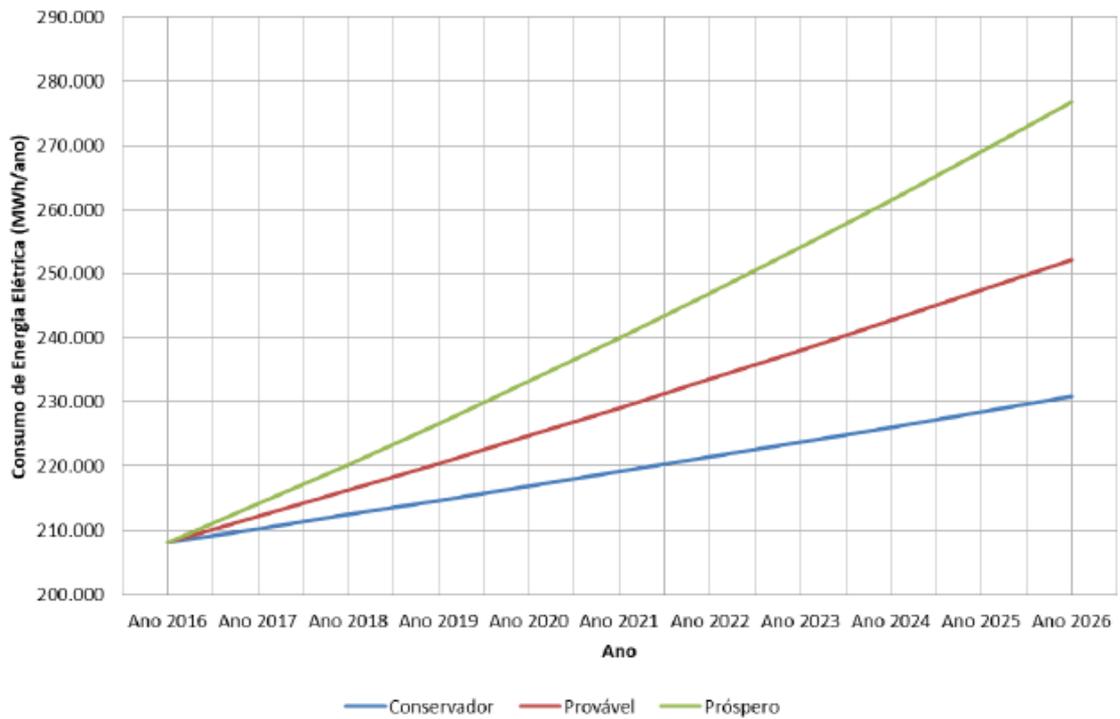


Figura 48 – Projeção de Demanda Industrial em Cascavel

Fonte: POD, 2018a

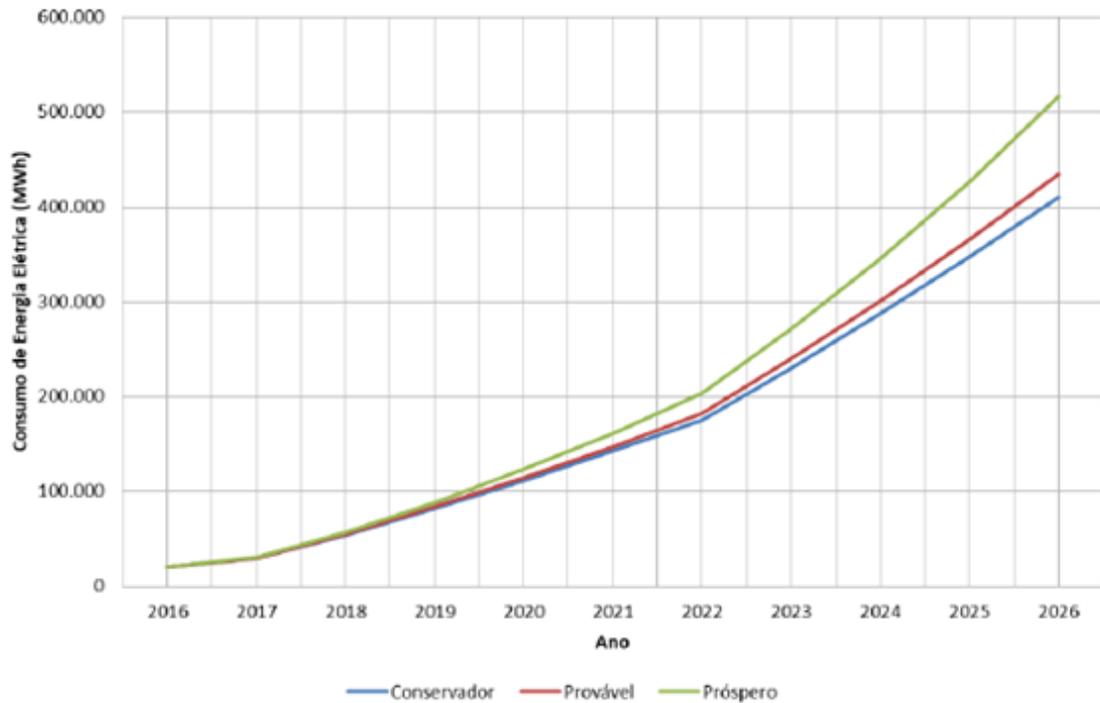


Figura 49 – Projeção de Demanda Rural em Assis Chateaubriand

Fonte: POD, 2018a

A Figura 50 consolida o crescimento de demanda elétrica para a região avaliada.

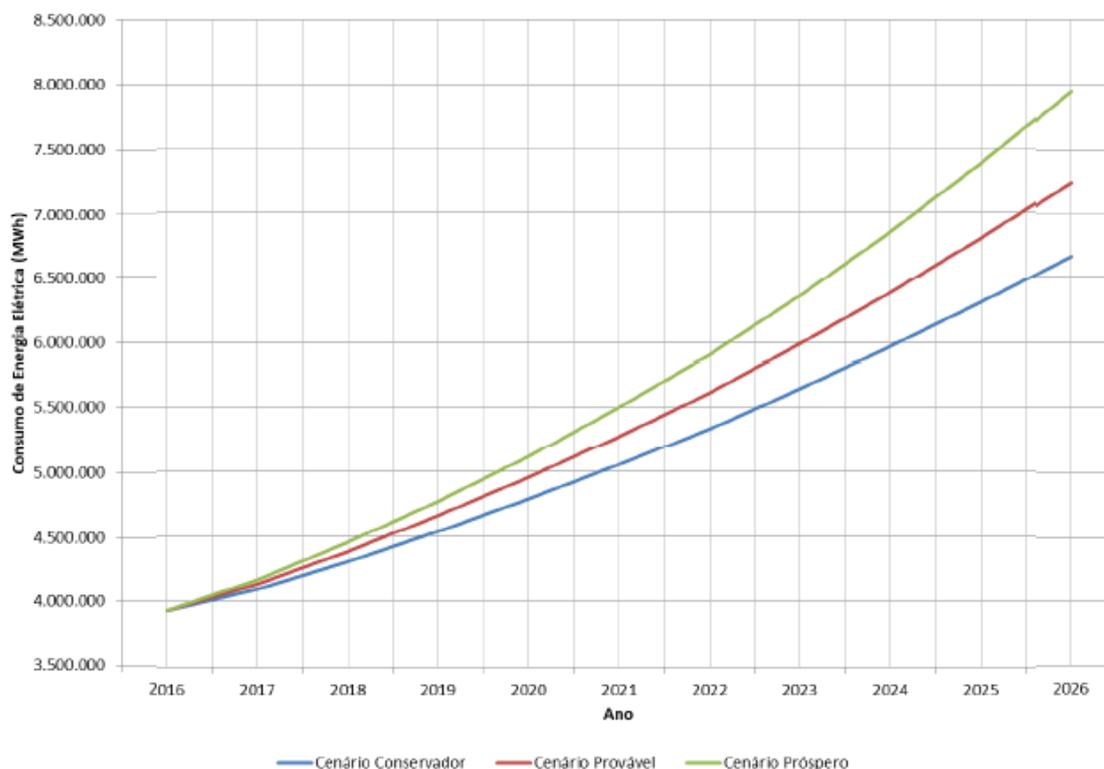


Figura 50 – Projeção de Demanda Total na Região Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

De acordo com a Tabela 32 e a Figura 50 a demanda total de eletricidade pode dobrar em dez anos, atingindo quase 8.000 GWh ante o montante de 3.930 GWh registrado em 2016. Isto significa que a rede elétrica da mesorregião oeste tem que estar adequadamente dimensionada para suportar tamanho incremento.

Ou seja, quanto melhor for o desempenho econômico da região, maior será o aumento do consumo elétrico nos municípios (cenário otimista) e, portanto, aumentará a utilização de linhas de transmissão, transformadores e subestações. A Figura 51 mostra a disposição geográfica das linhas de transmissão de 69 kV, 138 kV e 230 kV que atendem a região, conectando as subestações mapeadas.

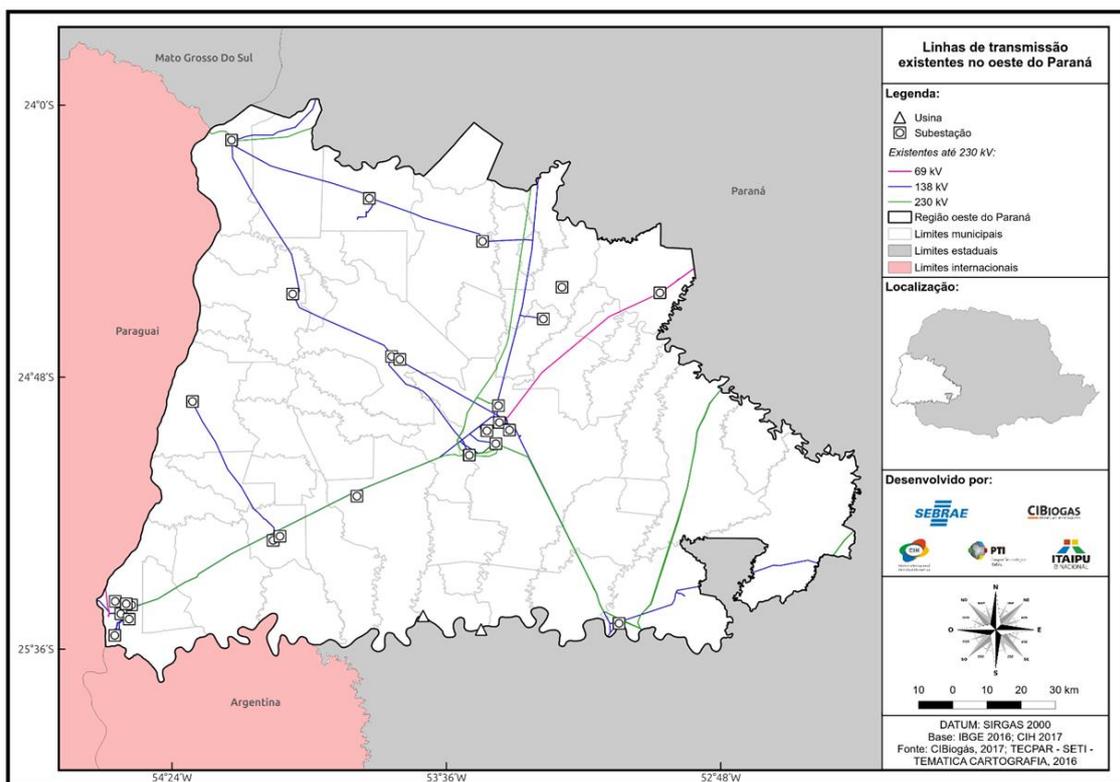


Figura 51 – Subestações e Linhas de Transmissão na Região Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

A etapa subsequente consistiu em avaliar a sobrecarga elétrica nas instalações, ou seja, estimar o impacto do cenário mais agressivo em termos de crescimento de carga nas linhas de transmissão, subestações e transformadores. Caso haja ultrapassagem dos patamares considerados seguros pelas boas práticas operativas, será identificada a necessidade de investimentos para reforçar a rede elétrica em determinados pontos.

Nesse sentido foram avaliados 15 transformadores de potência em 6 subestações, considerando o incremento anual de carga do cenário otimista. Vale a pena comparar a evolução da situação de cada transformador: em 2017 nenhum operava acima de 60% da capacidade e a média estava em torno de 48%. Já em 2026 a média de carregamento pode ultrapassar 80% da capacidade, o que indicaria sobrecarga sistêmica, e um dos transformadores extrapola o patamar máximo admissível⁹⁰ (Figura 52).

⁹⁰ A projeção indica que o transformador da subestação Pinheiros, pertencente ao conjunto elétrico Cascavel, ultrapassará 100% de carregamento no ano 2024. Nesse sentido, seria recomendável reforçar este ponto da rede até 2022, quando o percentual já seria de 80%.

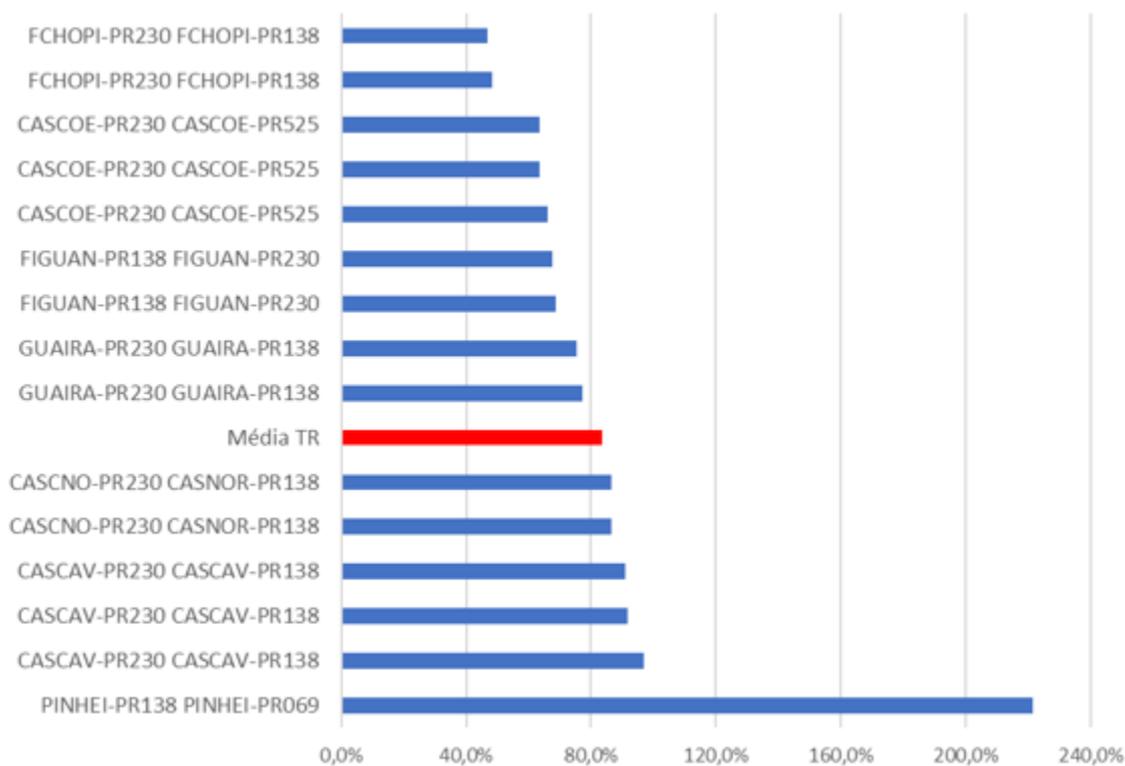


Figura 52 – Carregamento Percentual dos Transformadores Selecionados em 2026

Fonte: POD, 2018a

Então, pode-se afirmar que esta análise contribui revelando um ponto de nítida fragilidade da rede elétrica do oeste do Paraná, que pode limitar ou comprometer a expansão econômica na microrregião de Cascavel, um dos municípios mais pujantes do estudo de caso.

No que se refere às linhas de transmissão, a análise será individualizada por nível de tensão. A linha de 69 kV da Figura 51 (PINHEI – PR069 UBIRAT – PR069) tinha apenas 19,0% de capacidade utilizada em 2017, porém a simulação indicou que em 2026 será de 101,3%. Como a sobrecarga em linhas de transmissão aumenta as perdas técnicas e pode danificar elementos de proteção, o diagnóstico pede reforço nessa LT.

Há outras 28 LT operando em 138 kV, sendo que em 2017 apenas uma trabalhava acima de 50% da capacidade. Em 2026 já sobem para oito linhas de transmissão operando nessa mesma faixa e uma evoluiu para um nível de alerta: acima de 90% da capacidade. Da mesma forma, identifica-se a oportunidade de reforço dessa LT (PINHEI – PR 138 SADIA – PR138).

Há outras 14 linhas de transmissão operando a 230 kV na região, mas em 2017 nenhuma delas alcançava 40% de utilização da capacidade. De acordo com o Plano

Energético em 2026 o panorama desse conjunto de continuará tranquilo, uma vez que apenas uma LT atingirá 60% da capacidade operativa. Nesse caso não há indicação de investimentos adicionais.

Por fim, há no oeste do Paraná três linhas de transmissão de 525 kV. Em 2017 duas operavam abaixo de 20% da capacidade, enquanto que a terceira funcionava com 40%. No horizonte do estudo as simulações mostraram que a situação permanecerá confortável: a LT mais exigida atingirá apenas 42,5% de utilização. Deste modo, mais uma vez não foi evidenciada condição que aponte risco operacional.

Diante do exposto, as fragilidades relatadas podem afetar até o ano 2026 clientes localizados em 21 cidades: Anahy, Cafelândia, Cascavel, Catanduvas, Céu Azul, Corbélia, Diamante do Sul, Guaíra, Guaraniaçu, Ibema, Iguatu, Iracema do Oeste, Jesuítas, Lindoeste, Nova Aurora, Nova Laranjeira, Santa Tereza do Oeste, São Pedro do Iguaçu, Terra Roxa, Ubiratã e Vera Cruz do Oeste.

Visando solucionar os problemas encontrados foram recomendadas algumas opções, dentre as quais citam-se a expansão da subestação Pinheiros e o aumento da tensão nominal da LT de 69 kV (para 138 kV ou 230 kV). Entretanto, ressalta-se que somente estudos de engenharia e de viabilidade técnico-econômica poderão definir quais seriam as melhores soluções em cada caso e determinar o momento adequado para intervenção (isso não estava previsto no escopo do Plano Energético).

O derradeiro desafio do estudo de caso foi fazer um levantamento do potencial energético das fontes renováveis da região oeste do Paraná. Foram estimadas as opções hídrica, solar fotovoltaica e biogás, em todas as cidades. Ao final será feita uma consolidação da contribuição de todas as fontes de energia.

A Tabela 33 concatena 66 pontos para aproveitamento hidrelétrico (PCH e CGH) em doze rios da área avaliada, com potência total calculada de 332,23 MW. Os três municípios com maior potencial hídrico são Cascavel (50,3 MW), Nova Laranjeiras (43,75 MW) e Diamante do Sul (31,2 MW), que juntos representam quase 38% do total. Nesse contexto destaca-se o Rio Piquiri, com projetos que agregam 132 MW à região analisada⁹¹.

⁹¹ O Anexo XX ilustra a dispersão geográfica dos empreendimentos, bem como as diferentes fases de desenvolvimento dos projetos;

Tabela 33 – Potencial hidrelétrico inventariado na região oeste do Paraná

Rio ou Curso d'Água	Projetos em desenvolvimento	Potência [MW]	Fração do total
Rio Piquiri	6	132,00	39,73%
Rio Andrada	12	59,00	17,76%
Rio Sapucaia	9	34,44	10,37%
Rio Tourinho	4	19,60	5,90%
Rio São Francisco Verdadeiro	5	16,90	5,09%
Arroio Guaçu	10	15,03	4,52%
Rio Guarani	3	12,69	3,82%
Rio Arquimedes	6	11,88	3,58%
Rio Adelaide	2	10,37	3,12%
Rio Tormenta	2	9,80	2,95%
Rio São Francisco Falso	6	7,37	2,22%
Rio Tamanduá	1	3,15	0,95%
Total	66	332,23	100,00%

Fonte: POD, 2018a

Em seguida foi calculada qual seria a geração elétrica associada a todos os projetos em prospecção. Adotou-se a média entre alguns fatores de capacidade de PCHs e CGHs encontrados na literatura (52,6%), resultando em 1.530.149 MWh anuais (174,7 MWm).

No que se refere ao aproveitamento da energia solar, a literatura aponta o enorme potencial brasileiro (STILPEN, D.V.S., CHENG, V., 2015b). O Atlas Solar do Paraná (Governo PR, 2017) revela que a irradiação solar⁹² na mesorregião estudada varia entre 3,67 kWh/m²/dia em junho e 5,85 kWh/m²/dia em dezembro (Figura 53). Toledo e Cascavel registram o maior potencial solar (juntas tem mais de 22% do total), especialmente nos telhados de aviários e granjas de suínos (Figura 54).

⁹² Média diária mensal, registrada no plano inclinado e na latitude específica de cada localidade.

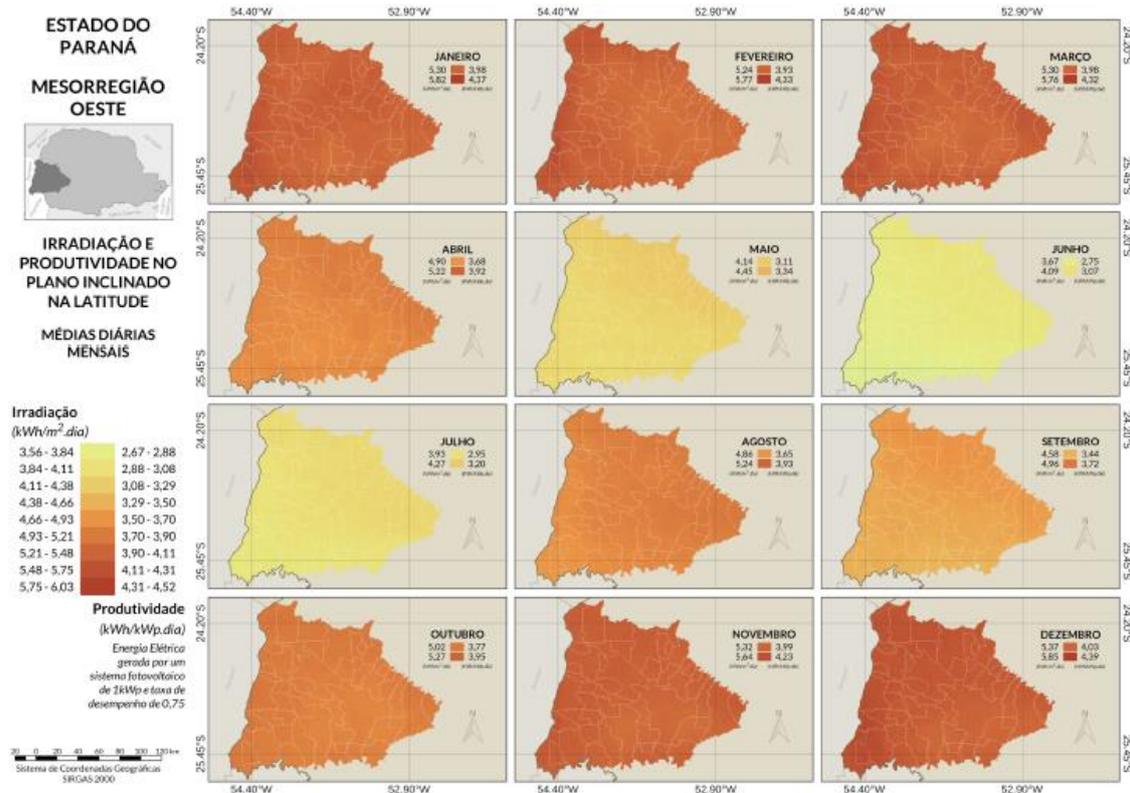


Figura 53 – Irradiação Solar Mensal no oeste do Paraná
Fonte: Governo PR, 2017

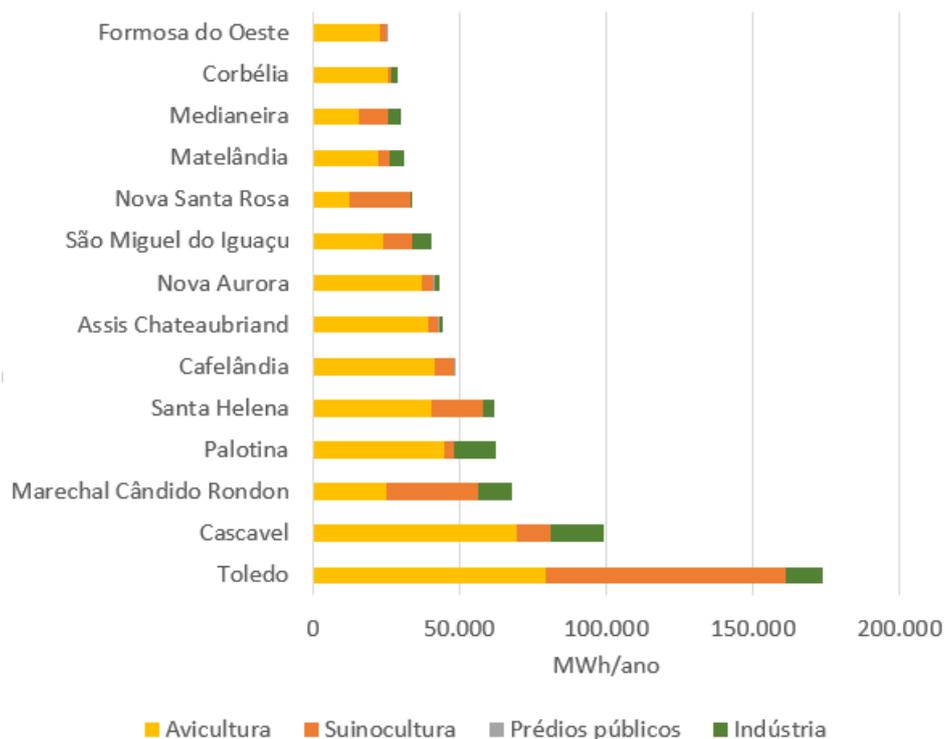


Figura 54 – Potencial Solar Fotovoltaico no Oeste do Paraná
Fonte: POD, 2018a

Marechal Cândido Rondon, Palotina e Santa Helena, que tem a mesma vocação econômica das anteriores, também se sobressaem no quesito potencial fotovoltaico nas propriedades rurais, ultrapassando 50.000 MWh anuais (Anexo XXI).

Ao final de 2017 a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos na área do estudo de caso era 326 MW. Considerando eficiência média de 14% para os painéis solares, padrão tecnológico vigente naquele momento, foi estimado potencial de geração elétrica de 1.203.806 MWh anuais (137,4 MWm).

Por último, resta apresentar as informações coletadas para mensurar o potencial local de biogás. Conforme já mostrado neste capítulo, a mesorregião oeste oferece farta disponibilidade de resíduos orgânicos em propriedades rurais (feculárias e pecuária) e na indústria de alimentos (abatedouros e frigoríficos)⁹³. Com a biodigestão deste material seria possível produzir quase 407 milhões de Nm³/ano de biogás e 518.468 MWh.

A Tabela 34 detalha o potencial de biogás dos efluentes da indústria de proteína animal (destaque para abatedouros de frangos) e respectiva geração elétrica, enquanto a Tabela 35 revela os números impressionantes da suinocultura e avicultura nas 54 cidades.

Tabela 34 – Potencial anual de biogás e energia elétrica em abatedouros e frigoríficos

Potencial anual	Peixes	Bovinos	Suínos	Frangos	Total
Biogás (Nm ³)	174.813	621.756	6.004.002	11.374.336	18.174.907
Eletricidade (MWh)	250	889	8.586	16.265	25.990

Fonte: POD, 2018a

Tabela 35 – Potencial anual de biogás e energia elétrica em propriedades rurais

Potencial anual	Feculárias (mandioca)	Bovinocultura leiteira	Avicultura	Suinocultura	Total
Biogás (Nm ³)	12.660.587	13.066.096	88.942.583	273.862.176	388.531.442
Eletricidade (MWh)	18.105	18.865	110.289	345.221	492.479

Fonte: POD, 2018a

⁹³ No anexo XXII são apresentadas a metodologia e as memórias de cálculo de potencial de biogás deste estudo de caso. Enquanto isso, nos anexos XXIII a XXIX são disponibilizados mapas coropléticos com o detalhamento por cadeia produtiva e município, além da agregação final.

Agregando todas as parcelas associadas a frigoríficos e abatedouros, percebe-se na Figura 55 que a cidade com maior potencial de biogás é Toledo, com o triplo da segunda colocada (Marechal Cândido Rondon). Na sequência Palotina, Santa Helena e Assis Chateaubriand completam a relação dos cinco municípios mais significativos.

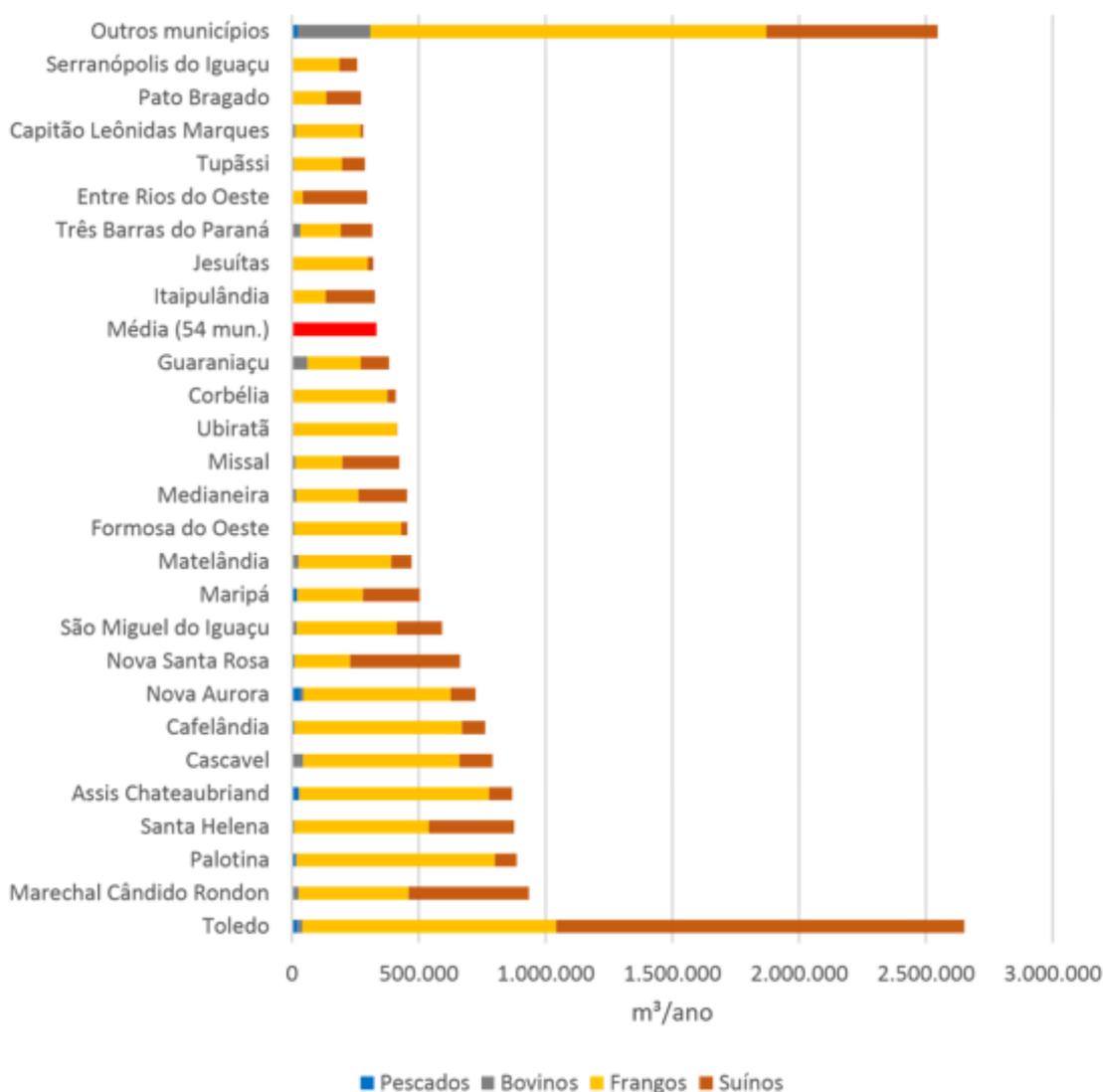


Figura 55 – Potencial de Biogás em Abatedouros no Oeste do Paraná

Fonte: POD, 2018a

Quando são somados os potenciais teóricos para geração elétrica a partir de fontes renováveis obtêm-se 3.252.423 MWh anuais (371,3 MWm), o que significa 82,7% do consumo elétrico verificado na região oeste do Paraná em 2016. Considerando a demanda

projetada para 2026, o potencial calculado representa entre 40,9% e 48,8% nos cenários otimista e conservador, respectivamente.

Adicionalmente, na Figura 56 pode-se observar que as maiores expoentes são, nesta ordem, Cascavel e Toledo (ambas acima de 450 GWh/ano). Nova Laranjeiras (~250 GWh/ano), Marechal Cândido Rondon e Diamante do Sul (ambas em torno de 190 GWh/ano) completam o rol das cinco cidades com maior potencial.

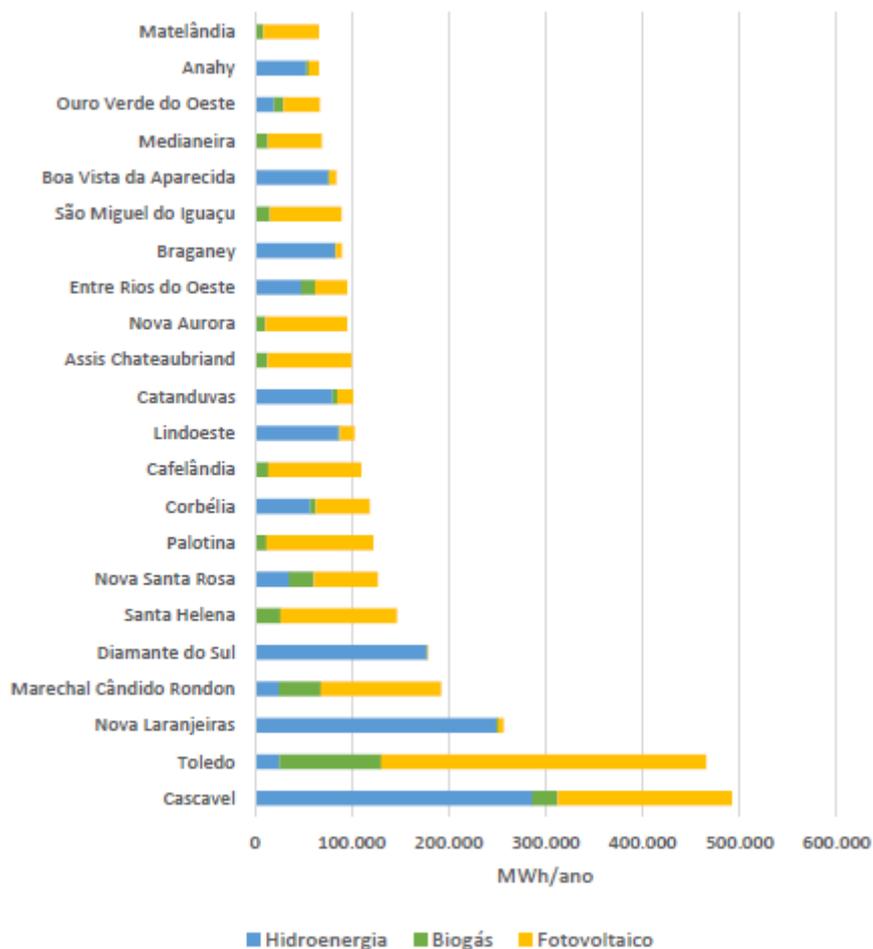


Figura 56 – Potencial Teórico de Energias Renováveis por Município

Fonte: POD, 2018a

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

Neste capítulo final são identificados os principais pontos de originalidade desta tese e são apresentadas suas conclusões. Adicionalmente são enumeradas algumas sugestões para novos trabalhos acadêmicos, visando estimular pesquisadores a revisitar futuramente esta temática.

No primeiro capítulo foi definido que esta tese de doutorado teria como objetivo geral avaliar o potencial energético do biogás na região oeste do Paraná, associado à atividade agropecuária em 54 cidades, para suprimento parcial da demanda elétrica até 2026. Para estruturar e conduzir a discussão foram delimitados 4 objetivos específicos:

- i. Diagnóstico do status atual do planejamento energético descentralizado no país em 4 níveis;
- ii. Discutir os aspectos mais relevantes envolvendo a questão dos Recursos Energéticos Distribuídos;
- iii. Contextualizar a geração distribuída no Brasil;
- iv. Avaliar o biogás como fonte de geração elétrica.

Como primeiro ponto de originalidade, pode-se citar o levantamento das séries históricas de cada fonte energética no capítulo 2, mostrando que as estatísticas brasileiras mais antigas remontam ao início do século XX. Não foi encontrada qualquer publicação da EPE nem do MME com informações anteriores à década de 1960.

A segunda contribuição inédita seria a reconstrução da linha do tempo do planejamento a partir de 1968, época do estudo Matriz Energética Brasileira, até os dias atuais. Foram evidenciados todos os passos do xadrez político/institucional que permitiram a criação do BEN (com equipe permanente no MME, regularidade e periodicidade anual) e da EPE (assumindo parte das atribuições de diferentes instituições do setor energético, além de novos desafios).

O terceiro ponto de originalidade seria o extenso levantamento identificando qual órgão da administração direta ou indireta seria hoje responsável pela realização dos estudos na área de energia em cada estado (balanços energéticos estaduais, atlas solares, atlas eólicos, atlas de biomassa e planos energéticos de longo prazo, dentre outros).

No caso específico dos balanços energéticos estaduais foi apurado qual seria a extensão da série histórica e qual o grau de convergência entre a metodologia de cada BEE e a do BEN. Trata-se de uma consolidação inédita, que inclusive pode vir a auxiliar a EPE e o MME no refinamento de dados estaduais para calibração da edição nacional.

No capítulo 3 foram explicados pontos importantes da reforma do setor elétrico que está em tramitação no Congresso Federal, que podem promover a entrada dos RED na matriz: sinal locacional, preços horários, tarifas multipartes, valoração de atributos ambientais e a remuneração por serviços ancilares. Apesar de não ser uma contribuição inédita, seguramente é oportuna para fundamentar a questão da modernização regulatória.

No que se refere à revisão da REN 482, cabe explicar que cada fonte de energia se encontra em um estágio diferente de maturidade e competitividade comercial. Nesse contexto, subsídios podem fazer sentido para acelerar o desenvolvimento do mercado de algumas tecnologias e promover uma maior equidade entre as fontes.

De toda forma, após alguns anos é fundamental reavaliar os incentivos concedidos, para checar se os benefícios ainda se justificam ou se podem ser reduzidos ou retirados. Por exemplo, para o biogás ainda faz sentido a concessão de condições favoráveis, enquanto que para a energia solar fotovoltaica já não é mais necessário.

É importante trazer aos leitores este olhar, dissonante do viés nitidamente pró GD da mídia e predominante na academia. Trata-se de uma visão por outro ângulo, complementar, de um autor que vivencia profissionalmente as “dores” das distribuidoras de eletricidade em lidar com a expansão da GD em mercados consumidores com diferentes contextos socioeconômicos e com capilaridade de rede bastante variada.

No capítulo 4 foi utilizado o *software* SIGEBA 1.0, desenvolvido durante a etapa de doutorado sanduíche na Technische Universität München e registrado no INPI, para construção da nova matriz energética do estado do Paraná e da inédita matriz da região oeste do Paraná. Isto foi fundamental para a caracterização da oferta e demanda de energia em 2016, ano base dos cenários de demanda de eletricidade do Plano Energético do Oeste.

O estudo de caso trouxe ainda uma estimativa do potencial de aproveitamento energético de resíduos orgânicos em 54 cidades do oeste do Paraná (em especial na pecuária, em amidonarias e em frigoríficos). A biodigestão desses substratos geraria 407 milhões de Nm³ de biogás por ano e 59,2 MWm de eletricidade. A cidade de Toledo se destaca, em decorrência de ter o maior plantel de suínos em terminação do país e avicultura bastante numerosa.

Ao final do estudo de caso foi estimado potencial teórico anual de 371,3 MWm oriundos de fontes renováveis (biogás, solar fotovoltaica e hídricas). Tendo em vista os cenários de demanda elétrica apresentados, este montante equivaleria a uma fração entre 41% e 49% do total projetado para o ano de 2026 (dependendo do cenário).

Após revisitar os principais pontos de ineditismo em cada capítulo e o desenvolvimento dos objetivos específicos, se torna mais fácil apresentar as dez conclusões desta tese de doutorado:

- 1) A penetração dos recursos energéticos distribuídos na matriz elétrica brasileira é uma tendência inevitável e tornará mais complexa a gestão operacional do *grid*, mas os aspectos positivos para a sociedade superam as dificuldades inerentes à transformação do sistema elétrico para a nova realidade de fluxos bidirecionais.
- 2) Para qualquer fonte de energia deve-se avaliar a possível implementação de mecanismos para facilitar a superação de barreiras tecnológicas, econômicas e de mercado, entre outras. Mas isto não significa, necessariamente, a criação de subsídios. Mas, se este for o caso, é fundamental reavaliar periodicamente as condições de contorno para questionar a possibilidade de retirada total ou parcial.
- 3) A melhor solução para incentivar cada fonte de energia vai depender, principalmente, do seu nível de competitividade perante às demais. Como o biogás e o biometano atualmente se encontram em um estágio inicial no país, ambos ainda necessitam de políticas públicas que fomentem seu desenvolvimento.
- 4) Nesta tese não se propõe ruptura radical com o modelo de planejamento energético vigente no Brasil, mas sim um caminho intermediário (mais descentralizado), com sinergia de múltiplos atores públicos e privados e esforços complementares em diferentes esferas (estadual, regional e municipal). Acredita-se que o setor energético brasileiro tenha o grau de maturidade necessário para essa evolução.
- 5) É fundamental que o MME e a EPE estimulem estados e municípios a terem maior protagonismo, inclusive elaborando estudos energéticos com abrangência local ou regional. Isto tenderia a aumentar o aproveitamento dos recursos energéticos distribuídos, especialmente em locais comumente sem destaque nos estudos de âmbito nacional ou no caso de fontes de energia sem políticas públicas específicas.
- 6) Municípios de uma mesma região podem replicar o caso de sucesso observado no Programa Oeste em Desenvolvimento, com diversos agentes privados e públicos unindo esforços em prol do aumento da qualidade do suprimento elétrico da distribuidora, do desenvolvimento econômico local e fomentando soluções energéticas descentralizadas e sustentáveis.
- 7) O programa computacional SIGEBA foi integralmente desenvolvido durante esta tese de doutorado e demonstrou ser uma poderosa ferramenta de planejamento, podendo ser aplicada para obtenção de matrizes energéticas estaduais, regionais

ou municipais. No estudo de caso da região oeste do Paraná o SIGEBA foi utilizado com sucesso para gerar as matrizes estadual e da região oeste, referentes ao ano base 2016.

- 8) Ainda no âmbito do estudo de caso, um grande problema encontrado diz respeito aos indicadores de qualidade da energia da distribuidora, com frequência e duração que extrapolam os limites regulatórios em alguns subconjuntos, causando prejuízos aos produtores rurais e às cooperativas de proteína animal. Para enfrentar essa questão há 2 possibilidades: os consumidores podem investir em geração distribuída (solução paliativa) ou a distribuidora pode reforçar a infraestrutura de sua rede (solução estruturante).
- 9) Dentre as opções analisadas para geração distribuída, somente o biogás permitirá aos produtores rurais e aos frigoríficos uma maior confiabilidade no suprimento elétrico, a qualquer momento do dia, de forma independente da rede da concessionária e de baterias. Por esta razão, além da enorme disponibilidade de resíduos orgânicos da atividade agropecuária, conclui-se que os produtores rurais e as cooperativas deveriam priorizar a implantação desta fonte de energia.
- 10) Como solução estrutural para os recorrentes problemas na rede elétrica rural do Paraná, a distribuidora Copel está executando o Plano Paraná Trifásico e promete investir R\$ 2,1 bilhões até 2025. Com isto espera-se que a região oeste do Paraná possa crescer economicamente com maior segurança no suprimento elétrico.

Por fim, são listadas três recomendações de temas para trabalhos acadêmicos futuros que possam dar continuidade a esta tese:

- i) Reavaliar a conjuntura do planejamento energético no Brasil (em âmbitos regional, estadual, municipal e multi cidades). Neste caso seria importante um intervalo temporal não inferior a cinco anos (idealmente dez anos), para aumentar a probabilidade de ocorrência de alguma transformação estrutural;
- ii) Identificar e analisar mecanismos de fomento aos recursos energéticos distribuídos em alguns países (em especial o biogás e o biometano). Neste caso seria apurada a efetividade da criação de incentivos financeiros e fiscais, além de legislações específicas;
- iii) Elaborar estudo de caso em alguma outra localidade brasileira que tenha municípios organizados em prol do desenvolvimento de uma região e onde a questão do aproveitamento energético local seja relevante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Y.V., SILVA, A.J., KAMIMURA, A., **A importância do balanço energético estadual para o planejamento setorial: o caso do estado do Tocantins.** In: ABREU, Y.V., OLIVEIRA, M.A.G., GUERRA, S.M.G. (org). Energia, Sociedade e Meio ambiente. 1ª ed. Málaga: Eumed.net, 2010, p. 114-121. Disponível em <<http://www.eumed.net/libros/2010c/723/index.htm>>. Acesso em 30/08/2020.

AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ (ADAPAR). **Relatório Anual da Gerência de Saúde Animal.** 2016. Disponível em <http://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/migrados/File/RELATORIO_ANUAL_DE_SAUDE_ANIMAL_2016.pdf>. Acesso em 24/09/2020.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Saída do Reino Unido da UE poderá beneficiar mercado avícola do Paraná.** 2016. Disponível em <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=89853&tit=Saida-do-Reino-Unido-da-UE-podera-beneficiarmercado-avicola-do-Parana#main-navigation>>. Acesso em 19/10/2020.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Paraná realiza maior modernização da rede elétrica no campo.** 2019. Disponível em <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=104404&tit=Parana-realiza-maior-modernizacao-da-rede-eletrica-no-campo>>. Acesso em 04/07/2020.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Copel inicia ações de modernização da rede elétrica rural.** 2020a. Disponível em <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=105589&tit=Copel-inicia-acoes-de-modernizacao-da-rede-eletrica-rural>>. Acesso em 04/07/2020.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Paraná é líder na produção de biogás no sul do Brasil.** 2020b. Disponível em <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=105484&tit=Parana-e-lider-na-producao-de-biogas-no-Sul-do-Brasil>>. Acesso em 10/02/2021.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Copel instala 2,8 mil quilômetros de rede trifásica no campo.** 2021a. Disponível em <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=110455&tit=Copel-instala-28-mil-quilometros-de-rede-trifasica-no-campo>>. Acesso em 12/01/2021.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Paraná Trifásico conclui 4,3 mil quilômetros de novas redes em 198 municípios.** 2021b. Disponível em <<https://www.copel.com/hpcweb/parana-trifasico-conclui-43-mil-quilometros-de-novas-redes-em-198-municipios/>>. Acesso em 22/06/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482.** 2012a. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 09/01/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 517.** 2012b. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em 10/01/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Glossário.** 2015a. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/glossario>>. Acesso em 09/01/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 687.** 2015b. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 09/01/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Cadernos temáticos ANEEL: micro e minigeração distribuída – sistema de compensação de energia elétrica.** 2ª edição. 2016. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+>

Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em 09/01/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 786**. 2017. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em 09/01/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 819**. 2018a. Estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>>. Acesso em 20/12/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Consulta Pública 010/2018**. 2018b. Objeto: obter subsídios ao aprimoramento das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída, estabelecidas pela Resolução Normativa nº 482/2012. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas?p_auth=Re8wZaJM&p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideParticipacaoPublica=3329&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_javax.portlet.action=visualizarParticipacaoPublica>. Acesso em 31/01/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Consulta Pública 025/2019**. 2019. Objeto: obter subsídios e informações adicionais referentes às regras aplicáveis à micro e mini geração distribuída para a elaboração da minuta de texto à Resolução Normativa nº 482/2012 e à seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Disponível em <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_auth=Re8wZaJM&p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideParticipacaoPublica=3366&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_javax.portlet.action=visualizarParticipacaoPublica>. Acesso em 31/01/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Unidades consumidoras com geração distribuída – Power BI com informações compiladas e mapa.** 2020a. Disponível em <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTllMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>>. Acesso em 16/06/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional - PRODIST.** 2020b. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_11/d1f58668-ab9f-5e0a-e171-5394351ef374>. Acesso em 12/10/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). – **Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC).** 2020c. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>>. Acesso em 08/11/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** 2021. Disponível em <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OGYyYjQtYWZmZWZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>>. Acesso em 20/02/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução nº 685.** 2017. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional. Disponível em <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>>. Acesso em 07/02/2021.

AGRO MOGIANA. **Como as ordenhas robotizadas afetam a nutrição das vacas leiteiras?** 2019. Disponível em <<https://www.agromogiana.com.br/como-as-ordenhas-robotizadas-afetam-a-nutricao-das-vacas-leiteiras/>>. Acesso em 18/10/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRADEE). **Relacionamento Inteligente com o Consumidor.** 2017. Seminário “O futuro do atendimento e relacionamento com o consumidor”. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/1+Abradee+-+Nelson+Leite.pdf/05acc001-7586-d611-3112-bd1f29e79a34>>. Acesso em 08/07/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEÓLICA). **Futuro da Indústria Eólica e Infraestrutura de Transmissão no Brasil.** 2019. Disponível em <https://www.viex-americas.com/wp-content/uploads/2019/08/15_08_Francine-Pisni_ABEE%c3%b3lica-1.pdf>. Acesso em 12/07/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Geração distribuída: liberdade e empoderamento à sociedade.** 2019. Disponível em <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/geracao-distribuida-liberdade-e-empoderamento-a-sociedade.html>>. Acesso em 10/01/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (ABGD). **Manifesto pela geração distribuída (GD) no Brasil.** 2020. Disponível em <[http://www.abgd.com.br/portal/eventos-pg/79/manifesto-pela-geracao-distribuida-\(gd\)-no-brasil/](http://www.abgd.com.br/portal/eventos-pg/79/manifesto-pela-geracao-distribuida-(gd)-no-brasil/)>. Acesso em 10/01/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS E DO BIOMETANO (ABIOGÁS). **O potencial brasileiro de biogás.** 2020. Disponível em <https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf>. Acesso em 09/02/2021.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (BRDE). **Com apoio do BRDE, C. Vale inaugura frigorífico de peixes, um investimento de R\$ 110 milhões.** 2017. Disponível em <<https://www.brde.com.br/noticia/10369/>>. Acesso em 11/10/2020.

BARONE, J.C. **O balanço energético como instrumento para o planejamento energético regional**. 1990. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. Disponível em <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/264556>>. Acesso em 01/09/2020.

BARONE, J.C., BAJAY, S.V. **Otimização do uso de balanços energéticos no planejamento energético regional**. Revista Brasileira de Energia, v. 2, n. 1, 1992. Disponível em <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/36/36>>. Acesso em 01/09/2020

BARROS, R.P., BOLUDA, L.C.P.J., **Consumo de energia para cocção – análise das informações disponíveis**. 1983. Disponível em <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7564>>. Acesso em 16/07/2020.

BIASI, C.A.F, MARIANI, L.F., PICINATTO, A.G., ZANK, J.C.C. **Energias renováveis na área rural da região sul do Brasil**. 2018. 1ª edição. Disponível em <<http://materiais.cibiogas.org/ebook-energias-renovaveis>>. Acesso em 05/12/2020.

BRANDÃO, R. *et al*, **Análise do mercado de serviços ancilares de Portugal: implicações para o caso brasileiro**. 2017. Disponível em <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/48_Brandao.pdf>. Acesso em 27/12/2020.

BRASIL. **Lei nº 10.847**. 2004a. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm>. Acesso em 26/07/2020.

BRASIL. **Decreto nº 5.163**. 2004b. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM>. Acesso em 09/01/2020.

BRASIL. **Lei nº 12.527.** 2011. Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do §3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112527.htm>. Acesso em 26/07/2020.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 1.917/2015.** 2015. Dispõe sobre a portabilidade da conta de luz, as concessões de geração de energia elétrica e a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n. 12.783, de 11 de janeiro de 2013, 10.848, de 15 de março de 2004, 10.847, de 15 de março de 2004, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Medida Provisória n. 2.227, de 4 de setembro de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1307190>>. Acesso em 29/11/2020.

BRASIL. **Projeto de Lei do Senado nº 232/2016.** 2016. Dispõe sobre o modelo comercial do setor elétrico, a portabilidade da conta de luz e as concessões de geração de energia elétrica, altera as Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 10.847, de 15 de março de 2004, nº 10.848, de 15 de março de 2004, e nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, e a Medida Provisória nº 2.227, de 4 de setembro de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/126049>>. Acesso em 29/11/2020.

BRASIL. **Lei nº 13.844.** 2019. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios; altera as Leis nºs 13.334, de 13 de setembro de 2016, 9.069, de 29 de junho de 1995, 11.457, de 16 de março de 2007, 9.984, de 17 de julho de 2000, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, 8.001, de 13 de março de 1990, 11.952, de 25 de junho de 2009, 10.559, de 13 de novembro de 2002, 11.440, de 29 de dezembro de 2006, 9.613, de 3 de março de 1998, 11.473, de 10 de maio de 2007, e 13.346, de 10 de outubro de 2016; e revoga dispositivos das Leis nºs 10.233, de 5 de junho de 2001, e 11.284, de 2 de março de 2006, e a Lei nº 13.502, de 1º de novembro de 2017. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/L13844.htm>. Acesso em 26/07/2020.

BRASIL. **Medida Provisória nº 998/2020**. 2020. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, a Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, o Decreto-Lei nº 1.383, de 26 de dezembro de 1974, a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, e a Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear representativas do capital social das Indústrias Nucleares do Brasil S.A. e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/144445>>. Acesso em 29/11/2020.

BRASIL. **Lei nº 14.120**. 2021. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, a Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, a Lei nº 12.783, de 11 de janeiro de 2013, a Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015, e o Decreto-Lei nº 1.383, de 26 de dezembro de 1974; transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) representativas do capital social da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep); e dá outras providências.. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.120-de-1-de-marco-de-2021-306116199>>. Acesso em 01/03/2021.

BURGER, S.P., JENKINS, J.D., HUNTINGTON, S.C., PÉREZ-ARRIAGA, I.J. **Why distributed? A critical review of the tradeoffs between centralized and decentralized resources**. *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 17, n. 2, 2019. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8643507>>. Acesso em 30/06/2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **CCEE 15 anos: novo modelo para o setor elétrico aposta em leilões**. 2014 Disponível em <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia leitura?contentid=CCEE_237018&_afLoop=6951750044046&

_adf.ctrl-
state=17g1upnel3_1#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE_237018%26_afrLoop%3D69
51750044046%26_adf.ctrl-state%3D17g1upnel3_5>. Acesso em 10/08/2020.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Com quem se relaciona. 2020. Disponível em <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/com_quem_se_relaciona?_afrLoop=140953767277215&_adf.ctrl-state=3sadzjne_95#!%40%40%3F_afrLoop%3D140953767277215%26_adf.ctrl-state%3D3sadzjne_99>. Acesso em 10/08/2020.

CANAL ENERGIA. Energia 3D. 2019. Disponível em <<https://www.canalenergia.com.br/especiais/53099563/energia-3d>>. Acesso em 08/07/2020.

CANTANE, D.A., ANDO JUNIOR, O.H., HAMERSCHMIDT, M.B. Tecnologias de armazenamento de energia aplicadas ao setor elétrico brasileiro. 2020. Disponível em <https://www.pti.org.br/sites/default/files/Publica%C3%A7%C3%B5es/Livro_Tecnologias.pdf>. Acesso em 07/01/2021.

CATVE. Falta de energia provoca morte de 30 toneladas de peixes em Bragantina. 2019. Disponível em <<http://www.catve.com/portal/noticia/6/244000/falta-de-energia-provoca-morte-de-30-toneladas-de-peixes-em-bragantina>>. Acesso em 18/10/2020.

CAVALCANTI, F.J.M.M. Elaboração e análise do balanço energético do estado de Pernambuco de 1989 a 1998. 2000. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, PE, Brasil. Disponível em <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5654>>. Acesso em 14/07/2020.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA (CBIE). O que é a geração distribuída? 2019. Disponível em <<https://cbie.com.br/artigos/o-que-e-a-geracao-distribuida/>>. Acesso em 09/01/2021.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA (CBIE). **E quando essa tempestade passar? As energias renováveis pós Covid-19.** 2020. Disponível em <<https://cbie.com.br/espaco-adriano-pires/e-quando-essa-tempestade-passar-as-energias-renovaveis-pos-covid-19/>>. Acesso em 19/07/2020.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – BIOGÁS (CIBIOGÁS). **Biogasmapp.** 2020. Disponível em <<https://mapbiogas.cibiogas.org/>>. Acesso em 07/01/2020.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – BIOGÁS (CIBIOGÁS). **Panorama do biogás no Brasil em 2020.** 2021a. Disponível em <<https://materiais.cibiogas.org/nota-tecnica-panorama-do-biogas-2020-nt-01-2021>>. Acesso em 16/06/2021.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – BIOGÁS (CIBIOGÁS). **Biogasdata.** 2021b. Disponível em <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjQxYjg4NjgtMTI0NC00NTk2LTk5OTQtMjFkNWxZjM1ZTk5IiwidCI6ImMzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MjGU5MWE4NGViNSJ9>>. Acesso em 17/06/2021.

CGN. **Copel é condenada a ressarcir produtor rural que ficou sem energia e perdeu cerca de 17 mil peixes.** 2019. Disponível em <<https://cgn.inf.br/noticia/43554/copel-e-condenada-a-ressarcir-produtor-rural-que-ficou-sem-energia-e-perdeu-cerca-de-17-mil-peixes#:~:text=Paran%C3%A1,Copel%20C3%A9%20condenada%20a%20ressarcir%20produtor%20rural%20que%20ficou%20sem,cerca%20de%2017%20mil%20peixes&text=Um%20morador%20da%20C3%A1rea%20rural,energia%20e%20C3%A9trica%20por%2018%20horas>>. Acesso em 18/10/2020.

CHAVES, F.D.M. **Serviços ancilares através da geração distribuída: reserva de potência ativa e suporte de reativos.** 2009. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/263814/1/MoyaChaves_FrancisDavid_D.pdf>. Acesso em 27/12/2020.

COELHO, S.T. *et al.* **Atlas de bioenergia do Estado de São Paulo**. 2020. Disponível em
<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/sites/default/files/Atlas_Bioenergia_SP_2020_livro_DIGITAL_FINAL_0.pdf>. Acesso em 15/06/2021.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Relatório anual de sustentabilidade**. 2018. Disponível em
<<https://novoportal.cemig.com.br/relatorio/relatorio-anual-de-sustentabilidade-2018>>. Acesso em 08/07/2020.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). **Balço energético da região nordeste do Brasil 1980 – 1987**. 1989. Documento recebido por email, após solicitação aberta na Ouvidoria da Chesf. Acesso em 02/10/2020.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Matriz energética do Paraná: ano 2000**. 1994. Disponível em
<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/050/28050785.pdf>. Acesso em 02/09/2020.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Ração é o principal insumo da produção aquícola**. Boletim Ativos Aquicultura, ano 3, edição 13. 2017. Disponível em <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/ativos-aquicultura_0.90337400%201514917005.pdf>. Acesso em 17/10/2020.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Impacto do preço dos combustíveis no custo de produção de tilápia em Palotina/PR e Toledo/PR**. 2019. Disponível em
<https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/ativos_aquicultura_campo_futuro_marco.pdf>. Acesso em 17/10/2020.

CONSTANTINO, M.C. **Controle térmico de granjas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso, UFF, Niterói, RJ, Brasil. Disponível em <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/8602>>. Acesso em 27/12/2020.

COPACOL. **Manutenção e manuseio correto dos equipamentos podem evitar casos de emergência/sinistros.** 2020. Disponível em <<https://www.copacol.com.br/agronegocio/noticia/4472/manutencao-e-manuseio-correto-dos-equipamentos-podem-evitar-casos-de-emergencia-sinistros>>. Acesso em 15/09/2020.

CORREIO BRAZILIENSE. **Custo do subsídio à geração distribuída é de R\$ 1 bi por ano, diz Abradee.** 2020. Disponível em <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2020/01/28/internas_economia,823939/custo-subsidio-a-geracao-distribuida-e-de-r-1-bilhao-por-ano-abradee.shtml>. Acesso em 31/01/2021.

CPFL ENERGIA (CPFL). **Relatório anual 2019.** 2020. Disponível em <https://www.cpfl.com.br/institucional/relatorio-anual/Documents/CPFL_RelatorioAnual2019.pdf>. Acesso em 13/07/2020.

EDP ENERGIAS DO BRASIL (EDP). **Estratégia.** 2020. Disponível em <<https://ri.edp.com.br/pt-br/edp-energias-do-brasil/estrategia/>>. Acesso em 07/07/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Ventilação na avicultura de corte.** 2000. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58306/1/doc63.pdf>>. Acesso em 11/10/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Construções.** 2003. Disponível em <<http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/construcao.html>>. Acesso em 12/10/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Avicultura: fonte de calor é essencial em período crítico do inverno.** 2014. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1908901/avicultura-fonte-de-calor-e-essencial-em-periodo-critico-do-inverno#:~:text=Avicultura%3A%20Fonte%20de%20calor%20%C3%A9%20essencial>>

%20em%20per%C3%ADodo%20cr%C3%ADtico%20do%20inverno,-
Imprimir%20Avicultura%3A%20Fonte&text=O%20per%C3%ADodo%20de%20inver
no%20%C3%A9,fonte%20e%20intensidade%20de%20calor.>. Acesso em 25/09/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Piscicultores e técnicos discutem os custos de produção de tilápia em viveiro escavado em Tubarão – SC.** Informativo Campo Futuro, edição 23. 2016. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155518/1/462.pdf>>. Acesso em 17/10/2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** 2019. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>>. Acesso em 01/09/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande, MS.** Nota Técnica DEN 06/08. 2008. Disponível em <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-310/20081208_1\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-310/20081208_1[1].pdf)>. Acesso em 22/08/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Recursos energéticos distribuídos 2050.** Nota Técnica PR 08/18. 2018a. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em 29/06/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Recursos energéticos distribuídos: impactos no planejamento energético.** Nota de Discussão. 2018b. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/ND%20-%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADdos.pdf>>. Acesso em 13/07/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **O valor da informação para o funcionamento dos mercados de energia.** Série “O papel da EPE”, volume II. 2018c. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-336/topico-438/S%C3%A9rie%20O%20Papel%20da%20EPE-%20Vol%202.pdf>>. Acesso em 26/07/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **O valor dos estudos de planejamento para os mercados de energia.** Série “O papel da EPE”, volume I. 2018d. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-336/topico-437/S%C3%A9rie%20O%20Papel%20da%20EPE%20-%20Vol%201.pdf>>. Acesso em 26/07/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Sistemas de armazenamento em baterias – aplicações e questões relevantes para o planejamento.** 2019. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf>. Acesso em 27/12/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético nacional 2020 (ano base 2019) – relatório síntese.** 2020a. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf>. Acesso em 27/07/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Modelo de mercado da micro e minigeração distribuída (4MD): metodologia – versão PDE 2030.** Nota Técnica DEA 08/18. 2020b. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-531/NT_Metodologia_4MD_PDE_2030.pdf>. Acesso em 20/12/2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) / AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (ADENE). **Procedimentos de elaboração de balanços energéticos.** 2005. Disponível em <<https://livrozilla.com/doc/755170/procedimentos-de-elabora%C3%A7%C3%A3o-de-balan%C3%A7os-energ%C3%A9ticos>>. Acesso em 01/09/2020.

ENERGISA. **Relatório anual de responsabilidade socioambiental e econômico-financeiro 2019.** 2020. Disponível em <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/60f49a2d-bd8c-4fd9-95ab-bdf833097a83/7dca4962-a1d4-f6a6-4c80-c7e122418e58?origin=1>>. Acesso em 13/07/2020.

ERNST & YOUNG (EY). **Where does change start if the future is already decided?** 2019. Disponível em <<https://www.eurelectric.org/media/3637/ey-report-future-of-dsos.pdf>>. Acesso em 13/07/2020.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP). **Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná.** 2016. Disponível em <[https://www.sistemafiep.org.br/relacoes-internacionais/uploadAddress/Biogas\[73656\].pdf](https://www.sistemafiep.org.br/relacoes-internacionais/uploadAddress/Biogas[73656].pdf)>. Acesso em 06/09/2020.

FGV ENERGIA (FGV). **Recursos energéticos distribuídos.** 2016. Disponível em <<https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/fgvenergia-recursos-energeticos-book-web.pdf>>. Acesso em 29/06/2020.

FGV ENERGIA (FGV). **O biogás do agronegócio: transformando o passivo ambiental em ativo energético e aumentando a competitividade do setor.** 2017. Boletim de Conjuntura do Setor Energético – março. Disponível em <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/boletim_conjuntura-marco-2017_v3_rev1_0.pdf>. Acesso em 10/02/2021.

FONSECA, E.G. **Energia e a economia brasileira.** 1981. Disponível em <<https://core.ac.uk/download/pdf/268340224.pdf>>. Acesso em 17/06/2020.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS (FURNAS). **2º balanço energético consolidado da região sudeste: 1980 - 1984.** 1987. Disponível em <http://biblioteca.aneel.gov.br/index.asp?codigo_sophia=11171>. Acesso em 07/01/2021.

G1. **Paraná é líder na criação de tilápia no Brasil.** 2019. Disponível em <<https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/crea-pr/engenharias-geociencias-e-voce/noticia/2019/10/30/parana-e-lider-na-criacao-de-tilapia-no-brasil.ghtml>>. Acesso em 14/10/2020.

GAZETA DO POVO. **Cortes? Só se for de frango: frigorífico vira fábrica de empregos no Paraná.** 2017. Disponível em <<https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/expedicoes/expedicao-avicultura/2017/cortes-so-se-for-de-frango-frigorifico-vira-fabrica-de-empregos-no-parana-6e26mlxb37hztw89fb2mm38yi/>>. Acesso em 19/10/2020.

GELLINGS, C.W. **The concept of demand-side management for electric utilities.** *Proceedings of the IEEE*, v. 73, n. 10, 1985. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1457586>>. Acesso em 26/06/2016.

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD). **Convênio que isenta ICMS abrange todo país.** 2018. Disponível em <<https://www.geracaodistribuida.com/noticias/isencao-icms-energias-renovaveis/>>. Acesso em 31/01/2021.

GLOBAL ENVIRONMENTAL FACILITY (GEF). **Potencial de produção de biogás no sul do Brasil.** 2019. Disponível em <<https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-04/Potencial%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biog%C3%A1s%20no%20Sul%20do%20Brasil.pdf>>. Acesso em 15/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ALAGOAS (GOVERNO AL). **Balanço energético do estado de Alagoas 2008 – ano base 2007.** 2009. Disponível em <<http://dados.al.gov.br/dataset/balanco-energetico-do-estado-de-alagoas/resource/91fab0c4-a307-4568-9922-865dc03ee28d>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ALAGOAS (GOVERNO AL). **Atlas de bioenergia de Alagoas**. 2015. Disponível em < <https://dados.al.gov.br/catalogo/fi/dataset/atlas-de-bioenergia-de-alagoas>>. Acesso em 15/06/2021.

GOVERNO DO ESTADO DO ALAGOAS (GOVERNO AL). **Balanco energético do estado de Alagoas 2019 – ano base 2018**. 2019. Disponível em <<http://www.sedetur.al.gov.br/balanco-energetico/send/63-balanco-energetico/191-beal-2019-final>>. Acesso em 25/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (GOVERNO BA). **Atlas eólico da Bahia**. 2013. Disponível em <<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=16>>. Acesso em 29/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (GOVERNO BA). **Balanco energético da Bahia 2016**. 2016. Disponível em <<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=16>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (GOVERNO BA). **Balanco energético da Bahia 2017**. 2017. Disponível em <<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=16>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (GOVERNO BA). **Atlas solar da Bahia**. 2018. Disponível em <<http://www.infraestrutura.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=16>>. Acesso em 29/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (GOVERNO CE). **Balanco energético do estado do Ceará 2008 – ano base 2007**. 2008. Documento recebido por email, após solicitação aberta no Portal Ceará Transparente. Acesso em 16/11/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (GOVERNO CE). **Estudos de projeção da matriz energética Ceará 2030.** 2009. Disponível em <<http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2009/Livros/buraniestudoceara.pdf>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL (GOVERNO DF). **Plano estratégico Distrito Federal 2019 – 2060.** 2009. Disponível em <http://www.gestao.df.gov.br/lancamentopedf/Book_PEDF.pdf>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (GOVERNO ES). **Atlas eólico: Espírito Santo.** 2009. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_ES.pdf>. Acesso em 08/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (GOVERNO ES). **A energia solar no Espírito Santo: tecnologias, aplicações e oportunidades.** 2013a. Disponível em <<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2013/EnergiaSolarES.pdf>>. Acesso em 08/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (GOVERNO ES). **Atlas de bioenergia do Espírito Santo.** 2013b. Disponível em <<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2013/AtlasBioenergiaES.pdf>>. Acesso em 08/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (GOVERNO ES). **Balanco energético do estado do Espírito Santo 2019 – ano base 2018.** 2019. Disponível em <<https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Boletins/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico/BalancoEnergetico2019.pdf>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (GOVERNO ES). **Informações energéticas do estado do Espírito Santo.** 2020. Disponível em <https://arsp.es.gov.br/Media/arsi/Energia/Boletins/INFORMACOES_ENERGETICAS_MAR_ABR_2020.pdf>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS (GOVERNO GO). **Balço energético do estado de Goiás 2017 – ano base 2016**. 2018a. Disponível em <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2018-04/bego-2017-v2-completo.pdf>>. Acesso em 03/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS (GOVERNO GO). **Energias renováveis: análise da geração fotovoltaica no Brasil e Goiás**. 2018b. Disponível em <<https://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/estudos/2018/energias-renovaveis-analise-da-geracao-fotovoltaica-no-brasil-e-goias-2018.pdf>>. Acesso em 03/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO (GOVERNO MA). **Estudos de projeção da matriz energética do Maranhão 2030**. 2009. Disponível em <<http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2009/Livros/buriniestudosmaranhao.pdf>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO (GOVERNO MT). **Balço energético do estado de Mato Grosso e mesorregiões BEEMT 2018 – ano base 2017**. 2019a. Disponível em <<http://www.sedec.mt.gov.br/-/13905621-balanco-energetico-de-mato-grosso>>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO (GOVERNO MT). **Matriz energética de Mato Grosso e mesorregiões 2036**. 2019b. Disponível em <<http://www.sedec.mt.gov.br/-/13904391-matriz-energetica-de-mato-grosso>>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL (GOVERNO MS). **Balço energético do estado de Mato Grosso do Sul 2016 – ano base 2015**. 2016. Disponível em <<http://www.servicos.ms.gov.br/extranet-seinfra/docs/GDE-MS/BEMS%202016-Ano%20Base%202015.pdf>>. Acesso em 03/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **Atlas eólico de Minas Gerais**. 2010. Disponível em <<https://www.docsity.com/pt/atlas-eolico-mg/4862756/>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **Potencial de energias renováveis Volume I – contexto, energia eólica e solar.** 2014a. Disponível em <http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/ConteudoArquivos/Diagnostico/PotenciaIDeEnergiasRenovaveis/V1pemc_potencial_er_vol_i.pdf>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **Potencial de energias renováveis Volume II – biomassa, resíduos e hidroeletricidade.** 2014b. Disponível em <http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/ConteudoArquivos/Diagnostico/PotenciaIDeEnergiasRenovaveis/V2pemc_potencial_er_vol_2_ficha_catalografica.pdf>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **29º Balanço energético do estado de Minas Gerais 2014 – ano base 2013.** 2015. Disponível em <http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/ConteudoArquivos/Diagnostico/BalancoEnergetico/2_29beemg.pdf>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **Atlas solarimétrico de Minas Gerais – Volume II.** 2016. Disponível em <<https://docplayer.com.br/47954603-Atlas-solarimetrico-de-minas-gerais-volume-ii.html>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **Atlas de biomassa de Minas Gerais.** 2017. Disponível em <<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (GOVERNO MG). **33º Balanço energético do estado de Minas Gerais 2018 – ano base 2017.** 2019. Disponível em <<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (GOVERNO PR). **Atlas do potencial eólico do estado do Paraná.** 2007. Disponível em

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (GOVERNO PR). **Balanco energético do Paraná 2010 – ano base 2009.** 2010a. Disponível em <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2010-ano_base_2009/\\$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2010-ano_base_2009/$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf)>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (GOVERNO PR). **Séries históricas do balanço energético do Paraná 1980 – 2009.** 2010b. Disponível em <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FC824D47B05308F650325740C00438020>>. Acesso em 31/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (GOVERNO PR). **Atlas de energia solar do estado do Paraná.** 2017. Disponível em <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_PR_2017.html>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ (GOVERNO PI). **Plano de desenvolvimento econômico sustentável do estado do Piauí – PDES PI 2050 – Tomo II.** 2015. Disponível em <http://www.cepro.pi.gov.br/download/201608/CEPRO02_19a421fdad.pdf>. Acesso em 29/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (GOVERNO RJ). **Balanco energético do estado do Rio de Janeiro 2015 – ano base 2014.** 2016a. Disponível em <<http://www.rioinvest.rj.gov.br/docs/matrizes-e-balancos/balanco-energetico-Dez2016.pdf>>. Acesso em 19/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (GOVERNO RJ). **Atlas Rio solar: atlas solarimétrico do estado do Rio de Janeiro.** 2016b. Disponível em <<https://www.portal-energia.com/downloads/atlas-rio-solar-portal-energia.pdf>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (GOVERNO RJ). **Balço energético do estado do Rio de Janeiro 2017 – anos base 2015 e 2016**. 2017. Disponível em <<http://www.rioinvest.rj.gov.br/docs/matrizes-e-balancos/balanco-energetico-completo-2015-2016.pdf>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (GOVERNO RJ). **Matriz energética do estado do Rio de Janeiro 2017 – 2031**. 2018. Disponível em <<http://www.rioinvest.rj.gov.br/docs/matrizes-e-balancos/matriz-energetica-completa-2017-2031.pdf>>. Acesso em 06/07/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (GOVERNO RN). **Potencial eólico do estado do Rio Grande do Norte**. 2003. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (GOVERNO RN). **Balço energético do estado do Rio Grande do Norte 2006 – ano base 2005**. 2006a. Disponível em <<http://www.sedec.rn.gov.br/>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (GOVERNO RN). **Matriz energética do estado do Rio Grande do Norte 2004 – 2030**. 2006b. Disponível em <<https://www.yumpu.com/pt/document/view/40380288/leia-mais-farum-nacional-de-energia>>. Acesso em 30/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (GOVERNO RN). **Plano de energia elétrica do RN: eixos integrados de desenvolvimento**. 2017. Disponível em <<http://www.rnsustentavel.rn.gov.br/smiv3/site/conteudos/midias/8e5d063981807977b85dbc9fd8646741.pdf>>. Acesso em 29/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. 2002. Disponível em <<http://www.isl2024.org.br/sistema/uploads/postagens/55/arquivos/atlas-eolico-rs.pdf>>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Balço energético do Rio Grande do Sul 2010 – ano base 2009**. 2010. Disponível em <<https://docplayer.com.br/9536757-Balanco-energetico-do-rio-grande-do-sul.html>>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Atlas eólico: Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em <http://www.eletrosul.gov.br/files/files/Destaques/Atlas_Eolico_Rio_Grande_do_Sul_2014.pdf>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Balço energético do Rio Grande do Sul 2015 – ano base 2014**. 2015. Documento recebido por email, após solicitação aberta no Portal da Transparência do governo do Rio Grande do Sul. Acesso em 01/10/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano**. 2016a. Disponível em <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/176/pdf_176.pdf>. Acesso em 23/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Plano energético do Rio Grande do Sul 2016 – 2025**. 2016b. Disponível em <<https://accie.com.br/wp-content/uploads/2016/06/PLANO-ENERG%c3%89TICO-16-06-2016.pdf>>. Acesso em 10/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (GOVERNO RS). **Atlas solar do Rio Grande do Sul**. 2018. Disponível em <<https://atlassolarrs.com/atlas-solar-ebook>>. Acesso em 02/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (GOVERNO SC). **Balço energético de Santa Catarina: setor industrial – 2006 – 2012**. 2014. Disponível em <<https://pt.slideshare.net/AscomSPG/balanco-energetico-setor-industrial>>. Acesso em 28/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SERGIPE (GOVERNO SE). **Panorama energético de Sergipe 2014 – ano base 2012.** 2014. Disponível em <<https://pt.slideshare.net/clauidiotxt/panorama-energtico-de-sergipe>>. Acesso em 28/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SERGIPE (GOVERNO SE). **Plano estratégico do governo de Sergipe 2019/2022.** 2019. Disponível em <https://www.se.gov.br/uploads/download/filename_novo/1222/92d4fd71b5ff0d129c0cd512c623f16b.pdf>. Acesso em 29/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Atlas eólico do estado de São Paulo.** 2012a. Disponível em <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/renovaveis/atlas_eolico.pdf>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Plano paulista de energia – PPE 2020.** 2012b. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/sp_ppe2020_2012.pdf>. Acesso em 10/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Energia solar paulista – levantamento do potencial.** 2013a. Disponível em <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/renovaveis/atlas_energia_solar.pdf>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Potencial hidrelétrico remanescente no estado de São Paulo – estudo preliminar.** 2013b. Disponível em <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/renovaveis/pchs/PotenciaRemanescente.pdf>>. Acesso em 09/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Anuário de energéticos do estado de São Paulo 2019 – ano base 2018.** 2019. Disponível em <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/>>. Acesso em 10/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Balanco energético do estado de São Paulo 2020 – ano base 2019**. 2020a. Disponível em <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/diversos/BalancoEnergetico.pdf>>. Acesso em 10/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Boletim energético – julho/2020**. 2020b. Disponível em <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/diversos/boletim_energetico.pdf>. Acesso em 10/09/2020.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (GOVERNO SP). **Dados energéticos**. 2020c. Disponível em <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/index.html>>. Acesso em 23/08/2020.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS (GOVERNO TO). **Atlas solarimétrico do estado do Tocantins**. 2018. Disponível em <<https://semarh.to.gov.br/energias-renovaveis/-/atlas-solarimetrico/>>. Acesso em 07/09/2020.

GRUPO DE ESTUDOS DO SETOR ELÉTRICO (GESEL). **Investimento em modernização, incentivos, financiamentos e garantias**. 2018. Fórum 2018: smart grid. Disponível em <<http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2018/nivalde.pdf>>. Acesso em 12/07/2020.

GRUPO DE TRABALHO MODERNIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO (GT MODERNIZAÇÃO). **Grupo temático “inserção de novas tecnologias” – 1º relatório (diagnóstico)**. 2019. Disponível em <<http://antigo.mme.gov.br/documents/36070/525274/Inser%C3%A7%C3%A3o+de+Novas+Tecnologias.pdf/a4089e5c-e97c-7f6b-7c7f-b317a5cbf12b>>. Acesso em 24/12/2020.

HUNT, J.D., STILPEN, D.V.S., FREITAS, M.A.V. **A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 88, pp. 208-222, 2018. Disponível em

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118300613>>, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>, acesso em 02/03/2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas históricas do Brasil: séries econômicas, demográficas e sociais de 1550 a 1998**. 1990. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/seriesestatisticasrestrospectivas/Volume%203_Estatisticas%20historicas%20do%20Brasil_series%20economicas_demograficas%20e%20sociais%20de%201550%20a%201988.pdf>. Acesso em 20/07/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas do século XX**. 2006a. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=237312>>. Acesso em 16/07/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Tabelas setoriais de energia**. 2006b. Disponível em <<https://seculoxx.ibge.gov.br/economicas/tabelas-setoriais/energia>>. Acesso em 16/07/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**: 2017. 2017. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>>. Acesso em 05/07/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal – PAM 2019**. 2020a. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em 15/09/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa da pecuária municipal – PPM 2019**. 2020b. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/referencias/brasil/2019>>. Acesso em 15/09/2020.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ESTRATÉGICO DO SETOR ENERGÉTICO (ILUMINA). **Desmonte do balanço energético nacional**. 2016. Disponível em <<https://www.ilumina.org.br/se-o-pas-tem-um-balano-energico-feito-a-cada-ano-deve-ao-articulista-joo-moreira-patusco-o-balano-energico-est-para-a-energia-assim-co/>>. Acesso em 14/07/2020.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Prioridades para a integração das fontes renováveis variáveis no sistema elétrico**. 2016. Disponível em <<http://energiaambiente.org.br/produto/prioridades-para-a-integracao-das-fontes-renovaveis-variaveis-no-sistema-eletrico>>. Acesso em 12/07/2020.

INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA (E+). **Transição energética no Brasil**. 2020a. Disponível em <<https://www.emaisenergia.org/publicacao/transicao-energetica-no-brasil>>. Acesso em 08/07/2020.

INSTITUTO E+ TRANSIÇÃO ENERGÉTICA (E+). **A reforma do setor elétrico sob a perspectiva da transição energética**. 2020b. Disponível em <<https://www.emaisenergia.org/publicacao/reforma-setor-eletrico-perspectiva-transicao-energetica/>>. Acesso em 16/09/2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen. **SIGIBA 1.0 – Sistema de Geração de Balanços Energéticos**. 2017. Registro de Computador nº BR512017000217-7. 15 Fev 2016, 06 Jun 2017. Disponível em <<https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/LoginController?action=login>>. Acesso em 06/07/2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen. **CIEEA 1.0 – Calculadora de Indicadores Energéticos, Econômicos e Sociais**. 2019. Registro de Computador nº BR512019000250-4. 05 Jan 2019, 19 Fev 2019. Disponível em <<https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/LoginController?action=login>>. Acesso em 19/03/2019.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Base de Dados do Estado - BDEweb**. 2017a. Disponível em <<http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em 03/08/2017.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Projeção da População dos Municípios do Paraná - 2018 - 2040**. 2017b. Disponível em <<http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Projecao-da-Populacao-dos-Municipios-do-Parana-2018-2040>>. Acesso em 18/09/2017.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Regiões geográficas intermediárias (IBGE) – Paraná**. 2018. Disponível em <http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/Regi%C3%B5es%20Geogr%C3%A1ficas%20Intermedi%C3%A1rias%20%28IBGE%29%20-%20Paran%C3%A1.pdf>. Acesso em 06/07/2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014 synthesis report**. 2015. Disponível em <https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em 07/02/2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Statistics Manual**. 2005. Disponível em <<https://webstore.iea.org/energy-statistics-manual>>. Acesso em 27/02/2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Re-powering markets: market design and regulation during the transition to low-carbon power systems**. 2016. Disponível em <<https://webstore.iea.org/re-powering-markets>>. Acesso em 30/06/2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **An unprecedented global health and economic crisis**. 2020a. Disponível em <<https://www.iea.org/topics/covid-19>>. Acesso em 18/07/2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Chair's summary for IEA Clean Energy Transitions Summit.** 2020b. Disponível em <<https://www.iea.org/news/chair-s-summary-for-iea-clean-energy-transitions-summit>>. Acesso em 19/07/2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Adapting market design to high shares of variable renewable energy.** 2017. Disponível em <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/May/IRENA_Adapting_Market_Design_VRE_2017.pdf>. Acesso em 07/07/2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Power system flexibility for the energy transition – Part 1: overview for policy makers.** 2018. Disponível em <<https://www.irena.org/publications/2018/Nov/Power-system-flexibility-for-the-energy-transition>>. Acesso em 12/07/2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Innovation landscape brief: future role of distribution system operators.** 2019a. Disponível em <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Landscape_Future_DSOs_2019.PDF?la=en&hash=EDEBEDD537DE4ED1D716F4342F2D55D890EA5B9A>. Acesso em 07/07/2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Innovation landscape brief: market integration of distributed energy resources.** 2019b. Disponível em <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Market_integration_distributed_system_2019.pdf?la=en&hash=2A67D3A224F1443D529935DF471D5EA1E23C774A>. Acesso em 29/06/2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **The post-COVID recovery: an agenda for resilience, development and equality.** 2020. Disponível em <<https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery>>. Acesso em 18/07/2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Solar costs**. 2021. Disponível em <<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs>>. Acesso em 31/01/2021.

ITAIPU BINACIONAL (ITAIPU). **Programa Oeste em Desenvolvimento quer acelerar economia da região**. 2014. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/programa-oeste-em-desenvolvimento-quer-acelerar-economia-da-regiao>>. Acesso em 26/09/2020.

LEITE, A.D. **A energia do Brasil**. 2014. 3ª edição. Acesso em 05/12/2020.

LOPES, M.P.C. **Usinas fotovoltaicas flutuantes como alternativa para a geração de energia e redução da evaporação em açudes do semiárido brasileiro**. 2020. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Tese_Mariana_Padilha.pdf>. Acesso em 12/06/2020.

LUCENA JÚNIOR, N.D. **Contribuições ao estudo de análises de informações dos balanços energéticos estaduais e o balanço nacional**. 2018. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, RJ, Brasil. Disponível em <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/26266>>. Acesso em 31/08/2020.

MARIANI, L.F. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil**. 2018. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/333144/1/Mariani_Leidiane_D.pdf>. Acesso em 25/08/2020.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). **Utility of the future – an MIT Energy Initiative response to an industry in transition**. 2016. Disponível em <<http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/12/Utility-of-the-Future-Full-Report.pdf>>. Acesso em 30/06/2020.

MEDINA, A.C.R. **Valoração de serviços ancilares de geradores distribuídos**. 2012. Tese de Doutorado, UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/100335>>. Acesso em 27/12/2020.

MERCEDES, S.S.P., RICO, J.A.P., POZZO, L.Y. **Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro**. *Revista USP*, n. 104, 2015. Disponível em <<https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/106750/105389>>. Acesso em 26/07/2020.

MF RURAL. **Aerador Chafariz Para Piscicultura**. 2020. Disponível em <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/259420/aerador-chafariz-para-piscicultura-1-5cv-ate-3800m2>>. Acesso em 18/09/2020.

MILK POINT. **Falta de energia elétrica prejudica produtores de leite em Três Barras do Paraná**. 2018. Disponível em <<https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/falta-de-energia-eletrica-prejudica-produtores-de-leite-em-tres-barras-do-parana-211909/>>. Acesso em 19/10/2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Conforto térmico para aves**. Comunicado técnico 365. 2004. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85833/1/DCOT-365.pdf>>. Acesso em 11/10/2020.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (ME). **A visão da SECAP sobre o setor de energia: o caso da micro e minigeração distribuída**. 2019. Disponível em <<https://www.gov.br/fazenda/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/analises-e-estudos/arquivos/2019/visao-da-secap-sobre-o-setor-de-energia-o-caso-da-micro-e-minigeracao-distribuida/view>>. Acesso em 09/01/2021.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME) / INSTITUTO DE PLANEJAMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPEA). **Matriz energética brasileira – sumário do relatório global preliminar**. 1973. Documento recebido por email, após solicitação aberta no Portal da Transparência do Ministério de Minas e Energia. Acesso em 04/09/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2006 – 2015 – PDE 2015**. 2006. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-201/topico-193/20060702_01.pdf>. Acesso em 16/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030**. 2007. Disponível em <<http://antigo.mme.gov.br/documents/36208/468569/Plano+Nacional+de+Energia+2030+%28PDF%29.pdf/b22cf6a2-8d5f-5c5b-dd3a-414381890002>>. Acesso em 16/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 – PDE 2026**. 2017. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em 15/11/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 – PDE 2029**. 2020a. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>>. Acesso em 06/07/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050**. 2020b. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>>. Acesso em 20/12/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 – PDE 2030**. 2020c. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>>.

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030__PDE_2030.pdf>. Acesso em 20/12/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 574**. 1976. Institui o Balanço Energético Nacional, documento oficial destinado a registrar o consumo energético de todo País, verificado nos últimos 10 (dez) anos. Disponível em: <http://biblioteca.aneel.gov.br/index.asp?codigo_sophia=92567>. Acesso em 31/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 776**. 1980. Altera a Portaria MME 1.221, de 11.08.1978, que criou o Comitê do Balanço Energético Nacional - COBEN, ficando alterado seus objetivos. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1980776mme.pdf>>. Acesso em 01/09/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 1.290**. 1981. Dispõe sobre o balanço energético estadual e o acompanhamento do desenvolvimento energético, consoante com o Modelo Energético Brasileiro. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt19811290mme.pdf>>. Acesso em 31/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 1.344**. 1982a. Cria, junto ao Gabinete do Ministro do Ministério das Minas e Energia - MME, o Grupo de Coordenação do Programa de Implementação do Modelo Energético Brasileiro, a nível dos Estados, Territórios e Distrito Federal. (Revogada). Acesso em 01/09/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 1.393**. 1982b. Atribui à Secretaria de Tecnologia da Secretaria Geral do Ministério das Minas e Energia - MME responsabilidades específicas, relativas à elaboração do Balanço Energético Estadual. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt19821393mme.pdf>>. Acesso em 01/09/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 631**. 1983. Amplia o prazo de vigência da Portaria MME 1.344 de 23.08.1982, que criou o grupo de coordenação do Programa de Implementação do modelo energético brasileiro a nível de Estados,

Territórios e (DF). Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1983631mme.pdf>>. Acesso em 31/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 549**. 2002. Cria a Comissão Permanente para a Consolidação dos Balanços Energéticos, com as atribuições especificadas. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2002549mme.pdf>>. Acesso em 31/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Matrizes elétricas estaduais – ano de referência 2015, 2016**. Disponível em <<http://antigo.mme.gov.br/documents/36208/462176/03+-+Matrizes+El%C3%A9tricas+Estaduais+2016+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29.pdf/61c6f67f-0057-98e2-9523-2d281cd9435e>>. Acesso em 20/08/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Consulta Pública 33/2017**. 2017. Objeto: aprimoramento do marco legal do setor elétrico – proposta de medidas legais que viabilizem o futuro do setor elétrico com sustentabilidade a longo prazo. Disponível em <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/consultas-publicas?p_p_id=consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_consultapublicammeportlet_WAR_consultapublicammeportlet_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=517270&detalharConsulta=true&entryId=517272>. Acesso em 05/11/2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Portaria nº 451**. 2020. **Aprova o Relatório do Plano Nacional de Energia 2050 - PNE 2050**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2020451mme.pdf>>. Acesso em 28/02/2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma**. 2021. Disponível em <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>>. Acesso em 14/06/2021.

NEOENERGIA. **Relatório de sustentabilidade 2018**. 2020. Disponível em <<https://www.neoenergia.com/pt-br/sustentabilidade/configuracoes/RelatSusteNeoenergia/relatorio-de-sustentabilidade-neoenergia-2018.pdf>>. Acesso em 08/07/2020.

NÚCLEO INTERDISCIPLINAR DE ESTUDOS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (NIEPE). **Plano estratégico para o desenvolvimento de energias renováveis em Mato Grosso – PEDER-MT 2050**. 2019. Disponível em <<https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-04/Plano%20Estrat%C3%A9gico%20para%20o%20Desenvolvimento%20de%20Energias%20Renov%C3%A1veis%20em%20Mato%20Grosso%20PEDER-MT%202050.pdf>>. Acesso em 30/08/2020.

O PARANÁ. **Apagões dizimam produção de peixes e aves; Copel diz que quedas “são normais”**. 2020. Disponível em <<https://oparana.com.br/noticia/apagoes-dizimam-producao-de-peixes-e-aves-copel-diz-que-quedas-sao-normais/#:~:text=COTIDIANO-,Apag%C3%B5es%20dizimam%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20peixes%20e%20aves,diz%20que%20quedas%20%E2%80%9Cs%C3%A3o%20normais%E2%80%9D&text=Nesse%20per%C3%ADodo%20em%20que%20os,%2C%20todos%20morreram%E2%80%9D%2C%20lamenta>>. Acesso em 18/10/2020.

O PRESENTE RURAL. **Dez toneladas de peixe morrem em propriedade de Marechal Rondon**. 2014. Disponível em <<https://opresenterural.com.br/dez-toneladas-de-peixe-morrem-em-propriedade-de-marechal-rondon/>>. Acesso em 18/10/2020.

O PRESENTE RURAL. **Aeradores não fazem mágica, mas quase**. 2018. Disponível em <<https://opresenterural.com.br/aeradores-nao-fazem-magica-mas-quase/#:~:text=O>>. Acesso em 18/10/2020.

ORGANIZAÇÃO LATINO – AMERICANA DE ENERGIA (OLADE). **¿Cómo el sector energético de américa latina y el caribe está actuando para enfrentar la pandemia del COVID-19?** 2020a. Disponível em <<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0450.pdf>>. Acesso em 09/01/2020.

ORGANIZAÇÃO LATINO – AMERICANA DE ENERGIA (OLADE). **Análisis de los impactos de la pandemia del COVID-19 sobre el sector energético de américa latina y el caribe.** 2020b. Disponível em <<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0452.pdf>>. Acesso em 09/01/2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Coronavirus disease - answers.** 2020. Disponível em <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/coronavirus-disease-answers?gclid=EA1aIQobChMIhJqv7Y_X6gIVSQuRCh1NdQuLEAAAYASAAEgLZnvD_BwE&query=origin+of+corona+virus&tab%20%20A6=&referrerPageUrl=https%3A%2F%2Fwww.who.int%2Femergencies%2Fdiseases%2Fnovel-coronavirus-2019%2Fcoronavirus-disease-answers>. Acesso em 18/07/2020.

PATUSCO, J.A.M. **Projeto de atuação do Ministério de Minas e Energia junto ao Conselho Nacional de Políticas Energéticas.** 2000. Disponível em <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/busca-portal-mme?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Fweb%2Fguest%2Fbusca-portal-mme%3Fkeywords%3Dbento&_101_assetEntryId=900456&_101_type=document&_101_showComments=true&_101_redirect=http%3A%2F%2Fantigo.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fbusca-portal-mme%3Fp_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_redirect%3D%252Fweb%252Fguest%252Fbusca-portal-mme%253Fkeywords%253Dbento%26_3_cur%3D1%26_3_keywords%3Dpatusco%26_3_advancedSearch%3Dfalse%26_3_groupId%3D0%26_3_delta%3D20%26_3_resetCur%3Dfalse%26_3_andOperator%3Dtrue%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch>. Acesso em 16/08/2020.

PATUSCO, J.A.M. **Balanco energético nacional – criação e utilidade.** 2005. Apresentação powerpoint. Acesso em 20/08/2020.

PERES, R.S.S. e PEREZ, F.P.M.A. **Inventário da biomassa produtora de biogás de Pernambuco.** 2016. Disponível em

<http://www.celpe.com.br/Sustentabilidade/Documents/Celpe%20-%20Projeto%20Biogas_ebook.pdf>. Acesso em 15/06/2020.

PIRES, A. **A solução 3D para o setor de energia.** 2018. Disponível em <<https://cbie.com.br/espaco-adriano-pires/a-solucao-3d-para-o-setor-de-energia/>>. Acesso em 12/07/2020.

POLIQUEZINI NETO, A. **Metodologia para planejamento energético estadual de longo prazo.** 2013. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, PR, Brasil. Disponível em <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/34696>>. Acesso em 30/08/2020.

PORTAL CORBÉLIA. **Produtores rurais jogam leite fora por conta da falta de energia elétrica.** 2019. Disponível em <<https://www.portalcorbelia.com.br/noticias/49436/0/>>. Acesso em 19/10/2020.

PORTAL MISSAL. **Mais de 70h sem energia: Copel descaso com consumidores do interior de Missal.** 2019. Disponível em <<https://www.portalmissal.com.br/noticia/1200/mais-de-70h-sem-energia--copel-descaso-com-consumidores-do-interior-de-missalNo>>. Acesso em 19/10/2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARICÁ (MARICÁ). **Contrato nº158/2020.** 2020. Disponível em <<https://www.marica.rj.gov.br/>>. Acesso em 22/08/2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO (TOLEDO). **Desenvolvimento através do biogás é uma realidade para 2020 em Toledo.** 2019. Disponível em <<https://www.toledo.pr.gov.br/noticia/desenvolvimento-atraves-do-biogas-e-uma-realidade-para-2020-em-toledo>>. Acesso em 04/07/2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO (TOLEDO). **Usina de biometano será construída em Toledo até 2021.** 2020a. Disponível em <<https://www.toledo.pr.gov.br/noticia/usina-de-biometano-sera-construida-em-toledo-ate-2021>>. Acesso em 04/07/2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO (TOLEDO). **Obras da central de bioenergia a biogás em Toledo estão previstas para agosto.** 2020b. Disponível em <<https://www.toledo.pr.gov.br/noticia/obras-da-central-de-bioenergia-a-biogas-em-toledo-estao-previstas-para-agosto>>. Acesso em 04/07/2020.

PROGRAMA OESTE EM DESENVOLVIMENTO (POD). **Plano mestre oeste em desenvolvimento.** 2016. Disponível em <<http://oestedesenvolvimento.com.br/>>. Acesso em 26/09/2020.

PROGRAMA OESTE EM DESENVOLVIMENTO (POD). **Planejamento energético da região oeste do paraná – relatório final.** 2018a. Disponível em <<http://oestedesenvolvimento.com.br/>>. Acesso em 26/09/2020.

PROGRAMA OESTE EM DESENVOLVIMENTO (POD). **Panorama socioeconmico do oeste do Paraná.** 2018b. Disponível em <<https://docplayer.com.br/73019642-Panorama-socioeconomico-do-oeste-do-parana.html>>. Acesso em 26/09/2020.

PROGRAMA OESTE EM DESENVOLVIMENTO (POD). **Oeste do Paraná em números.** 2018c. Disponível em <<https://179.106.229.30/forum/noticias/oeste-em-desenvolvimento-apresenta-numeros-socioeconomicos-da-regiao>>. Acesso em 26/09/2020.

PROGRAMA OESTE EM DESENVOLVIMENTO (POD). **O Programa.** 2020. Disponível em <<http://oestedesenvolvimento.com.br/o-programa>>. Acesso em 26/09/2020.

PROJETO BRASIL–ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL (PROBIOGÁS). **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o brasil substratos, digestores e uso de biogás.** 2015. 1^a edio. Disponível em <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>>. Acesso em 07/02/2021.

PROJETO BRASIL – ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL (PROBIOGÁS). **Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil**. 2016. 1ª edição. Disponível em <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/giz_barreiras_digital_simples.pdf>. Acesso em 09/02/2021.

RURAL PECUÁRIA. **Projeto busca melhorar a criação de frangos em aviários**. 2016. Disponível em <<https://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/avicultura/projeto-busca-melhorar-a-criacao-de-frangos-em-aviarios.html>>. Acesso em 15/09/2020.

RURAL PECUÁRIA. **O que esperar do mercado do leite em 2018?** 2018. Disponível em <<http://ruralpecuaria.com.br/noticia/o-que-esperar-do-mercado-do-leite-em-2018.html>>. Acesso em 18/10/2020.

SALES, C., UHLIG, A. **A energia renovável variável**. 2017. Disponível em <<http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/sales90.pdf>>. Acesso em 12/07/2020.

SEBIGAS CÓTICA. **New Holland apresenta novo trator a biometano**. 2018. Disponível em <<http://sebigascotica.com.br/noticias/trator-biometano-biogas.html>>. Acesso em 13/12/2020.

SIEMENS. **Sim, a pandemia pode levar a transição energética a um novo começo. O que farão os decisores políticos?** 2020. Disponível em <<https://new.siemens.com/br/pt/empresa/stories/transicao-energetica/pandemia-pode-levar-a-transicao-energetica-a-um-novo-comeco.html>>. Acesso em 19/07/2020.

SIOSHANSI, F.P. **Demand-side management: the third wave**. *Energy Policy*, v. 23, n. 2, 1995. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0301421595914148?via%3Dihub>>. Acesso em 26/06/2016.

SISTEMA FAEP. **Energia elétrica ainda se impõe como gargalo no campo**. 2019. Disponível em <<https://sistemafaep.org.br/energia-eletrica-ainda-se-impoe-como-gargalo-no-campo/>>. Acesso em 19/10/2020.

STILPEN, D.V.S. **Regional energy planning in Brazil – methodological contributions to the Brazilian regulatory framework.** 2015. *Pôster no DAAD Seminar for PhD scholars from Brazil.*

STILPEN, D.V.S., CHENG, V. **Electricity supply crisis in Brazil: Problems and Opportunities.** 2015a. *10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES).* Dubrovnik.

STILPEN, D.V.S., CHENG, V. **Solar photovoltaics in Brazil: A promising renewable energy market.** 2015b. *3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC).* Marrakech. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7455077>>, doi: 10.1109/IRSEC.2015.7455077, acesso em 17/05/2020.

STILPEN, M.R., STILPEN, D.V.S., MARIANI, L.F. **Análise do programa Renovabio no âmbito do setor de biogás e biometano do Brasil.** *Revista Brasileira de Energia*, v. 24, n. 04, 2018. Disponível em <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/441>>. Acesso em 28/12/2020.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Sudene: iniciadas as discussões para elaboração do balanço energético do Nordeste.** 2011. Disponível em <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/sudene-iniciadas-as-discussoes-para-elaboracao-do-balanco-energetico-do-nordeste>>. Acesso em 16/08/2020.

SWECO. **Study on the effective integration of distributed energy resources for providing flexibility to the electricity system – final report to the European commission.** 2015. Disponível em <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/5469759000%20Effective%20integration%20of%20DER%20Final%20ver%20_6%20April%202015.pdf>. Acesso em 07/07/2020.

UNITED NATIONS (UN). **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development.** 2015a. Disponível em

<<https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>>. Acesso em 05/07/2020.

UNITED NATIONS (UN). **Paris Agreement**. 2015b. Disponível em <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em 10/02/2021.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Using distributed energy resources: a how-to guide for federal facility managers**. 2002. Disponível em <<https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31570.pdf>>. Acesso em 29/06/2020.

WORLD BANK. **Primer on demand-side management: with an emphasis on price-responsive programs**. 2005. Disponível em <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/8252/689720ESW0P0890agement0000020230050.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 26/06/2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Fostering effective energy transition – 2019 edition**. 2019. Disponível em <http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2019.pdf>. Acesso em 08/07/2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard**. 2021. Disponível em <<https://covid19.who.int/>>. Acesso em 13/06/2021.

WORLD WILD FUND (WWF – BRASIL). **Potencial de aproveitamento de energia renovável no estado do Acre**. 2016. Disponível em <https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/9out16_rel_acre_completo.pdf>. Acesso em 04/09/2020.

ZANETTE, A.L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Andr%C3%A9_Luiz_Zanette.pdf>. Acesso em 16/11/2020.

APÊNDICE I – Metodologia do Sistema de Geração de Balanços Energéticos – SIGEBA 1.0

O SIGEBA 1.0 é uma ferramenta computacional de desagregação *top down* da matriz energética brasileira, com registro no INPI nº BR512017000217-7 (vide Anexo XI). Trata-se de uma planilha em Excel com mais de uma centena de abas. Como resultado são geradas 27 matrizes energéticas estaduais e 5 matrizes energéticas regionais, elaboradas com a mesma metodologia do BEN.

O modelo computacional se baseia no nível de atividade de cada setor consumidor (produção física na indústria, frota por tipo e modal, quantidade de empregados no comércio/serviços e população). Assim foi possível evitar simplificações meramente com variáveis econômicas (como valor adicionado), que trariam fragilidade metodológica e tenderiam a causar maior imprecisão nos resultados.

A ferramenta tem mais de 1.000 tabelas distribuídas e 107 abas, sendo que a entrada de dados é feita até a aba 39. Daí em diante é iniciado o processo de desagregação *top down*, para posterior calibração:

- Aba 1: entrada de dados de população;
- Abas 2 até 9: entrada de dados de oferta de energia (petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, eletricidade, produtos da cana, lenha & outras fontes primárias);
- Abas 10 até 19: entrada de dados de centros de transformação (refinarias de petróleo, UPGNs, usinas de gaseificação, coquearias, ciclo do combustível nuclear, centrais elétricas de serviço público, centrais elétricas autoprodutoras, carvoarias, destilarias, outras transformações);
- Abas 20 até 38: entrada de dados de setores consumidores (residências, comércio/serviços, setor público, agropecuário, transportes e indústria);
- Abas 39: inserção da matriz nacional (BEN);
- Aba 40: filtro lógico que registra quais centros de transformação e que tipos de indústria existem em cada unidade da federação;
- Abas 41 até 67: matrizes estaduais calculadas pelo programa (*top down*);
- Abas 68 até 72: matrizes regionais calculadas pelo programa (*top down*);
- Abas 73 até 74: calibração de parâmetros e resultados;
- Abas 75 até 102: matrizes estaduais obtidas pelo método tradicional (*bottom up*);
- Abas 103 até 107: matrizes regionais obtidas pelo método tradicional (*bottom up*).

A Figura 57 mostra o algoritmo que estruturou o desenvolvimento do SIGEBA:

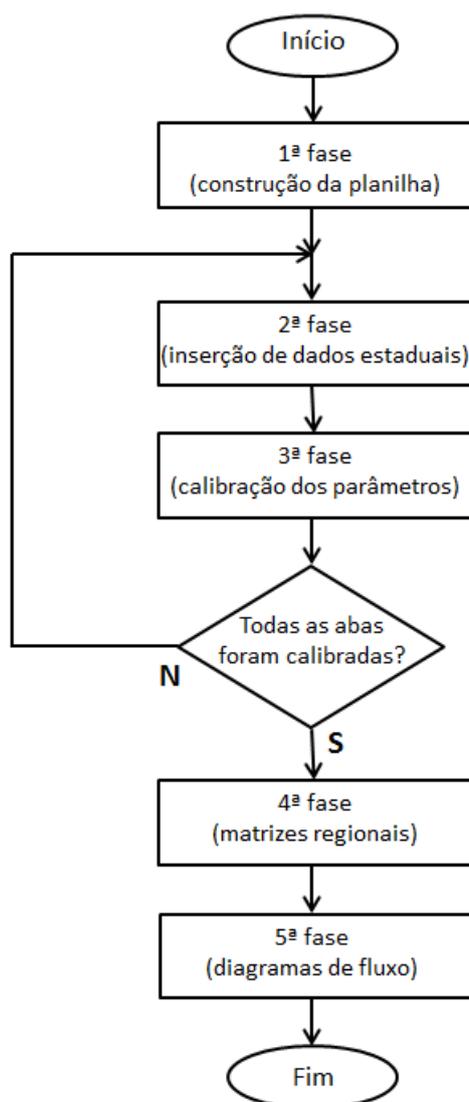


Figura 57 – Macro Etapas de Desenvolvimento do SIGEBA 1.0

Fonte: elaboração própria, 2016

O filtro lógico anteriormente mencionado funciona com operadores booleanos⁹⁴ que definirão quais centros de transformação e que tipos de indústria existem em cada unidade da federação. O objetivo desta filtragem é apenas segregar os estados que têm um determinado tipo de indústria ou centro de transformação daqueles estados nos quais o mesmo inexistente e que, portanto, ficam fora do rateio da energia consumida por aquele tipo de instalação.

⁹⁴ São utilizados os operadores “0” e “1”, que tradicionalmente representam as condições “falso” e “verdadeiro” (respectivamente). Neste caso específico os mesmos operadores significarão “não existe” e “existe”, nesta ordem.

[FILTRO LÓGICO]	REGIÃO SUDESTE				REGIÃO SUL			REGIÃO CENTRO OESTE				REGIÃO NORDESTE							REGIÃO NORTE									
	ESPIRITO SANTO	MINAS GERAIS	RIO DE JANEIRO	SÃO PAULO	PARANÁ	RIO GRANDE DO SUL	SANTA CATARINA	DISTRITO FEDERAL	GOIÁS	MATO GROSSO	MATO GROSSO DO SUL	ALAGOAS	BAHIA	CEARÁ	MARANHÃO	PARAÍBA	PERNAMBUCO	PIAUÍ	RIO GRANDE DO NORTE	SERGIPE	ACRE	AMAPÁ	AMAZONAS	PARÁ	RONDÔNIA	RORAIMA	TOCANTINS	
PRODUÇÃO																												
IMPORTAÇÃO																												
VARIÇÃO DE ESTOQUES																												
OFERTA TOTAL																												
EXPORTAÇÃO																												
NÃO-APROVEITADA																												
REINJEÇÃO																												
OFERTA INTERNA BRUTA																												
TOTAL TRANSFORMAÇÃO																												
REFINARIAS DE PETRÓLEO																												
PLANTAS DE GAS NATURAL																												
USINAS DE GASEIFICAÇÃO																												
COQUEARIAS																												
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR																												
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO																												
CENTRAIS ELÉTRICAS AUTOPRODUTORAS																												
CARVOARIAS																												
DESTILARIAS																												
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES																												
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM																												
CONSUMO FINAL																												
CONSUMO FINAL NÃO-ENERGÉTICO																												
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO																												
SETOR ENERGÉTICO																												
RESIDENCIAL																												
COMERCIAL																												
PÚBLICO																												
AGROPECUÁRIO																												
TRANSPORTES - TOTAL																												
RODOVIÁRIO																												
FERROVIÁRIO																												
AÉREO																												
HIDROVIÁRIO																												
INDUSTRIAL - TOTAL																												
CIMENTO																												
FERRO-LIGAS E AÇO																												
FERRO-LIGAS																												
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO																												
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA																												
QUÍMICA																												
ALIMENTOS E BEBIDAS																												
TÊXTIL																												
PAPEL E CELULOSE																												
CERÂMICA																												
OUTROS																												
CONSUMO NÃO-IDENTIFICADO																												
AJUSTES																												

Figura 58 – Filtro Lógico para Centros de Transformação, Setor Energético e Segmentos Industriais

Fonte: elaboração própria, 2015

Neste ponto cabe explicar a questão de fronteira em um estudo energético de âmbito regional. Na maioria das vezes é muito difícil obter informações precisas a respeito do fluxo de energéticos entre dois municípios vizinhos ou mesmo entre dois estados limítrofes.

Um exemplo seria um estado que produz gasolina e vende para outro estado vizinho (ambos pertencentes à mesma região geográfica). Nas matrizes estaduais, essa transação comercial seria registrada como exportação do estado produtor e importação no outro, mas nos balanços regional e nacional estas operações do bloco de oferta não apareceriam. De forma análoga a questão se repete quando a análise é feita em nível municipal, inclusive com maior grau de complexidade.

Em razão da dificuldade de segregação das parcelas de importação, exportação e variação de estoques quando o limite geográfico é estadual regional ou municipal, o bloco de oferta foi ligeiramente adaptado: criou-se uma variável de ajuste, que algebricamente equivale à diferença entre importação, exportação e variação de estoques. Pode-se dizer que esta foi a única modificação na estrutura da matriz energética, em comparação com a edição nacional publicada pela EPE.

A calibração do modelo SIGEBA foi realizada para o ano base 2013, comparando os resultados com outras 32 matrizes construídas pelo método *bottom up*, sendo que a margem de erro admissível foi 10,0%.

Para isto foram analisados os 8 parâmetros mais importantes de uma matriz energética: oferta interna de energia, total da transformação, consumo final, consumo final não energético, consumo residencial, consumo agropecuário, consumo em transportes e consumo industrial.

A Tabela 36 e a Tabela 37 apresentam os desvios dos 256 indicadores analisados (8 parâmetros x 32 matrizes), comprovando que o desvio máximo encontrado foi de 6,9%. Mais especificamente, somente em 3 casos o desvio foi superior a 5,0%.

No âmbito da presente tese de doutorado o SIGEBA foi utilizado duas vezes. Primeiramente para inserir os indicadores estaduais do Paraná, a partir de dados do Ipardes, e calibrar o resultado da matriz energética *bottom up*. Em seguida foram inseridos dados primários com detalhamento municipal para obtenção da matriz energética na região delimitada pelas 54 cidades da mesorregião oeste. Como em ambos casos os resultados foram satisfatórios, dentro dos critérios de validação estipulados, as matrizes energéticas foram aprovadas.

Tabela 36 – Calibração da ferramenta SIGEBA 1.0 para matrizes estaduais

Ano = 2013		% Desvio (Top down/bottom up)							
REGIÃO	ESTADO	Oferta de energia	Total da transformação	Consumo final	Consumo final não energético	Consumo residencial	Consumo agropecuário	Consumo em transportes	Consumo industrial
Sudeste	ES	-0,1%	0,0%	-0,7%	-0,6%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%
	MG	0,2%	-0,6%	-0,1%	-0,6%	0,1%	-0,2%	0,7%	-0,3%
	RJ	-0,1%	-0,4%	-0,5%	-0,6%	1,4%	-0,3%	0,7%	0,0%
	SP	-0,1%	-2,2%	-0,2%	-0,3%	1,2%	0,1%	1,3%	0,0%
Sul	PR	0,4%	-0,5%	0,2%	1,6%	0,1%	0,0%	0,9%	-0,3%
	RS	1,4%	1,8%	1,1%	0,3%	0,1%	0,0%	0,5%	-0,4%
	SC	0,7%	0,3%	0,4%	1,9%	0,0%	-0,3%	0,6%	-0,4%
Centro-oeste	DF	1,9%	0,0%	1,6%	-0,1%	1,6%	-0,1%	0,6%	0,2%
	GO	0,7%	5,3%	0,0%	-0,1%	0,7%	0,0%	1,2%	-0,5%
	MT	1,5%	5,4%	0,6%	0,0%	-0,3%	0,2%	1,2%	0,0%
	MS	1,3%	1,2%	0,2%	0,0%	0,2%	0,1%	0,7%	0,0%
Nordeste	AL	1,9%	0,0%	0,6%	-0,4%	-1,2%	0,1%	0,7%	-0,1%
	BA	1,8%	-0,7%	1,6%	-0,1%	-1,3%	0,1%	0,7%	0,0%
	CE	1,2%	0,3%	1,1%	-0,4%	-1,1%	0,1%	0,6%	0,2%
	MA	2,5%	0,0%	1,7%	-0,4%	-2,2%	0,2%	0,6%	3,0%
	PB	1,2%	0,0%	1,0%	-0,4%	-1,0%	0,0%	0,8%	0,1%
	PE	0,7%	0,0%	0,4%	-0,4%	-0,5%	-0,1%	0,7%	0,0%
	PI	3,0%	0,0%	1,8%	-0,4%	-1,9%	0,2%	0,6%	0,1%
	RN	2,9%	-0,9%	3,2%	-0,4%	-0,7%	0,0%	0,7%	0,1%
SE	0,2%	0,0%	-0,1%	-0,1%	-1,1%	0,0%	0,7%	0,0%	
Norte	AC	2,2%	0,0%	1,6%	1,5%	-1,2%	-0,1%	0,6%	-1,3%
	AP	3,4%	0,0%	1,7%	1,5%	0,7%	-0,1%	0,6%	-0,2%
	AM	2,3%	-0,4%	1,2%	1,5%	-0,6%	-0,1%	0,5%	0,1%
	PA	4,7%	0,0%	1,7%	1,5%	-1,8%	-0,1%	0,5%	1,5%
	RO	2,1%	0,3%	1,5%	1,5%	-0,9%	-0,3%	0,5%	-0,4%
	RR	1,4%	0,0%	1,2%	1,5%	-0,7%	0,1%	0,5%	-2,3%
	TO	2,9%	6,9%	1,7%	1,4%	-0,6%	0,0%	0,7%	-0,1%

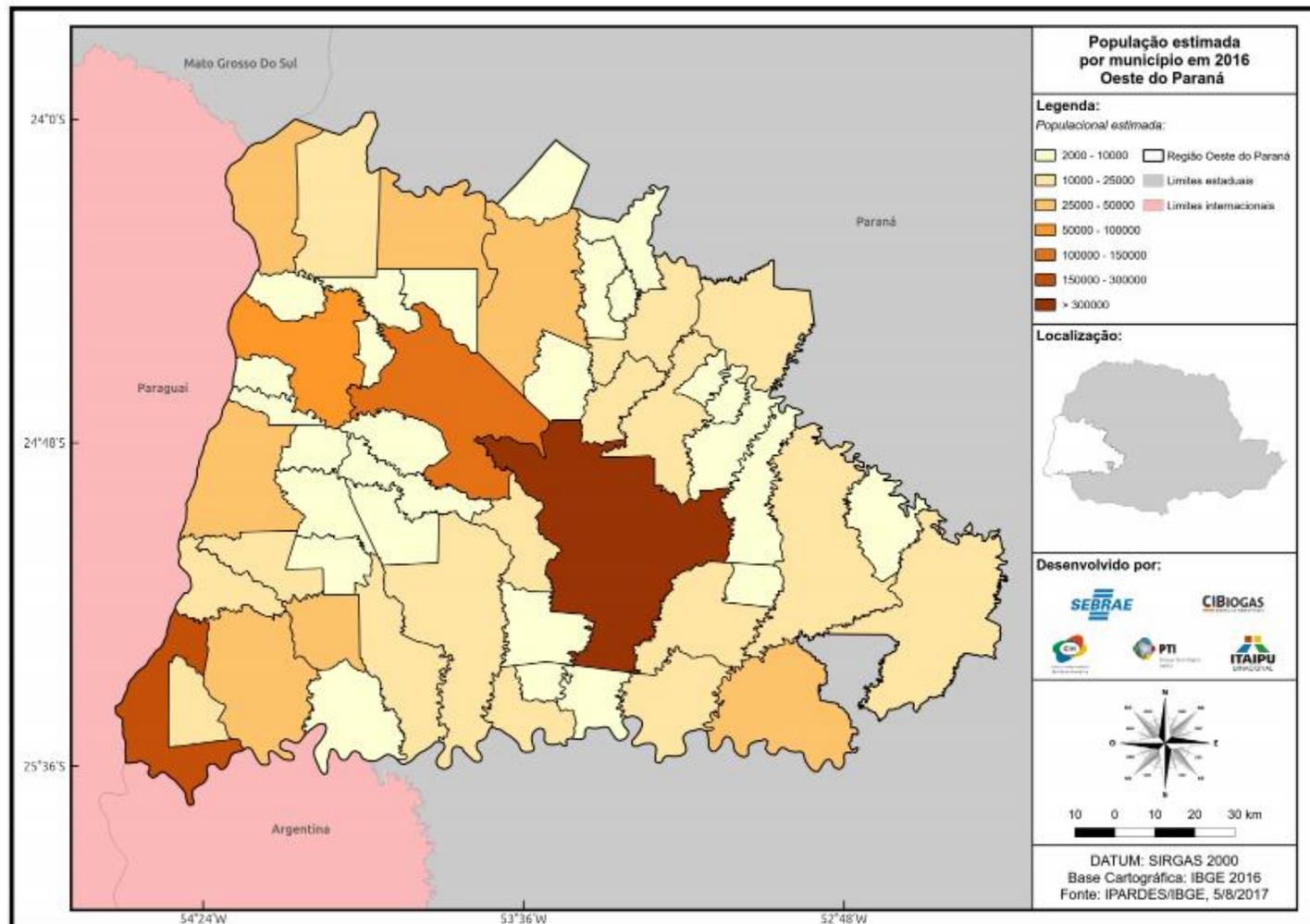
Fonte: elaboração própria, 2015

Tabela 37 – Calibração da ferramenta SIGEBA 1.0 para matrizes regionais

Ano = 2013	% Desvio (Top down/bottom up)							
REGIÃO	Oferta de energia	Total da transformação	Consumo final	Consumo final não energético	Consumo residencial	Consumo agropecuário	Consumo em transportes	Consumo industrial
Sudeste (TD/BU)	0,0%	-0,9%	-0,3%	-0,4%	1,0%	-0,1%	1,0%	-0,1%
Sul (TD/BU)	0,9%	0,9%	0,6%	0,6%	0,1%	-0,1%	0,7%	-0,4%
Centro-Oeste (TD/BU)	1,2%	3,5%	0,4%	-0,1%	0,5%	0,1%	1,0%	-0,2%
Nordeste (TD/BU)	1,7%	-0,2%	1,3%	-0,2%	-1,2%	0,1%	0,7%	0,5%
Norte (TD/BU)	3,5%	0,0%	1,6%	1,5%	-1,2%	-0,1%	0,5%	1,2%

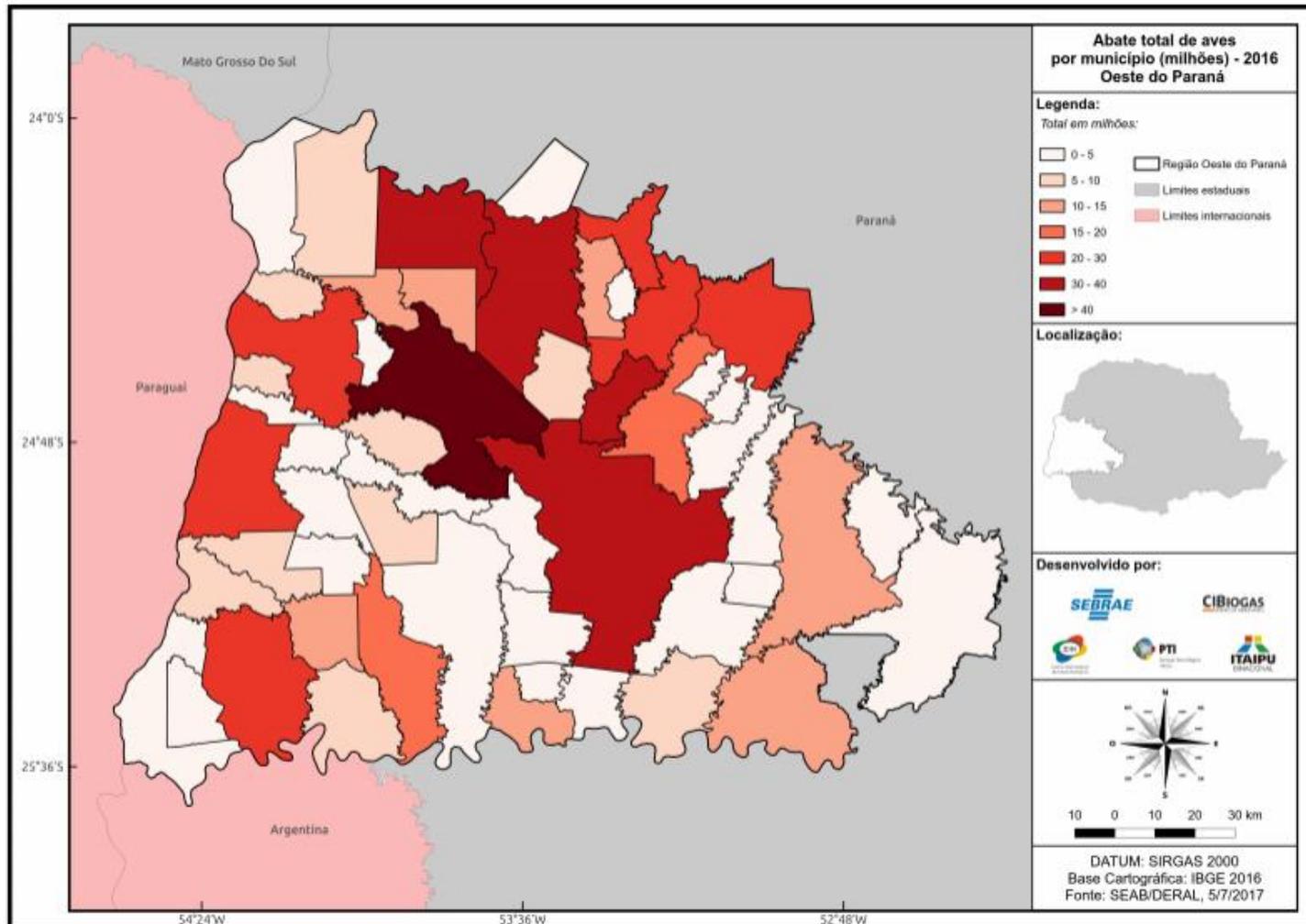
Fonte: elaboração própria, 2015

ANEXO I – População estimada para 2016 na região oeste do Paraná (habitantes)



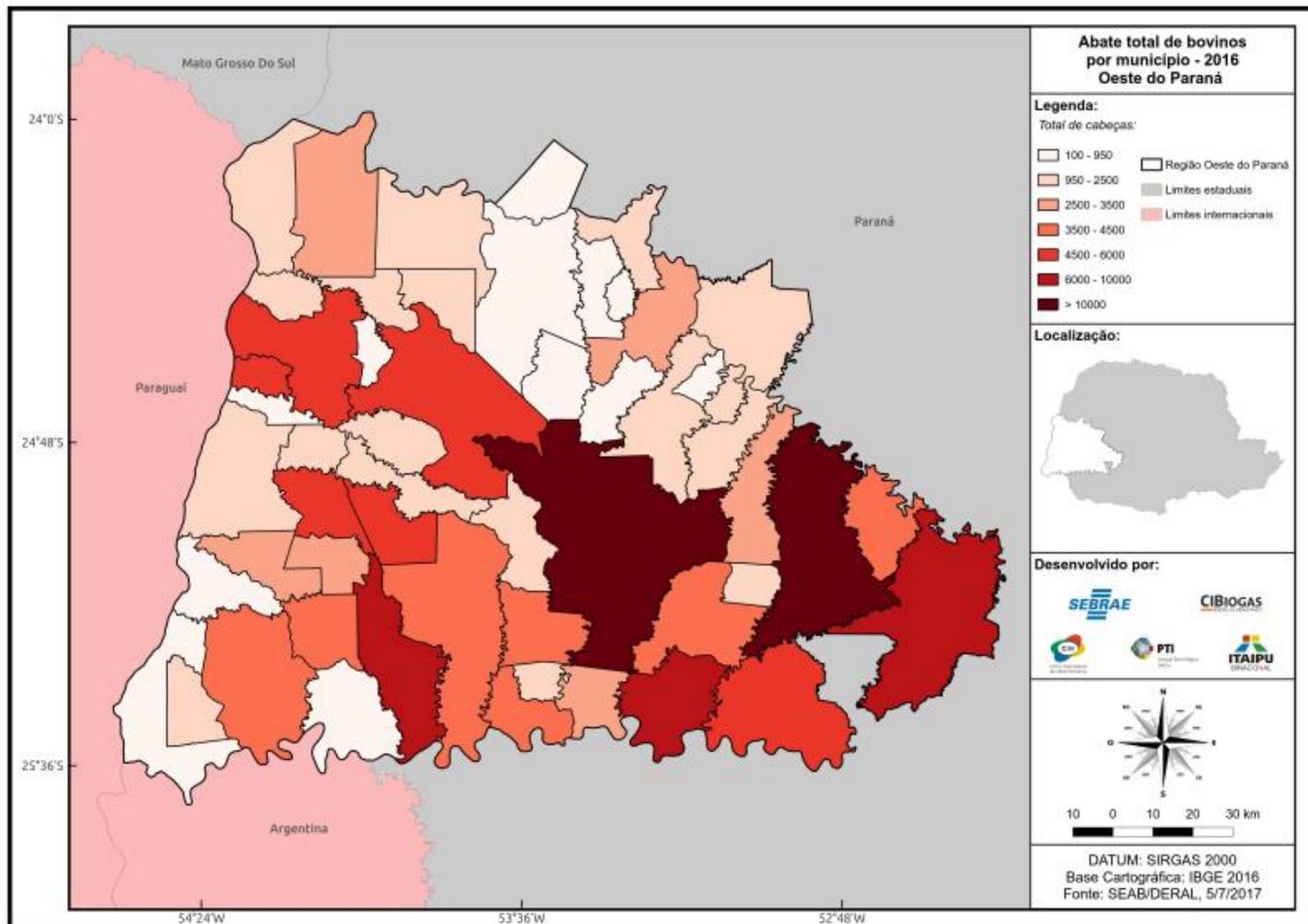
Fonte: POD, 2018a

ANEXO II – Abate de aves na região oeste do Paraná em 2016 (milhões de cabeças)



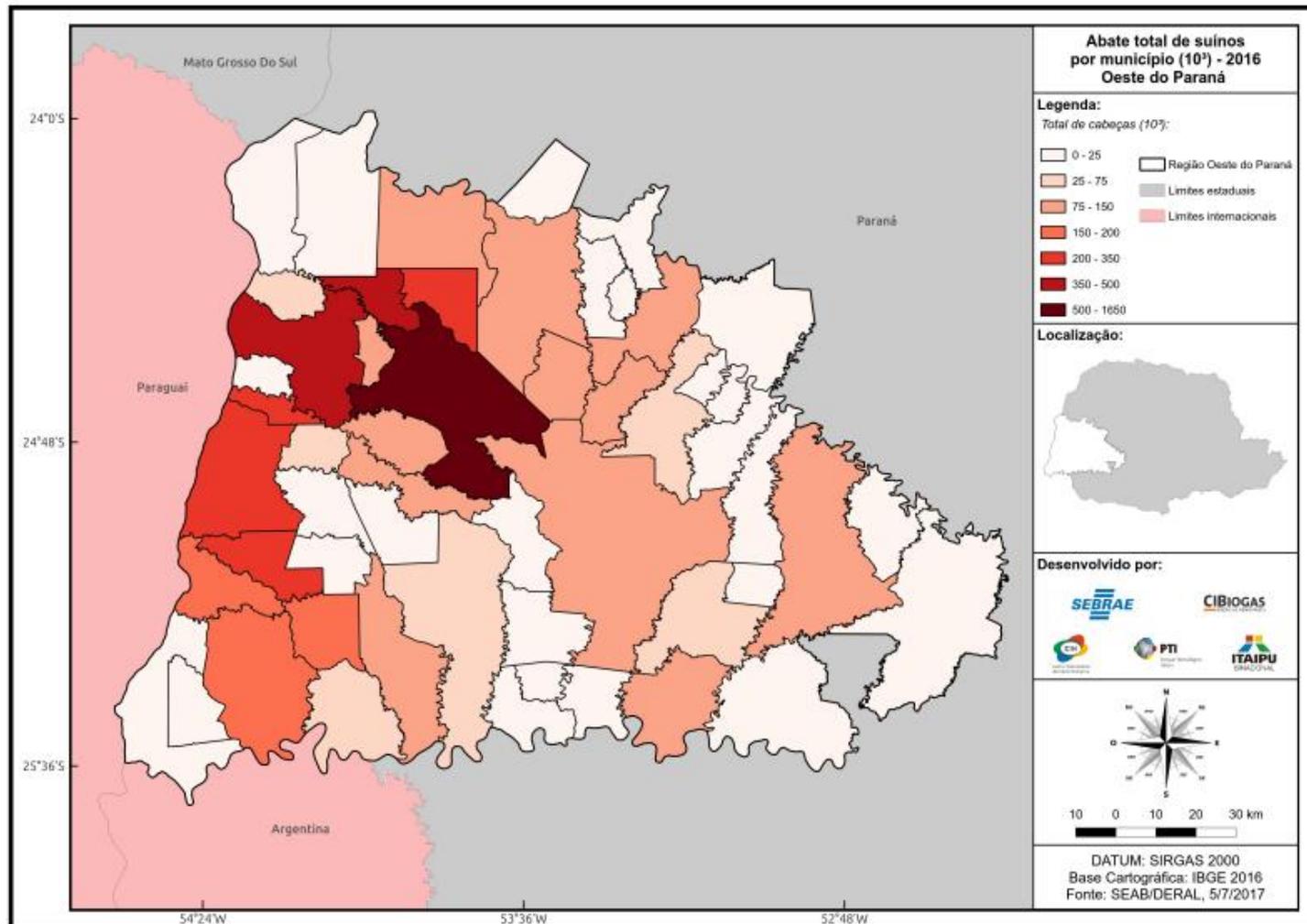
Fonte: POD, 2018a

ANEXO III – Abate de bovinos na região oeste do Paraná em 2016 (cabeças)



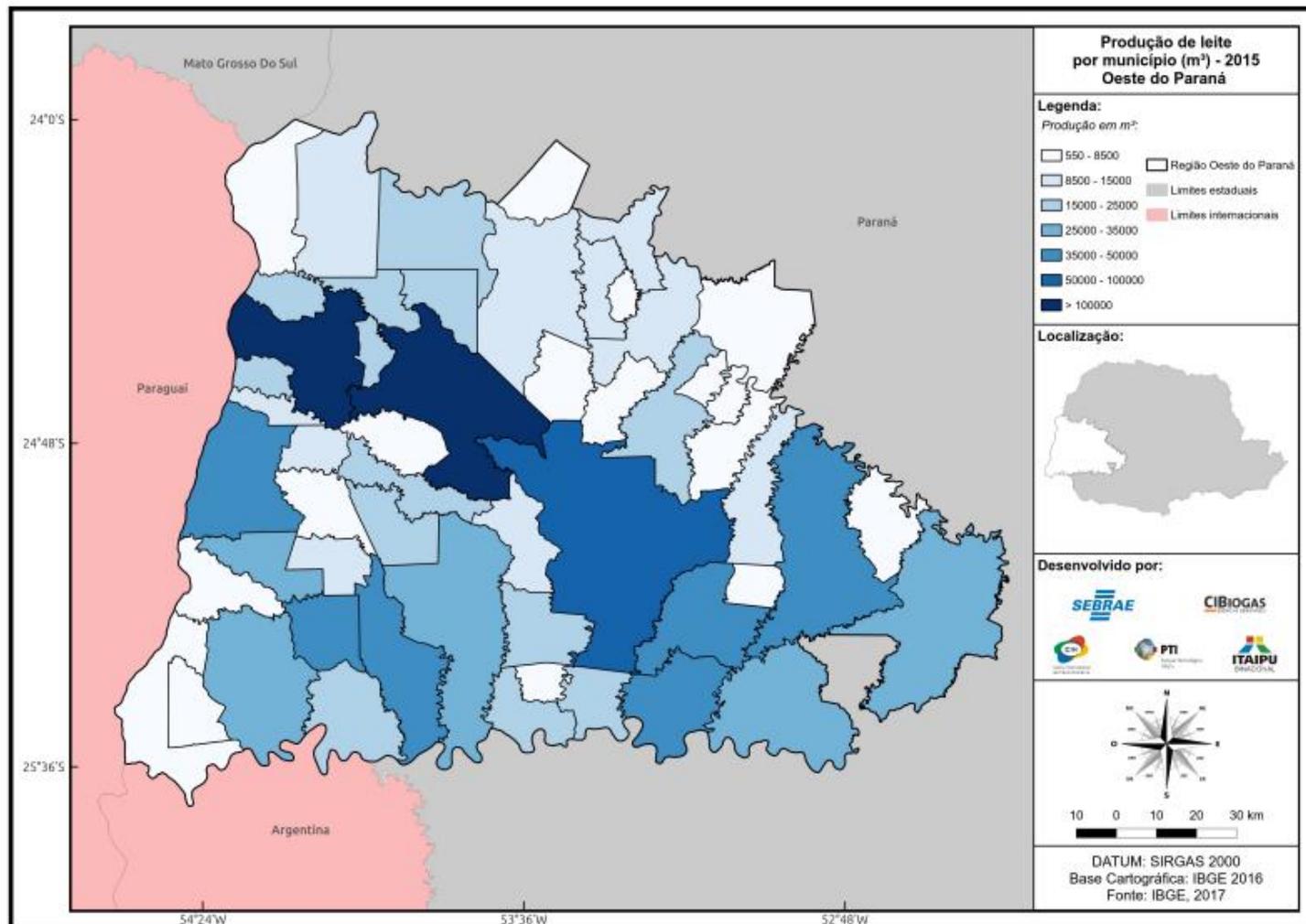
Fonte: POD, 2018a

ANEXO IV – Abate de suínos na região oeste do Paraná em 2016 (milhares de cabeças)



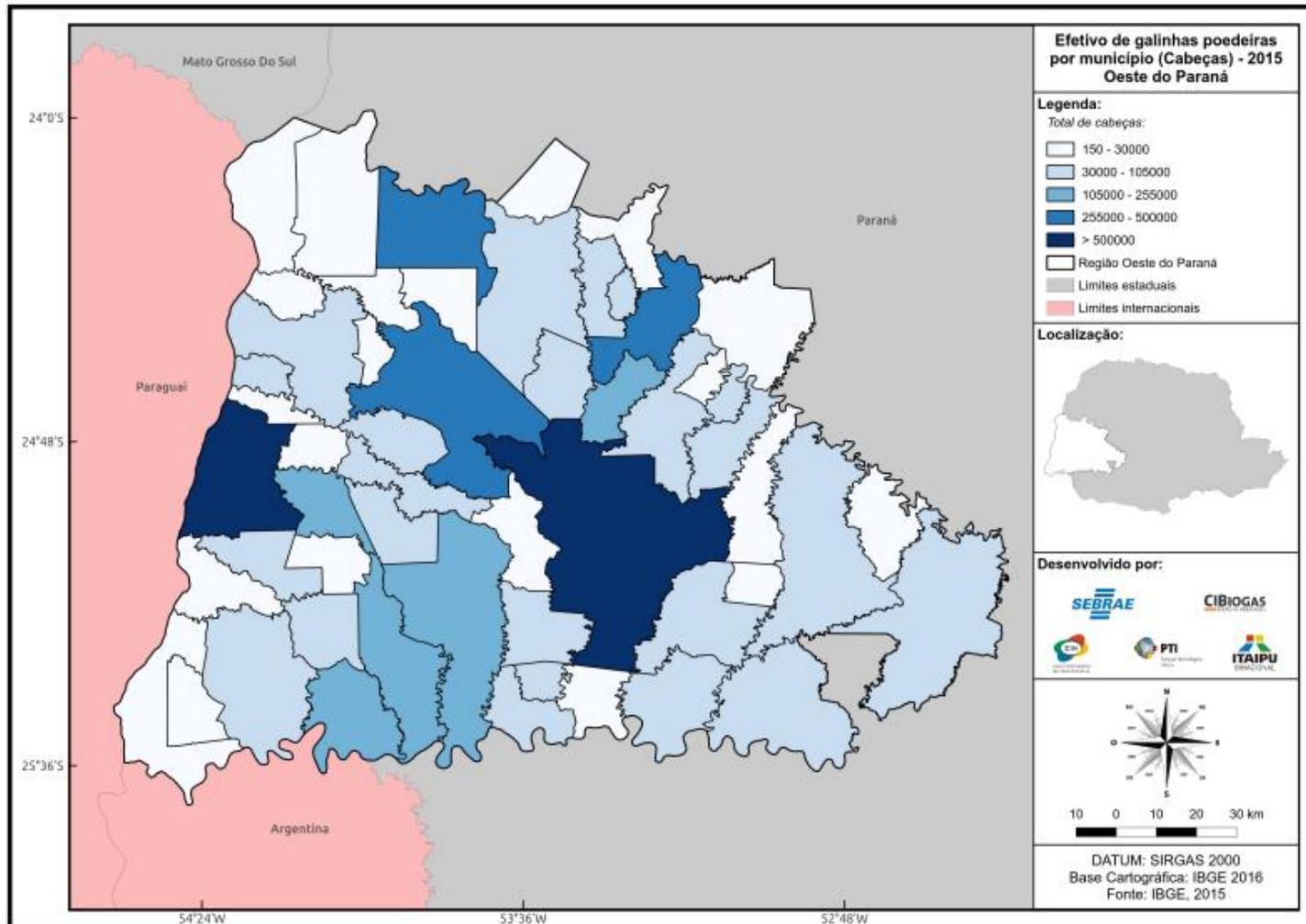
Fonte: POD, 2018a

ANEXO V – Produção de leite na região oeste do Paraná em 2016 (metros cúbicos)



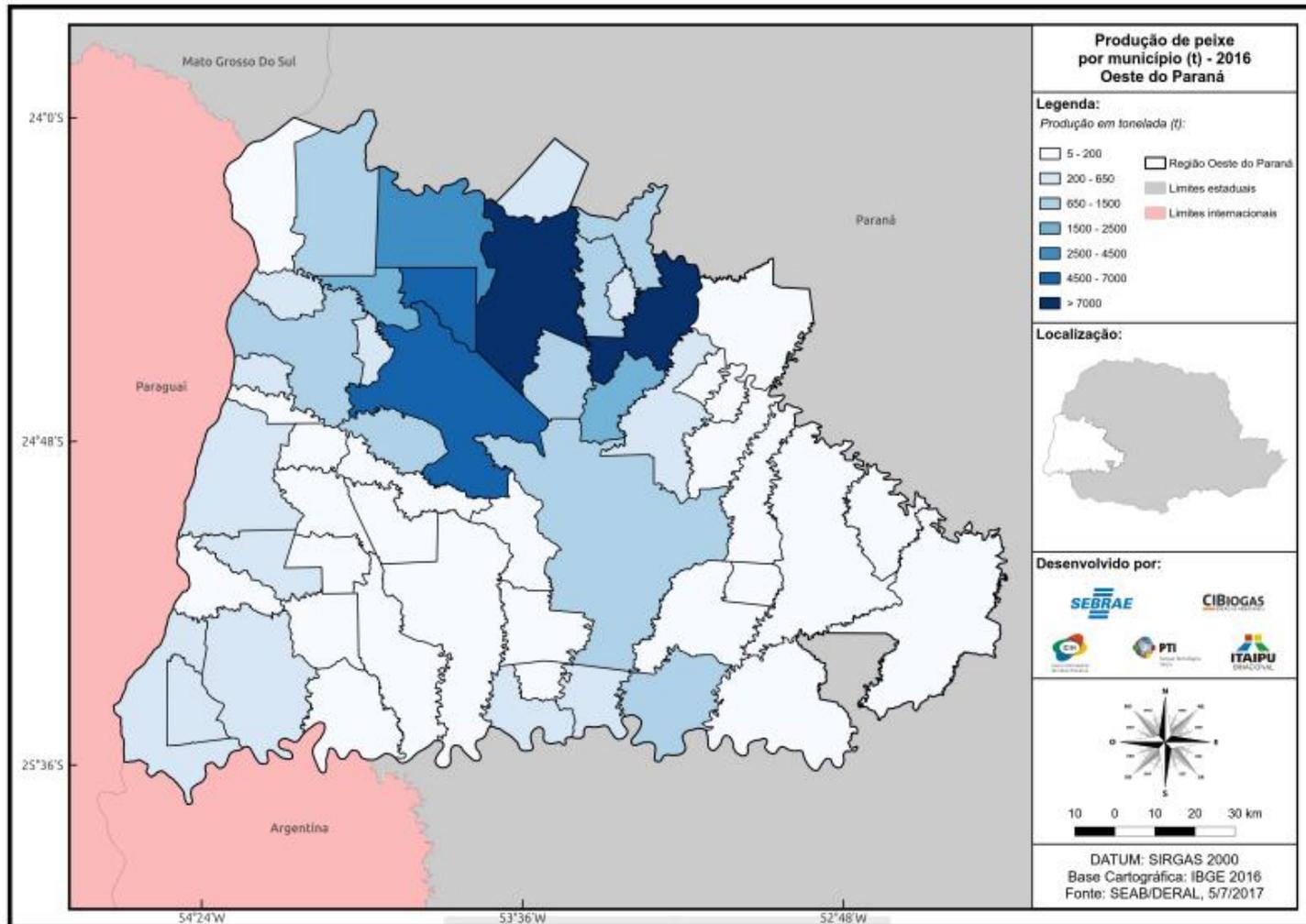
Fonte: POD, 2018a

ANEXO VI – Efetivo de galinhas poedeiras na região oeste do Paraná em 2015 (cabeças)



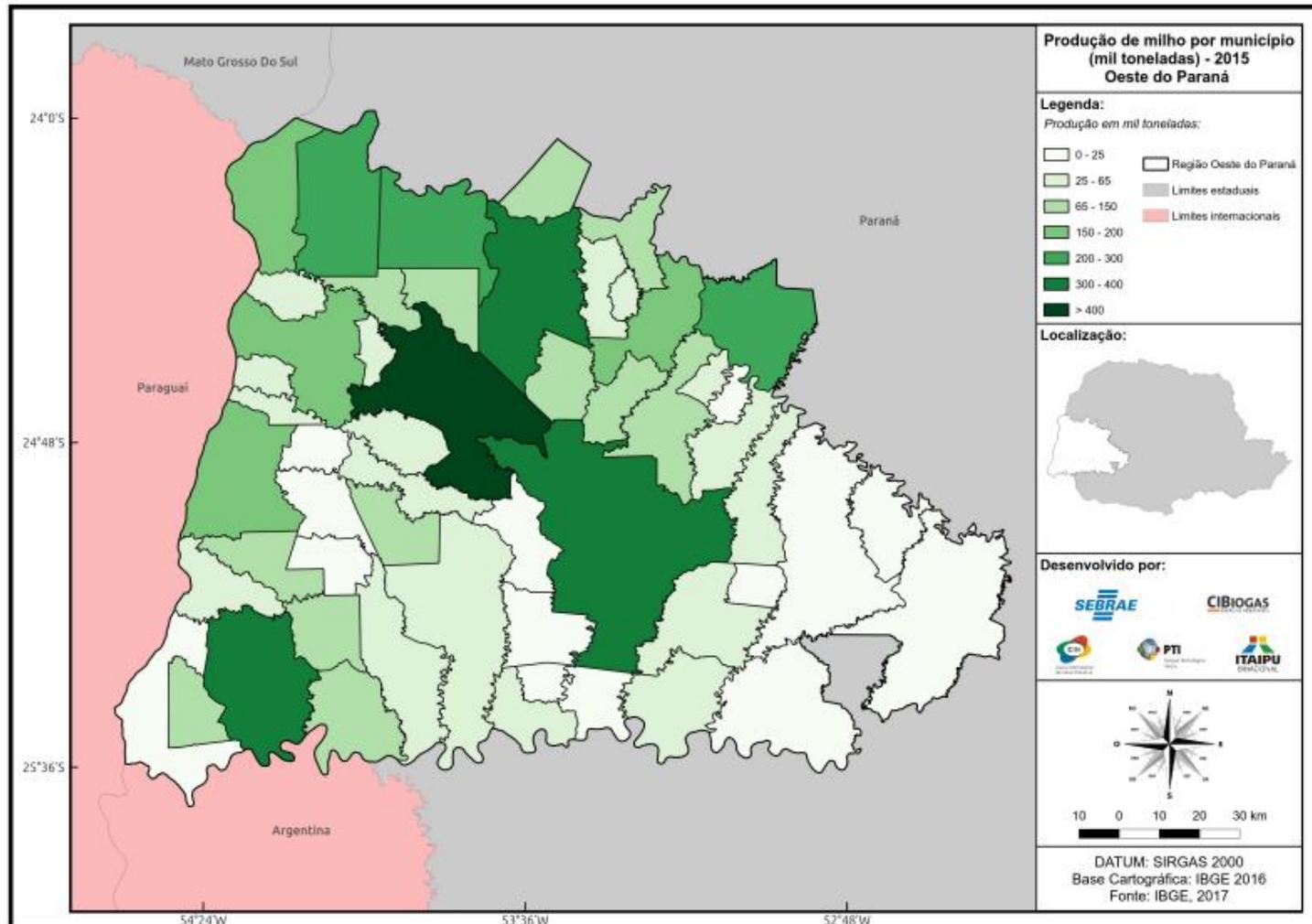
Fonte: POD, 2018a

ANEXO VII – Produção de peixes na região oeste do Paraná em 2016 (toneladas)



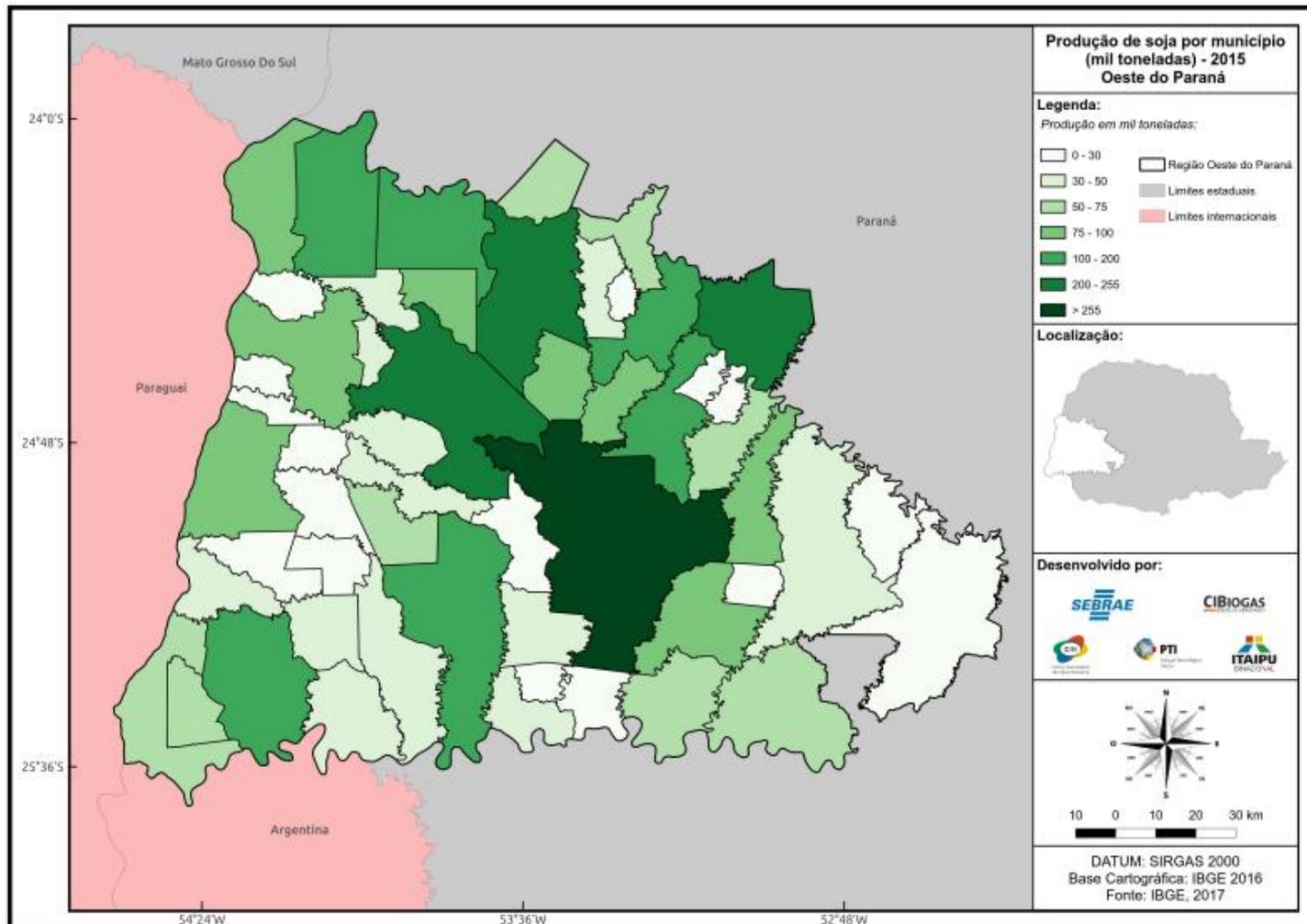
Fonte: POD, 2018a

ANEXO VIII – Produção de milho na região oeste do Paraná em 2015 (mil toneladas)



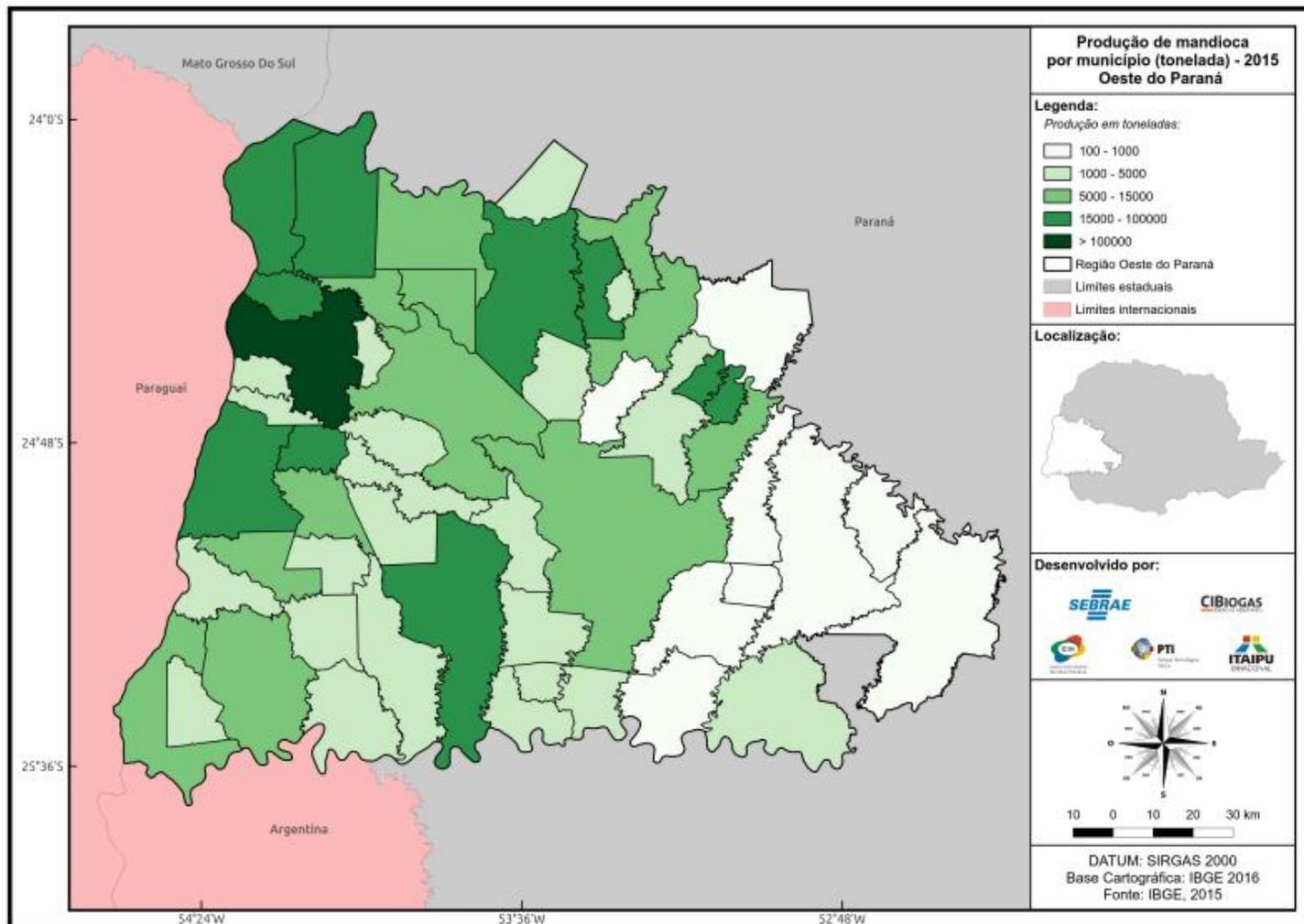
Fonte: POD, 2018a

ANEXO IX – Produção de soja na região oeste do Paraná em 2015 (mil toneladas)



Fonte: POD, 2018a

ANEXO X – Produção de mandioca na região oeste do Paraná em 2015 (toneladas)



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XI - Registro de Programa de Computador SIGEBA 1.0 no INPI



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
Ministério Da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Certificado de Registro de Programas de Computador

Processo nº: BR 51 2017 000217-7

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de Registro de Programas de Computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de Criação: 15 de fevereiro de 2016, em conformidade com o parágrafo 2º, artigo 2º da Lei Nº 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: **SIGEBA 1.0 - SISTEMA DE GERAÇÃO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS**

Data de Criação: 15 de fevereiro de 2016

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (33.663.683/0001-16), Endereço: AV. PEDRO CALMON, 550 - PRÉDIO DA REITORIA, 2º ANDAR - ILHA DO FUNDÃO, RIO DE JANEIRO, RJ, 21941901
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (33.663.683/0001-16), Endereço: AV. PEDRO CALMON, 550 - PRÉDIO DA REITORIA, 2º ANDAR - ILHA DO FUNDÃO, RIO DE JANEIRO, RJ, 21941901
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (33.663.683/0001-16), Endereço: AV. PEDRO CALMON, 550 - PRÉDIO DA REITORIA, 2º ANDAR - ILHA DO FUNDÃO, RIO DE JANEIRO, RJ, 21941901

Autor(es): DANIEL VASCONCELLOS DE SOUSA STILPEN (090.778.037-77), Endereço: RUA DOUTOR SATAMINNI, 210/305 - BL. B TIJUCA, RIO DE JANEIRO, RJ, 20270231

Linguagem: EXCEL

Campo de Aplicação: EN-01, EN-02, EN-03, EN-04

Tipo Programa: FA-03, TC-01

Expedido em: 06 de junho de 2017

Aprovado por Julio Cesar Castelo Branco Reis Moreira

Julio Cesar Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



Fonte: INPI, 2017

ANEXO XII – Balanço Energético do estado do Paraná – ano base 2016

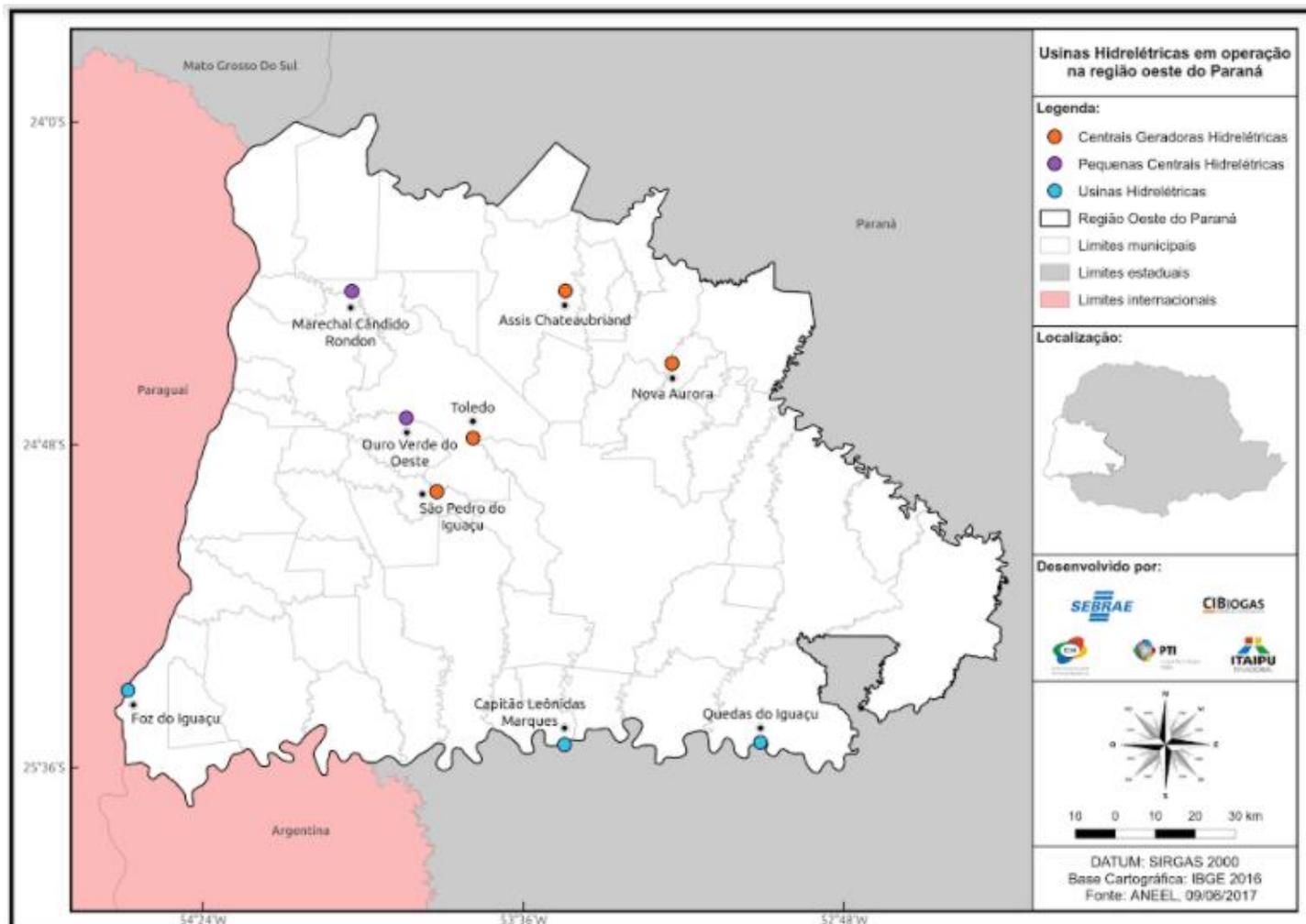


BALANÇO ENERGÉTICO DO PARANÁ
ano base 2016
[unidade: 10³ tep]

FLUXOS	FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA										SUBTOTAL DAS FONTES PRIMÁRIAS	FONTES SECUNDÁRIAS DE ENERGIA										SUBTOTAL DAS FONTES SECUNDÁRIAS	TOTAL				
	PETRÓLEO NATURAL	GÁS VAPOR	CARVÃO METALÚRGICO	URÂNIO U ₃ O ₈	ENERGIA HIDRAULICA	LENHA	PRODUTOS DA CANA	OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMBUSTÍVEL		GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROSENE	GÁS DE COQUE	COQUE DE CARVÃO MINERAL	URÂNIO CONTIDO NO UO ₂	ELECTRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	ÁLCOOL ETÍLICO			OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	OUTROS NÃO ENERGÉTICOS DE PETRÓLEO	ALCATRÃO	
PRODUÇÃO	0	0	31	0	0	9.088	1.866	3.117	2.229	16.330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.330	
IMPORTAÇÃO - EXPORTAÇÃO + VARIAÇÃO DE ESTOQUE	8.696	1.290	81	0	0	0	0	0	-34	10.033	-461	-239	-606	27	-1	-41	0	47	0	-6.294	-130	316	28	-331	13	-7.672	2.361
NÃO-APROVEITADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
REINJEIÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OFERTA INTERNA BRUTA	8.696	1.290	112	0	0	9.088	1.866	3.117	2.195	26.363	-461	-239	-606	27	-1	-41	0	47	0	-6.294	-130	316	28	-331	13	-7.672	16.691
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	-8.696	-94	-19	0	0	-9.088	-438	-1.031	-1.010	-20.377	4.154	419	2.229	504	1	130	0	0	0	9.450	184	755	922	709	0	19.456	-921
REFINARIAS DE PETRÓLEO	-8.524	0	0	0	0	0	0	0	-264	-8.788	3.847	432	2.229	504	1	130	0	0	0	0	0	933	689	0	0	8.766	-22
PLANTAS DE GÁS NATURAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COQUEARIAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO	0	-55	-17	0	0	-8.577	-11	0	-45	-8.705	-3	-11	0	0	0	0	0	0	8.603	0	0	-1	0	0	0	8.588	-118
CENTRAIS ELÉTRICAS AUTOPRODUTORAS	0	-17	-1	0	0	-511	-82	-273	-562	-1.446	-1	-2	0	0	0	0	0	0	846	0	0	-10	0	0	0	833	-613
CARVOARIAS	0	0	0	0	0	0	-345	0	0	-345	0	0	0	0	0	0	0	0	184	0	0	0	0	0	0	184	-161
DESTILARIAS	0	0	0	0	0	0	0	-758	0	-758	0	0	0	0	0	0	0	0	0	755	0	0	0	0	0	755	-3
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	-172	-23	0	0	0	0	0	0	-140	-335	311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	330	-4
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-435	-3	-3	0	0	0	0	-440	-442
CONSUMO FINAL	0	1.193	93	0	0	1.427	2.085	1.185	5.984	3.692	180	1.623	531	0	90	0	47	0	2.721	51	1.069	951	377	13	11.344	17.328	
CONSUMO FINAL NÃO ENERGÉTICO	0	39	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	27	377	13	436	474	0	
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	0	1.155	93	0	0	1.427	2.085	1.185	5.945	3.692	180	1.623	531	0	89	0	47	0	2.721	51	1.051	923	0	0	10.909	16.854	
SETOR ENERGÉTICO	0	286	0	0	0	0	0	629	0	915	90	19	0	0	0	0	0	0	159	0	0	432	0	0	700	1.615	
RESIDENCIAL	0	5	0	0	0	0	311	0	0	316	0	0	0	413	0	0	0	0	621	22	0	0	0	0	1.057	1.373	
COMERCIAL	0	11	0	0	0	0	5	0	0	15	1	1	0	30	0	0	0	0	478	6	0	0	0	0	516	532	
PÚBLICO	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	14	0	0	0	0	194	0	0	0	0	0	209	211	
AGROPECUÁRIO	0	0	0	0	0	0	429	0	0	429	142	2	0	3	0	0	0	0	221	1	0	0	0	0	369	798	
TRANSPORTES - TOTAL	0	136	0	0	0	0	0	0	0	136	3.396	29	1.623	0	0	89	0	0	0	0	1.051	0	0	0	0	6.187	6.324
RODOVIÁRIO	0	136	0	0	0	0	0	0	0	136	3.375	0	1.620	0	0	0	0	0	0	0	1.051	0	0	0	0	6.045	6.181
FERROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	
AÉREO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	0	93	93	
HIDROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	37	
INDUSTRIAL - TOTAL	0	713	93	0	0	683	1.457	1.185	4.131	64	129	0	70	0	0	0	47	0	1.048	22	0	491	0	0	1.871	6.002	
CIMENTO	0	0	5	0	0	6	0	0	27	39	5	0	0	1	0	0	0	4	51	9	0	274	0	0	345	384	
FERRO-GUSA E AÇO	0	8	15	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	29	0	6	11	0	0	0	0	47	70	
FERRO-LIGAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NÃO FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	0	0	42	0	0	0	0	0	0	42	0	26	0	1	0	0	14	0	48	0	0	11	0	0	99	141	
QUÍMICA	0	344	11	0	0	4	0	7	366	1	29	0	16	0	0	0	0	0	167	1	0	162	0	0	377	743	
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	48	3	0	0	159	1.452	1	1.662	18	6	0	18	0	0	0	0	0	171	0	0	6	0	0	220	1.882	
TÊXTIL	0	9	0	0	0	3	0	0	12	0	1	0	1	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	27	39	
PAPEL E CELULOSE	0	132	14	0	0	320	5	1.146	1.617	30	60	0	11	0	0	0	0	0	321	0	0	0	0	0	423	2.040	
CERÂMICA	0	26	2	0	0	141	0	4	172	1	3	0	11	0	0	0	0	0	22	0	0	15	0	0	52	225	
OUTRAS INDÚSTRIAS	0	146	1	0	0	50	0	0	197	7	3	0	10	0	0	0	0	0	237	1	0	23	0	0	282	479	
CONSUMO NÃO IDENTIFICADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AJUSTES ESTATÍSTICOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

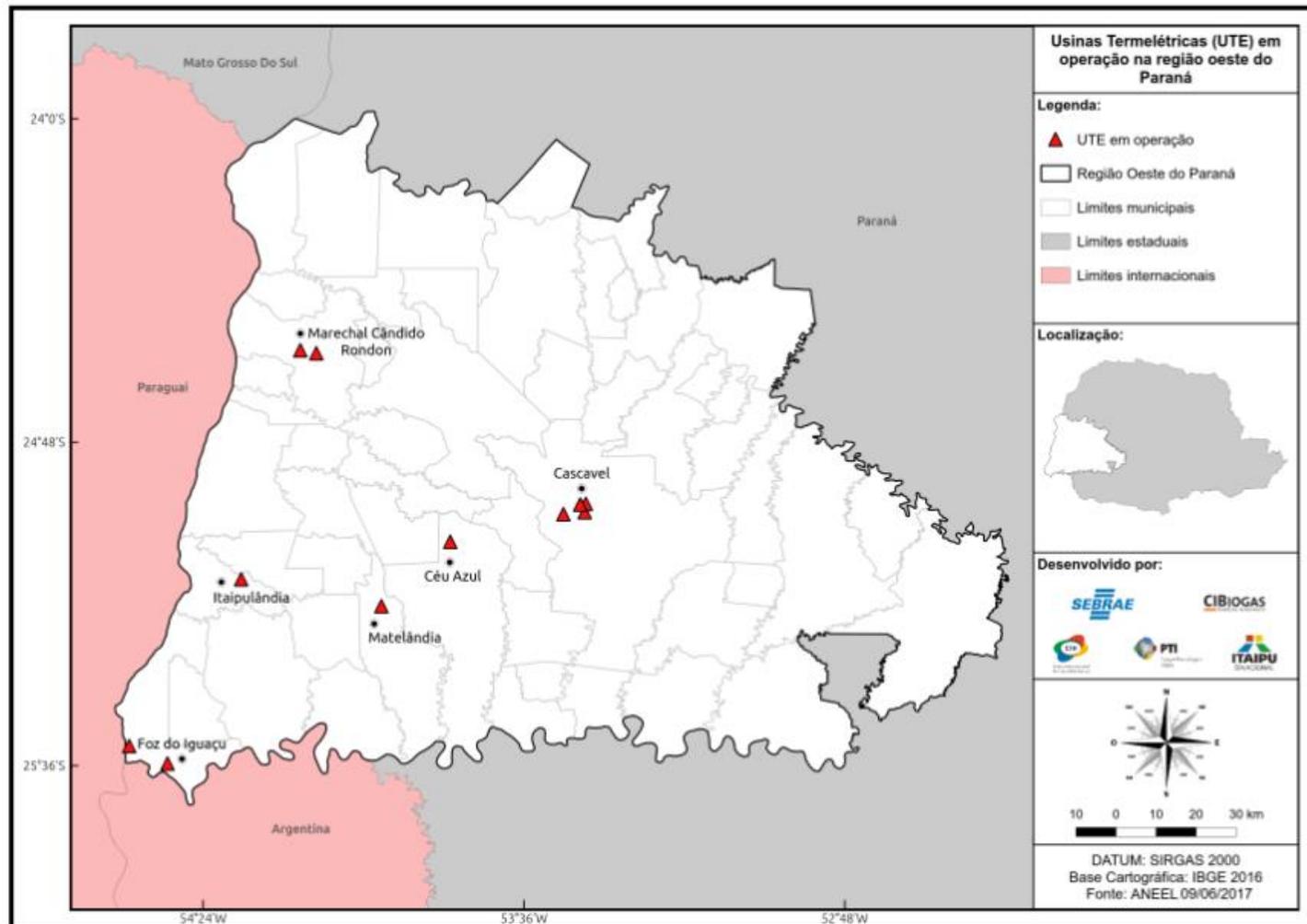
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XIII – Usinas hídricas (UHE, CGH e PCH) em funcionamento na região oeste do Paraná



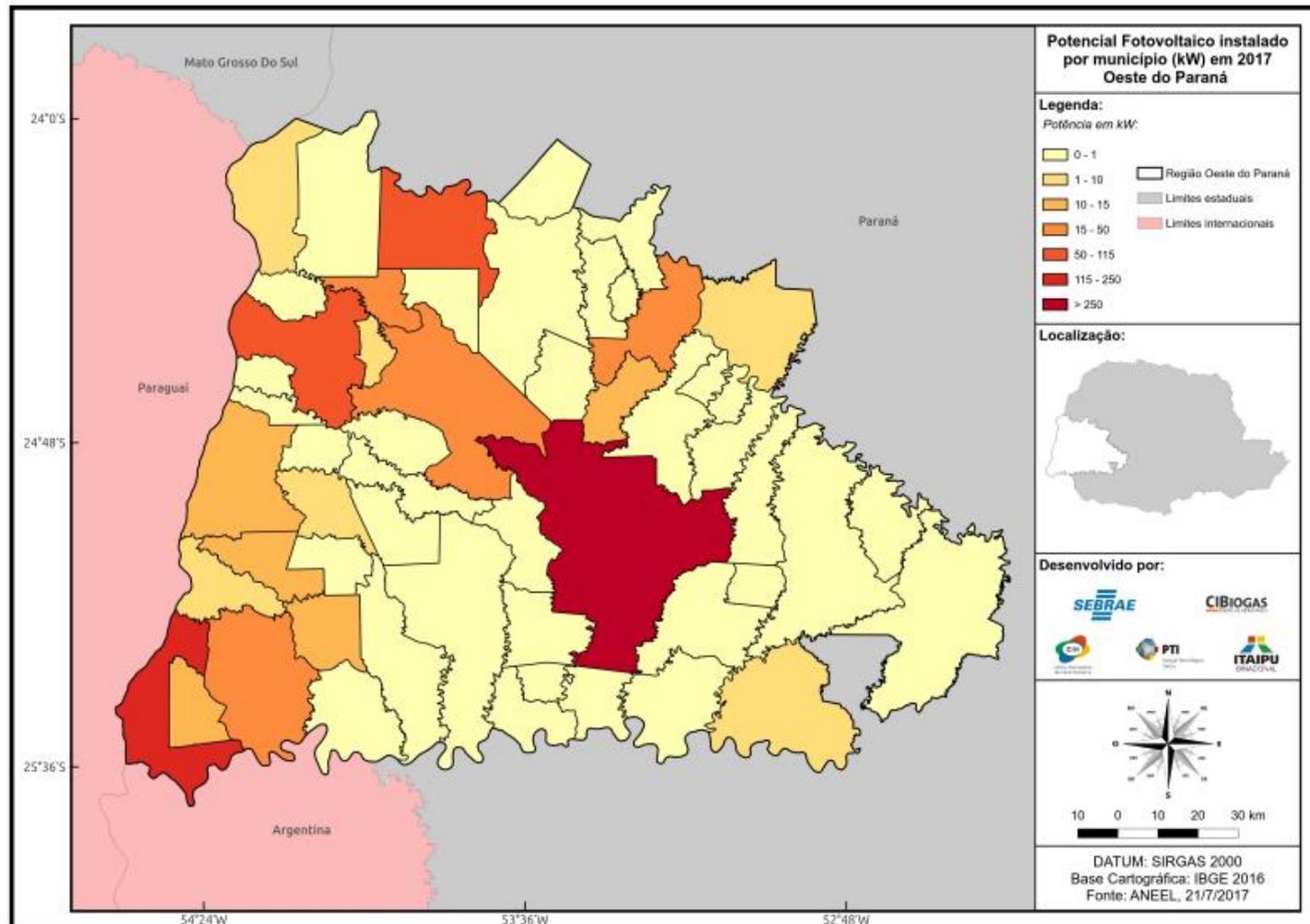
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XIV – Usinas termelétricas (UTE) em funcionamento na região oeste do Paraná



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XV – Concentração de usinas fotovoltaicas (kW) em funcionamento na região na região oeste do Paraná



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XVI – Balanço Energético da Região Oeste do Paraná – ano base 2016

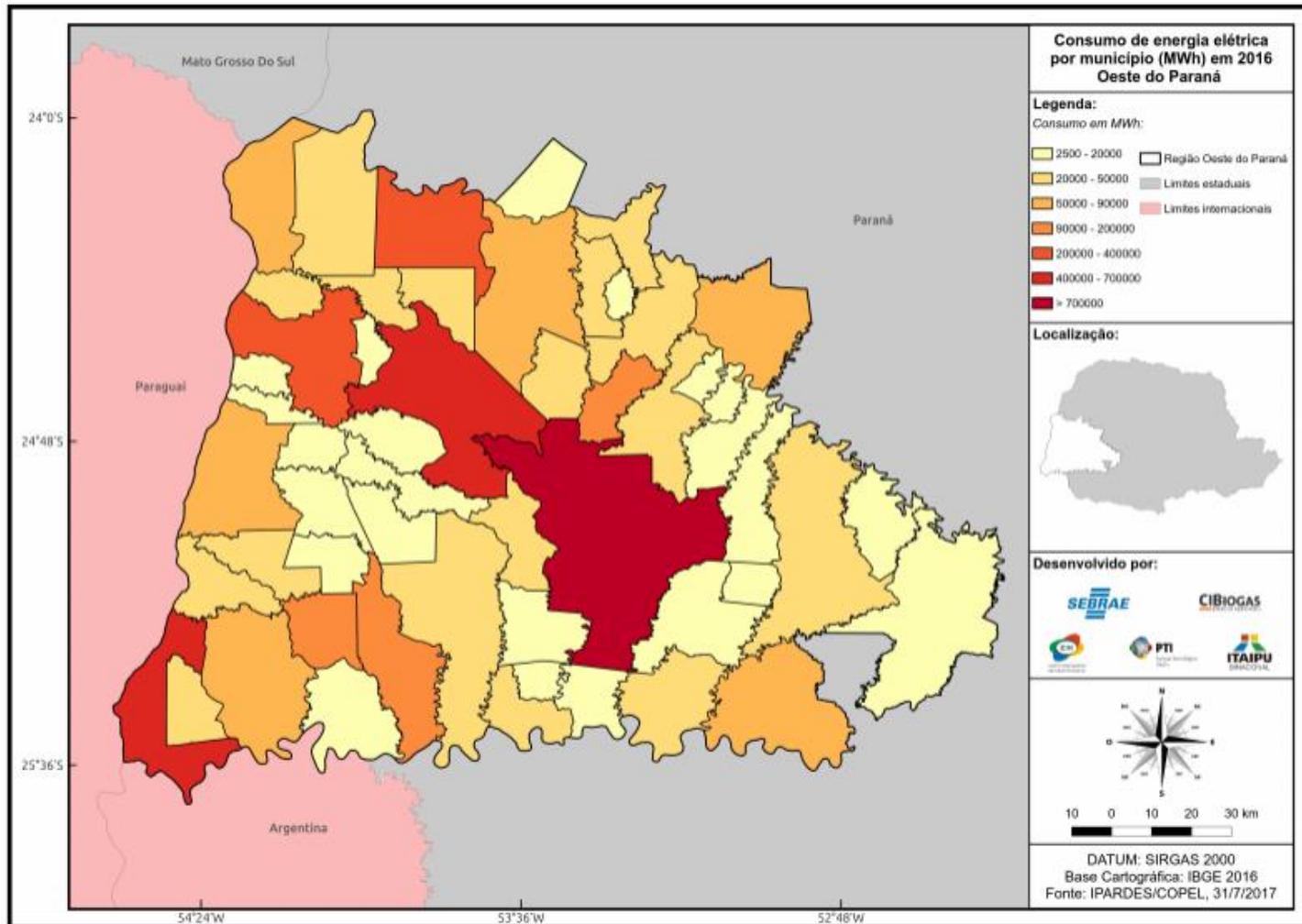


BALANÇO ENERGÉTICO DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ
ano base 2016
[unidade: 10³ tep]

FLUXOS	FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA								FONTES SECUNDÁRIAS DE ENERGIA													SUBTOTAL DAS FONTES SECUNDÁRIAS	TOTAL					
	PETRÓLEO	GÁS NATURAL	CARVÃO VAPOR	CARVÃO METALÚRGICO	URÂNIO U ₃ O ₈	ENERGIA HIDRÁULICA	LENHA	PRODUTOS DA CANA	OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROSENE	GÁS DE COQUE	COQUE DE CARVÃO MINERAL	URÂNIO CONTIDO NO O ₂	ELECTRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	ÁLCOOL ETILICO			OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	OUTROS NÃO ENERGÉTICOS DE PETRÓLEO	ALCATRÃO		
PRODUÇÃO	0	0	0	0	0	5.173	264	103	2	5.541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.541
IMPORTAÇÃO - EXPORTAÇÃO + VARIAÇÃO DE ESTOQUE NÃO-APROVEITADO	0	0	17	0	0	0	0	0	0	17	505	9	205	64	0	21	0	29	0	-4.521	-7	134	27	46	2	-3.486	-3.468	
REINJEÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OPERTA INTERNA BRUTA	0	0	17	0	0	5.173	264	103	2	5.559	505	9	205	64	0	21	0	29	0	-4.521	-7	134	27	46	2	-3.486	2.073	
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	0	0	0	0	0	-5.173	-41	0	0	-5.214	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	5.177	22	0	0	0	0	5.191	-23	
REFINARIAS DE PETRÓLEO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PLANTAS DE GÁS NATURAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
COQUERIAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CENTRAIS ELÉTRICAS DE SERVIÇO PÚBLICO	0	0	0	0	0	-5.173	0	0	0	-5.173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.173	0	0	0	0	0	5.173	0	
CENTRAIS ELÉTRICAS AUTOPRODUTORAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	-3	-4	
CARVOARIAS	0	0	0	0	0	0	-41	0	0	-41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	22	-19	
DESTILARIAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-238	0	0	0	0	0	-238	-238	
CONSUMO FINAL	0	0	17	0	0	0	223	103	1	344	498	9	205	64	0	21	0	29	0	418	15	134	27	46	2	1.467	1.811	
CONSUMO FINAL NÃO ENERGÉTICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	46	1	52	52		
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	0	0	17	0	0	0	223	103	1	344	498	9	205	64	0	21	0	29	0	418	15	132	24	0	0	1.415	1.759	
SETOR ENERGÉTICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	0	0	0	0	0	0	87	87	
RESIDENCIAL	0	0	0	0	0	0	37	0	0	37	0	0	0	50	0	0	0	0	75	3	0	0	0	0	0	128	165	
COMERCIAL	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	53	1	0	0	0	0	0	57	58	
PÚBLICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	18	18	
AGROPECUÁRIO	0	0	0	0	0	0	124	0	0	124	19	1	0	1	0	0	0	0	89	0	0	0	0	0	0	110	233	
TRANSPORTES - TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	474	3	205	0	0	21	0	0	0	0	132	0	0	0	0	835	835	
RODOVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	472	0	204	0	0	0	0	0	0	0	132	0	0	0	0	809	809	
FERROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
AÉREO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	21	
HIDROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
INDUSTRIAL - TOTAL	0	0	17	0	0	0	61	103	1	183	6	5	0	9	0	0	29	0	96	11	0	24	0	0	0	180	363	
CIMENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FERRO GUSA E AÇO	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	29	0	6	11	0	0	0	0	0	47	62	
FERRO LIGAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
NÃO FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
QUÍMICA	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	3	0	2	0	0	0	0	18	0	0	18	0	0	0	41	44	
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	0	1	0	0	0	38	103	0	141	0	2	0	4	0	0	0	0	41	0	0	1	0	0	0	52	193	
TÊXTIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PAPEL E CELULOSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CERÂMICA	0	0	0	0	0	0	17	0	0	18	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	6	24	
OUTRAS INDÚSTRIAS	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	1	0	0	1	0	0	0	0	29	0	0	3	0	0	0	34	40	
CONSUMO NÃO IDENTIFICADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AJUSTES ESTATÍSTICOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: POD, 2018a

ANEXO XVII – Consumo de energia elétrica na região oeste do Paraná (MWh)



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XVIII – Metodologia para elaboração de cenários de demanda de energia no Plano Energético do oeste do Paraná

No capítulo 4 são mostrados os resultados dos cenários conservador, referência e próspero para a região estudada, com abertura por classe consumidora (Tabela 32).

Aqui são relacionadas as premissas que embasaram cada projeção no período 2017-2016, sendo que o ponto de partida é sempre o consumo elétrico verificado em 2016 (Tabela 28):

1) Residências:

O principal parâmetro no setor residencial é o crescimento populacional (Ipardes, 2017b). Entretanto há um segundo fator, relacionado ao crescimento da renda das famílias, que neste caso significa aquisição de eletrodomésticos e pode aumentar o consumo nos domicílios em até 1,5% ao ano:

a) Cenário conservador (ou inferior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left(\frac{população\ cidade\ i,\ ano\ j}{população\ cidade\ i,\ 2016} \right)$$

b) Cenário referência:

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left[\left(\frac{população\ cidade\ i,\ ano\ j}{população\ cidade\ i,\ 2016} \right) \times 101,0\% \right]$$

c) Cenário otimista (ou superior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left[\left(\frac{população\ cidade\ i,\ ano\ j}{população\ cidade\ i,\ 2016} \right) \times 101,5\% \right]$$

2) Comércio e serviços:

No setor comercial o crescimento populacional (Ipardes, 2017b) também é a variável mais importante. Entretanto o aumento da renda das famílias tem impacto um pouco menor, embora a demanda ainda possa crescer até 1,2% ao ano:

a) Cenário conservador (ou inferior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left(\frac{população_{cidade\ i,\ ano\ j}}{população_{cidade\ i,\ 2016}} \right)$$

b) Cenário referência:

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left[\left(\frac{população_{cidade\ i,\ ano\ j}}{população_{cidade\ i,\ 2016}} \right) \times 100,7\% \right]$$

c) Cenário otimista (ou superior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left[\left(\frac{população_{cidade\ i,\ ano\ j}}{população_{cidade\ i,\ 2016}} \right) \times 101,2\% \right]$$

3) Indústrias:

Para o setor industrial o fator mais relevante é o desenvolvimento econômico da região que, conforme amplamente debatido no capítulo 4, ocorre associado à indústria de alimentos do oeste do Paraná. Assim, pode majorar a demanda em até 2,89% ao ano (taxa equivalente ao cenário referência para a indústria no PDE 2027):

a) Cenário conservador (ou inferior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times 101,04\%$$

b) Cenário referência:

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times 101,94\%$$

c) Cenário otimista (ou superior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times 102,89\%$$

4) Setor rural:

No oeste do Paraná a atividade agropecuária dita o ritmo do crescimento de consumo elétrico. Na época do estudo já era conhecido que algumas cidades teriam investimentos vultuosos na expansão ou construção de abatedouros e frigoríficos. Por isso, é previsto incremento mais expressivo na demanda do cenário otimista:

a) Cenário conservador (ou inferior):

$$\begin{aligned} Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} & \\ &= (demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times 104,5\%) \\ &+ investimentos_{[cidade\ i,\ ano\ j]} \end{aligned}$$

b) Cenário referência:

$$\begin{aligned} Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} & \\ &= (demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times 105,9\%) \\ &+ investimentos_{[cidade\ i,\ ano\ j]} \end{aligned}$$

c) Cenário otimista (ou superior):

$$\begin{aligned} Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} & \\ &= (demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times fator_{[cidade\ i]}) \\ &+ investimentos_{[cidade\ i,\ ano\ j]} \end{aligned}$$

Onde o fator_[cidade i] do cenário otimista pode ser 106%, 107,5% ou 110,0%, dependendo da cidade.

5) Demais classes:

O agregado “outras classes” equivale ao setor público (iluminação pública, prédios e repartições públicas) e outras classes não explicitadas anteriormente.

Além do crescimento populacional (Ipardes, 2017b), que mais uma vez é o parâmetro mais importante, há diversos efeitos menos significativos que, somados, podem subir a demanda em até 1,6% ao ano:

a) Cenário conservador (ou inferior):

$$Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left(\frac{população\ cidade\ i,\ ano\ j}{população\ cidade\ i,\ 2016} \right)$$

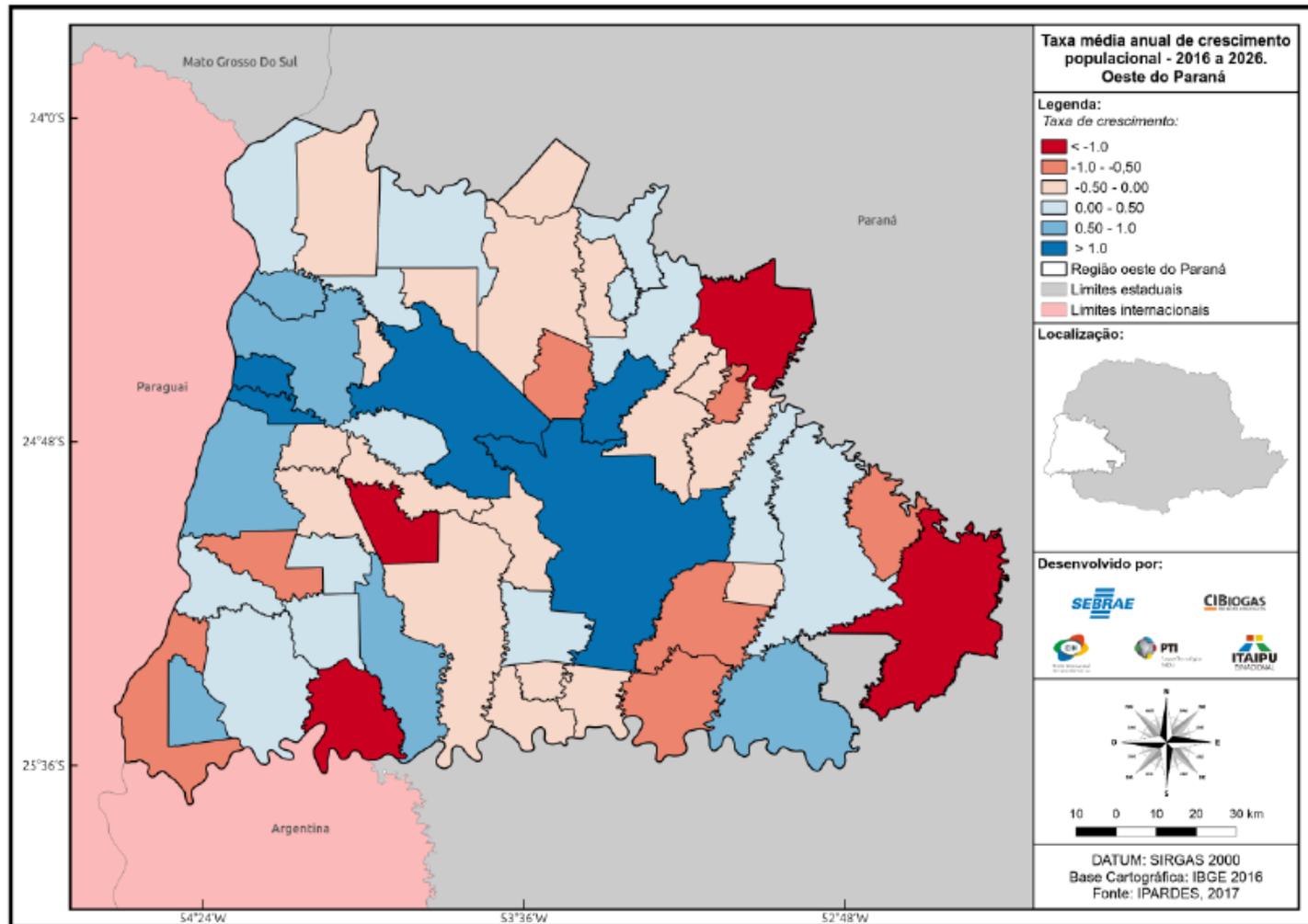
b) Cenário referência:

$$\begin{aligned} Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} \\ = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left(\frac{população\ cidade\ i,\ ano\ j}{população\ cidade\ i,\ 2016} \right) \times 100,8\% \end{aligned}$$

c) Cenário otimista (ou superior):

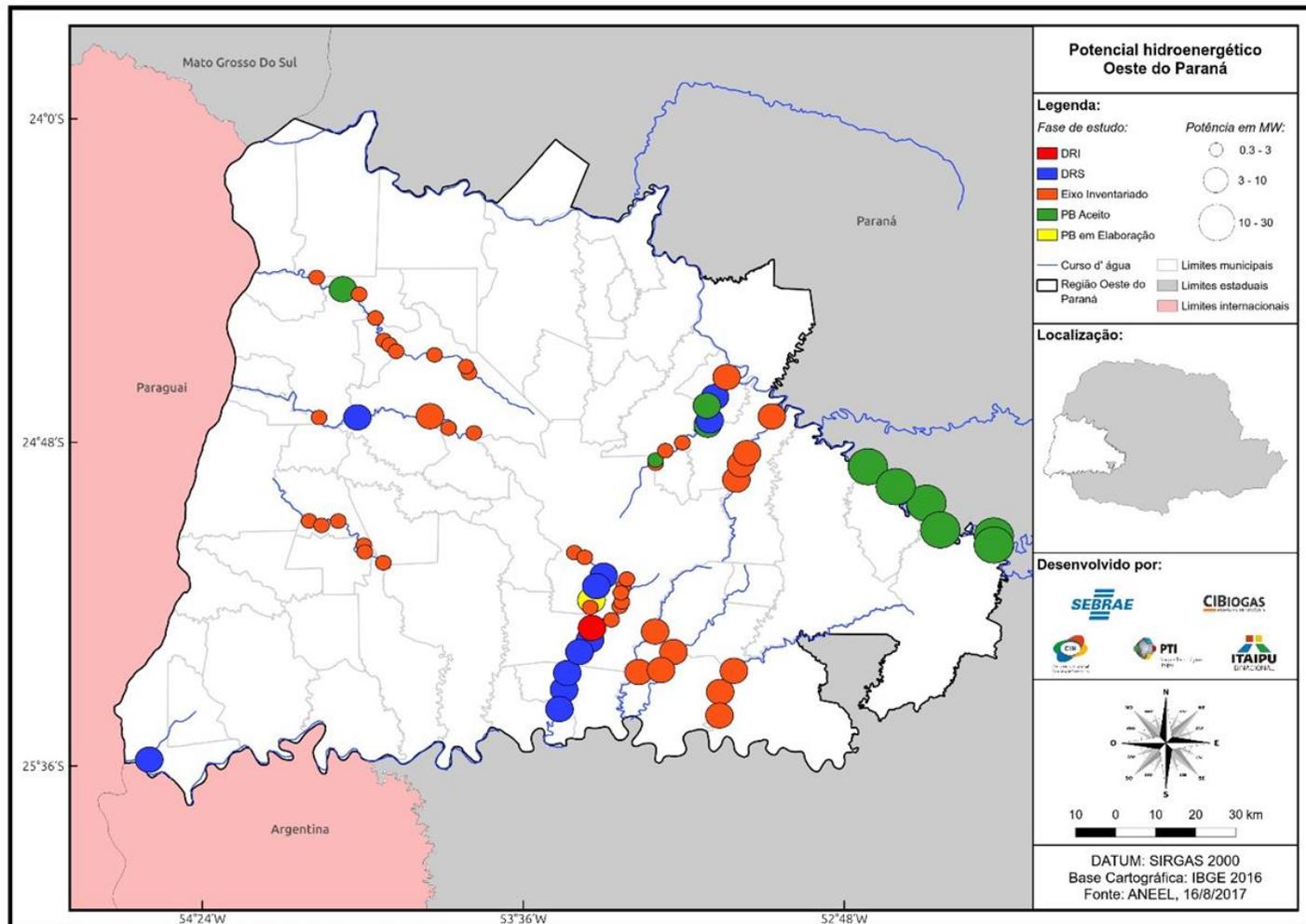
$$\begin{aligned} Demanda_{[cidade\ i,\ ano\ j]} \\ = demanda_{[cidade\ i,\ 2016]} \times \left(\frac{população\ cidade\ i,\ ano\ j}{população\ cidade\ i,\ 2016} \right) \times 101,6\% \end{aligned}$$

ANEXO XIX – Taxa de crescimento populacional por município entre 2016 e 2026



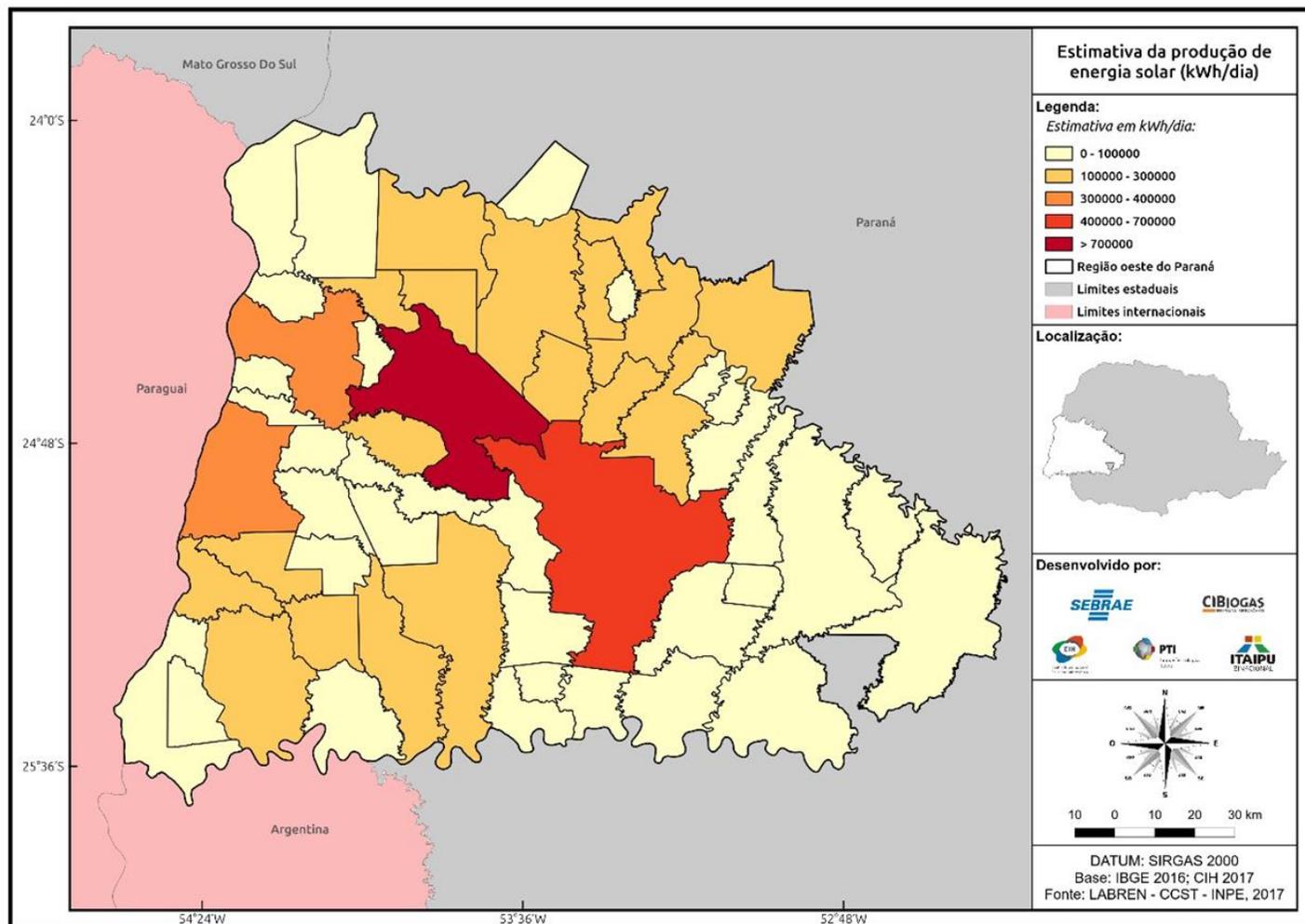
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XX – Potencial hidrelétrico na região oeste do Paraná



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXI – Potencial fotovoltaico em propriedades rurais no oeste do Paraná



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXII – Metodologia para cálculo do potencial de biogás no Plano Energético do oeste do Paraná

No capítulo 4 da tese é apresentado o potencial de biogás em propriedades rurais, abatedouros e frigoríficos, inclusive com detalhamento por animal. Abaixo são mostradas a metodologia e a memória de cálculo de cada parcela da estimativa, que foi aplicada inicialmente em cada município e posteriormente agregada para representar a região oeste paranaense:

Potencial anual de biogás e energia elétrica em abatedouros e frigoríficos (Tabela 34):

1) Abate de tilápias:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 foram abatidas 47.632,9 t de tilápias (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{peixes} = \sum_{i=1}^{54} peso [t] \times 3,67 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{peixes} = 47.632,9 [t] \times 3,67 \left[\frac{Nm^3}{t} \right] = 174.812,7 [Nm^3]$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{peixes} = Biogás_{peixes} [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{peixes} = 174.812,7 [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right] \div \frac{1}{1.000} \left[\frac{MWh}{kWh} \right]$$

$$Eletricidade_{peixes} = 249,98 [MWh]$$

2) Abate de bovinos:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 foram abatidas 161.035 cabeças de bovinos (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{bovinos} = \sum_{i=1}^{54} cabeças \times peso \left[\frac{t}{cabeça} \right] \times 8,85 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{bovinos} = 161.035 \text{ cabeças} \times 450 \left[\frac{kg}{cabeça} \right] \times 8,58 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{bovinos} = 161.035 \text{ cabeças} \times 0,45 \left[\frac{t}{cabeça} \right] \times 8,58 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{bovinos} = 621.756,1 [Nm^3]$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{bovinos} = Biogás_{bovinos} [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{bovinos} = 621.756,1 [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right] \div \frac{1}{1.000} \left[\frac{MWh}{kWh} \right]$$

$$Eletricidade_{bovinos} = 889,1 [MWh]$$

3) Abate de suínos:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 foram abatidas 6.142.516 cabeças de suínos (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{suínos} = \sum_{i=1}^{54} cabeças \times peso \left[\frac{t}{cabeça} \right] \times 8,65 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{suínos} = 6.142.516 \text{ cabeças} \times 113 \left[\frac{kg}{cabeça} \right] \times 8,65 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{suínos} = 6.142.516 \text{ cabeças} \times 0,113 \left[\frac{t}{cabeça} \right] \times 8,65 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{suínos} = 6.004.002,3 [Nm^3]$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{suínos} = Biogás_{suínos} [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{suínos} = 6.004.002,3 [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right] \div \frac{1}{1.000} \left[\frac{MWh}{kWh} \right]$$

$$Eletricidade_{suínos} = 8.585,7 [MWh]$$

4) Abate de frangos:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 foram abatidas 575.915.754 cabeças de frangos (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{frangos} = \sum_{i=1}^{54} cabeças \times peso \left[\frac{t}{cabeça} \right] \times 7,90 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{frangos} = 575.915.754 \text{ cabeças} \times 2,5 \left[\frac{kg}{cabeça} \right] \times 7,90 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{frangos} = 575.915.754 \text{ cabeças} \times 0,0025 \left[\frac{t}{cabeça} \right] \times 7,90 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{frangos} = 11.374.336,1 [Nm^3]$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{frangos} = Biogás_{frangos} [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{frangos} = 11.374.336,1 [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right] \div \frac{1}{1.000} \left[\frac{MWh}{kWh} \right]$$

$$Eletricidade_{frangos} = 16.265,3 [MWh]$$

5) Total de biogás em abatedouros e frigoríficos:

$$Biogás_{abates} = Biogás_{peixes} + Biogás_{bovinos} + Biogás_{suínos} + Biogás_{frangos}$$

$$Biogás_{abates} = 174.812,7 + 621.756,1 + 6.004.002,3 + 11.374.336,1$$

$$Biogás_{abates} = 18.174.907,2 [Nm^3]$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{abates} = Biogás_{abates} [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{abates} = 18.174.907,2 [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{abates} = 25.990,1 [MWh]$$

Potencial anual de biogás e energia elétrica em propriedades rurais (Tabela 35)

1) Fecularias (mandioca):

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 foram produzidas 771.987 toneladas de mandioca (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{fecularias} = \sum_{i=1}^{54} produção [t] \times 16,4 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{fecularias} = 771.987[t] \times 16,4 \left[\frac{Nm^3}{t} \right]$$

$$Biogás_{fecularias} = 12.660.586,8 Nm^3$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{fecularias} = Biogás_{fecularias}[Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{fecularias} = 12.660.586,8 [Nm^3] \times 1,43 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{fecularias} = 18.104,6 [MWh]$$

2) Bovinocultura de leite:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 havia rebanho de 214.866 animais criados em sistema de livre pastagem, 29.086 em semi confinamento e 7.864 em confinamento (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{\text{bovinos de leite}} = \sum_{i=1}^{54} \text{rebanho [cabeças por sistema]} \times \text{fator} \left[\frac{Nm^3}{\text{cabeça}} \right]$$

$$Biogás_{\text{livre pastagem}} = 214.866 [\text{cabeças}] \times 27,0 \left[\frac{Nm^3}{\text{cabeça}} \right] = 5.803.539,0$$

$$Biogás_{\text{livre pastagem}} = 29.086 [\text{cabeças}] \times 162,1 \left[\frac{Nm^3}{\text{cabeça}} \right] = 4.713.677,2$$

$$Biogás_{\text{semi confinamento}} = 7.864 [\text{cabeças}] \times 324,1 \left[\frac{Nm^3}{\text{cabeça}} \right] = 2.548.879,7$$

$$Biogás_{\text{bovinos de leite}} = 5.803.539,0 + 4.713.677,2 + 2.548.879,7$$

$$Biogás_{\text{bovinos de leite}} = 13.066.095,9$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{\text{bovinos de leite}} = Biogás_{\text{bovinos de leite}} [Nm^3] \times 1,44 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{\text{bovinos de leite}} = 13.066.095,9 [Nm^3] \times 1,44 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{\text{bovinos de leite}} = 18.864,8 [MWh]$$

3) Avicultura:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 havia 121.839.155 cabeças de frangos (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{avicultura} = \sum_{i=1}^{54} cabeças \times 0,002 \left[\frac{Nm^3}{cabeça.dia} \right] \times 365 \left[\frac{dias}{ano} \right]$$

$$Biogás_{avicultura} = 121.839.155 \times 0,002 \times 365$$

$$Biogás_{avicultura} = 88.942.583,2 Nm^3$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{avicultura} = Biogás_{avicultura} [Nm^3] \times 1,24 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{avicultura} = 88.942.583,2 [Nm^3] \times 1,24 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{avicultura} = 110.288,8 [MWh]$$

4) Suinocultura:

Somando as 54 cidades da região estudada, em 2015 havia um plantel de 3.522.569 suínos (IBGE, 2020b). Assim:

$$Biogás_{suinocultura} = \sum_{i=1}^{54} cabeças \times 0,213 \left[\frac{Nm^3}{cabeça.dia} \right] \times 365 \left[\frac{dias}{ano} \right]$$

$$Biogás_{suinocultura} = 3.522.569 \times 0,213 \times 365$$

$$Biogás_{suinocultura} = 273.862.176 Nm^3$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

$$Eletricidade_{suinocultura} = Biogás_{suinocultura} [Nm^3] \times 1,260565 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{suinocultura} = 273.862.176 [Nm^3] \times 1,260565 \left[\frac{kWh}{Nm^3} \right]$$

$$Eletricidade_{suinocultura} = 345.221,1 [MWh]$$

5) Total de biogás em propriedades rurais:

Biogás propriedades rurais

$$= \textit{Biogás}_{\textit{fecularias}} + \textit{Biogás}_{\textit{bovinos de leite}} + \textit{Biogás}_{\textit{avicultura}} \\ + \textit{Biogás}_{\textit{suinocultura}}$$

Biogás propriedades rurais

$$= 12.660.586,8 + 13.066.095,9 + 88.942.583,2 + 273.862.176$$

$$\textit{Biogás}_{\textit{propriedades rurais}} = 388.531.441,2[\textit{Nm}^3]$$

Como a transformação para energia elétrica depende do substrato que originou o biogás, utilizou-se fatores de conversão extraídos da literatura (FIEP, 2016) e do banco de dados do laboratório do CIBiogás:

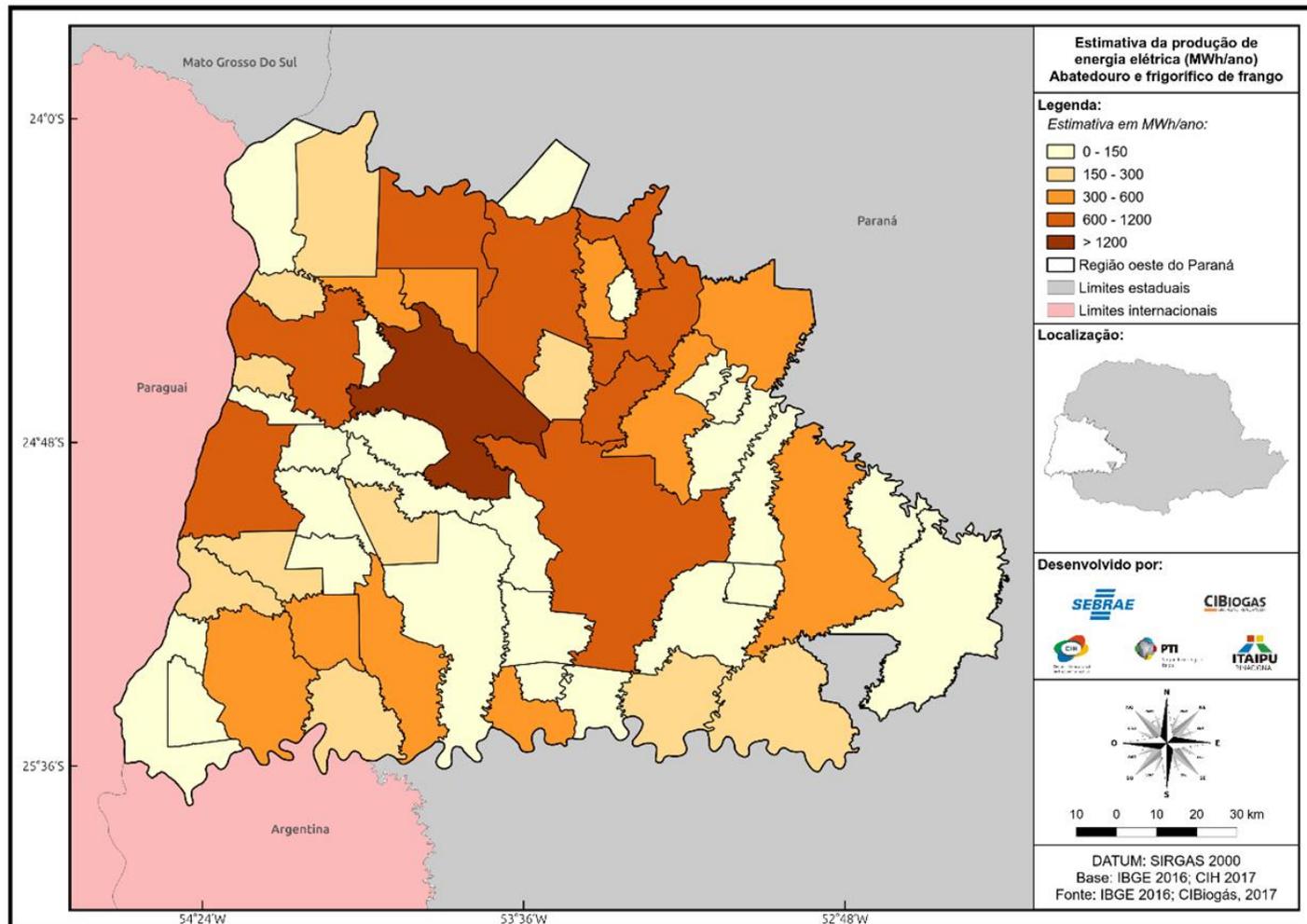
Eletricidade propriedades rurais

$$= \textit{Eletricidade}_{\textit{fecularias}} + \textit{Eletricidade}_{\textit{bovinos de leite}} \\ + \textit{Eletricidade}_{\textit{avicultura}} + \textit{Eletricidade}_{\textit{suinocultura}}$$

$$\textit{Eletricidade}_{\textit{propriedades rurais}} = 18.104,6 + 18.864,8 + 110.288,8 + 345.221,1$$

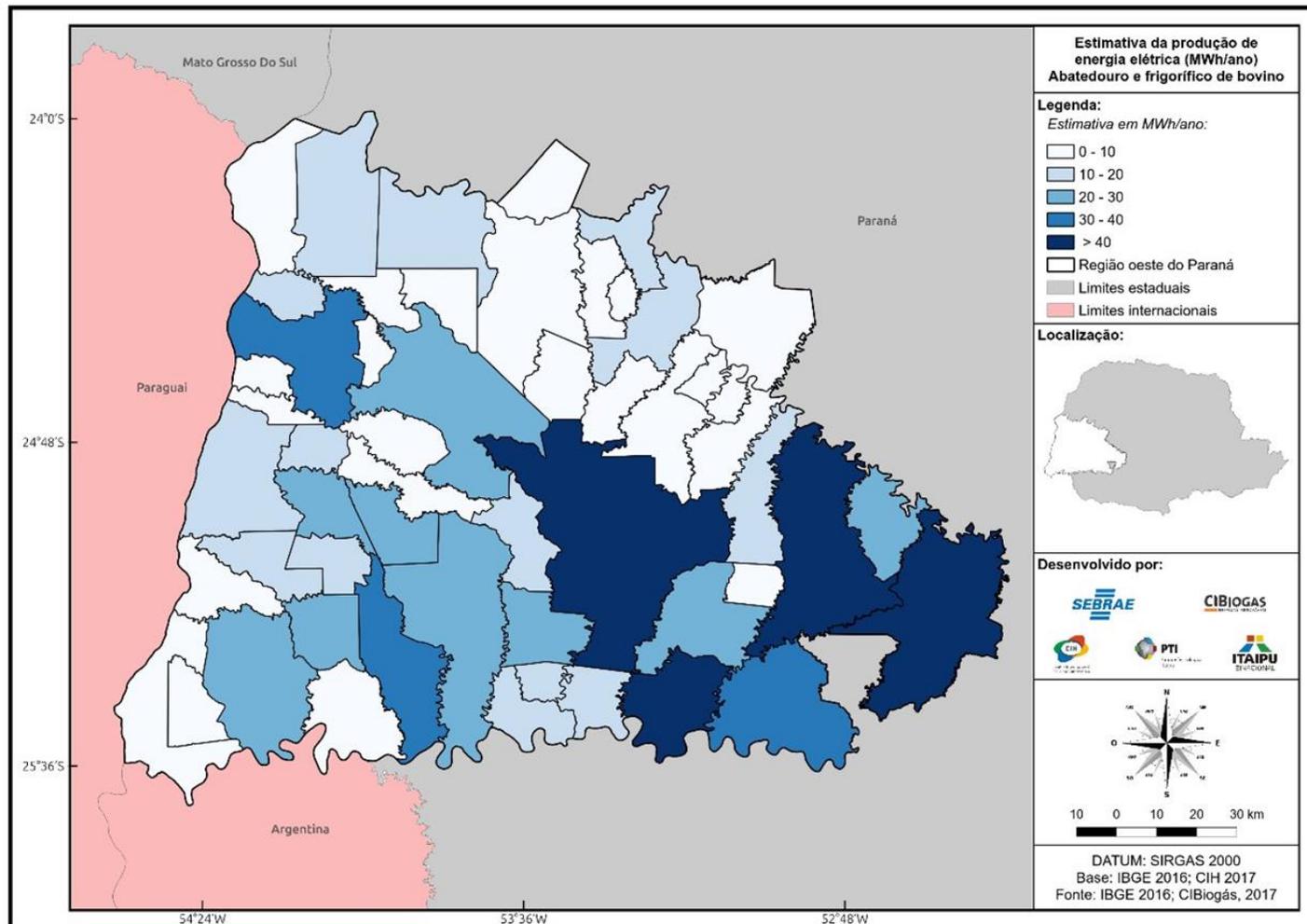
$$\textit{Eletricidade}_{\textit{propriedades rurais}} = 492.479,3 [\textit{MWh}]$$

ANEXO XXIII – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de frangos no oeste do Paraná



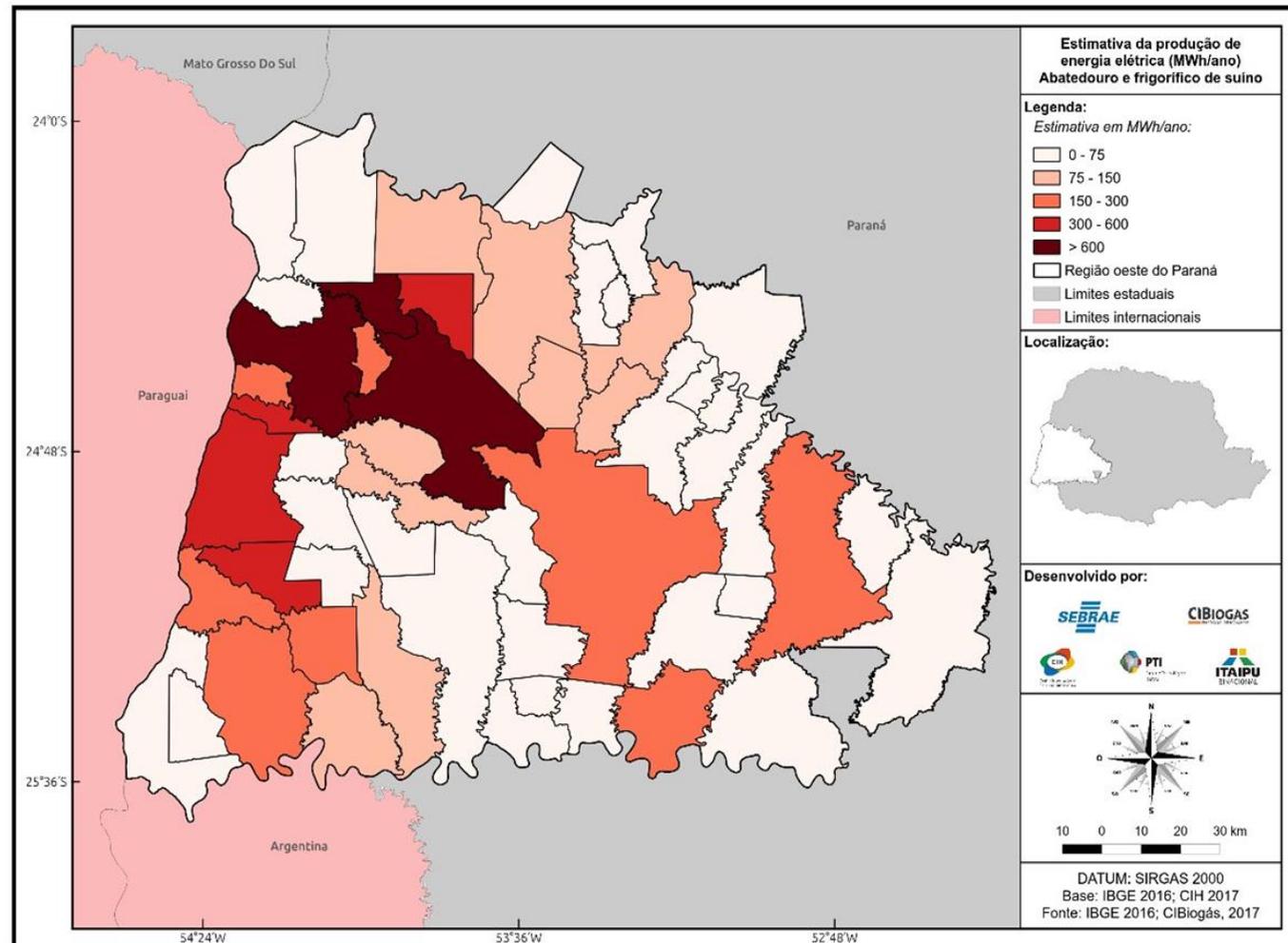
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXIV – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de bovinos no oeste do Paraná



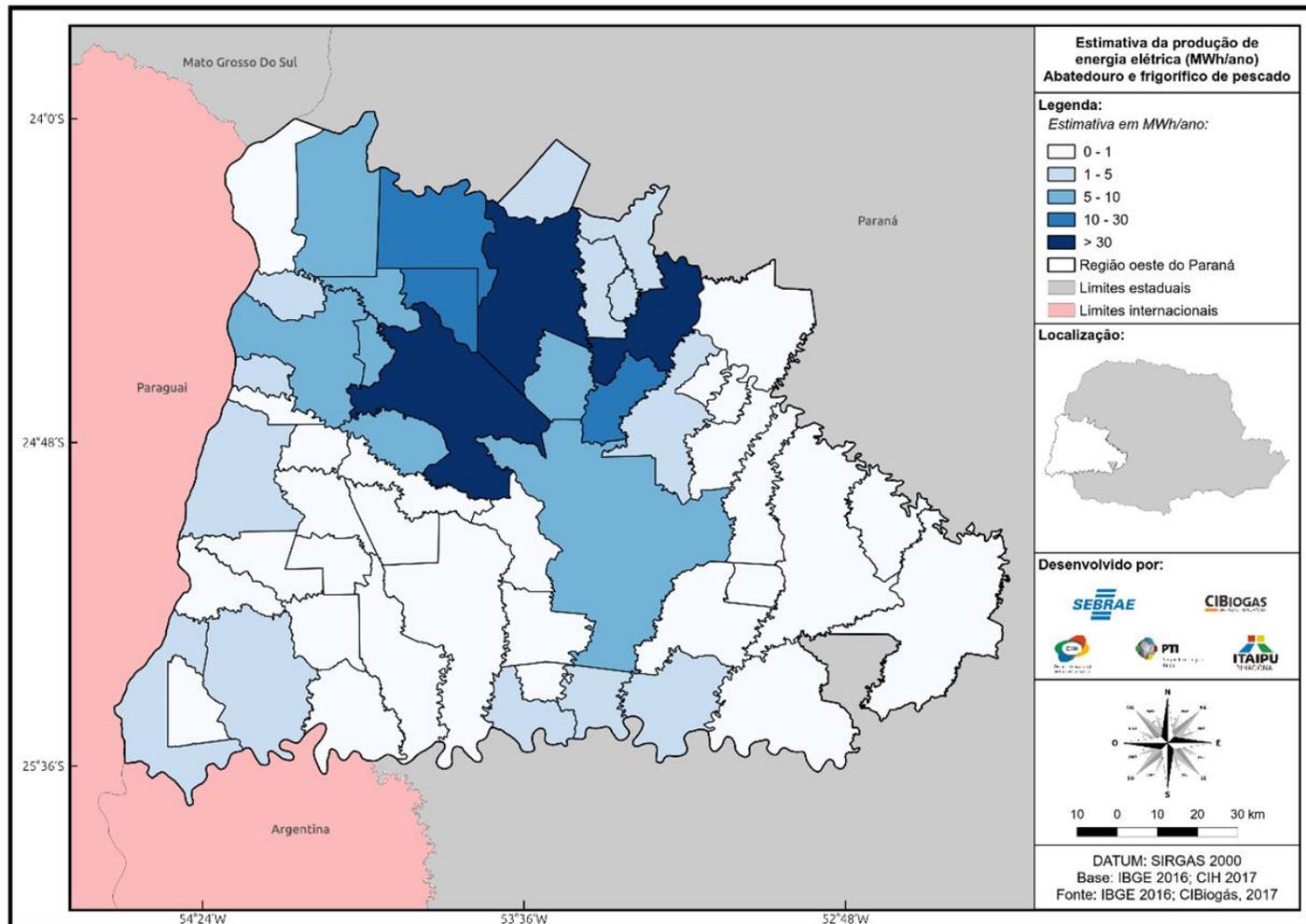
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXV – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de suínos no oeste do Paraná



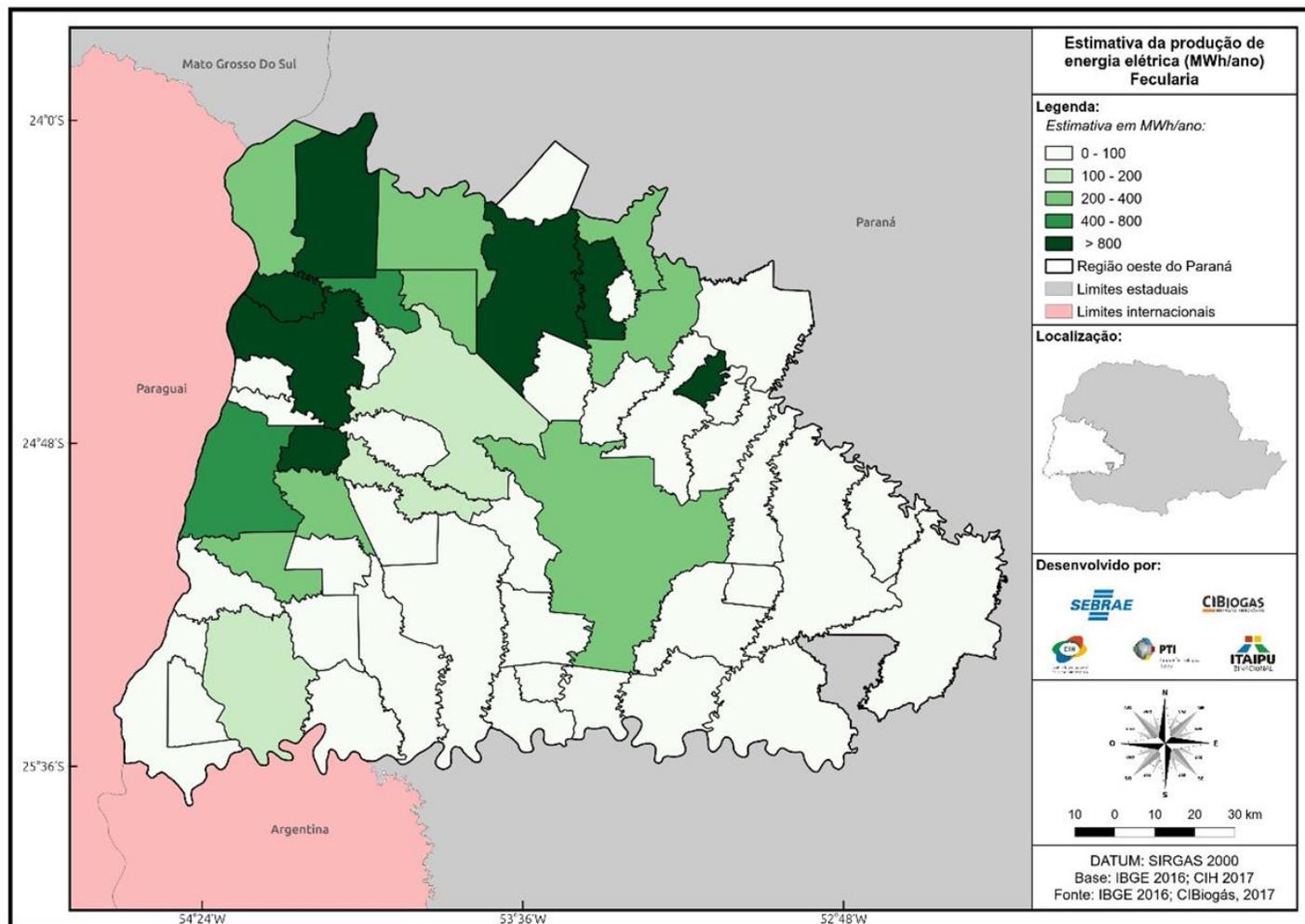
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXVI – Potencial de geração elétrica com biogás em abatedouros e frigoríficos de peixes no oeste do Paraná



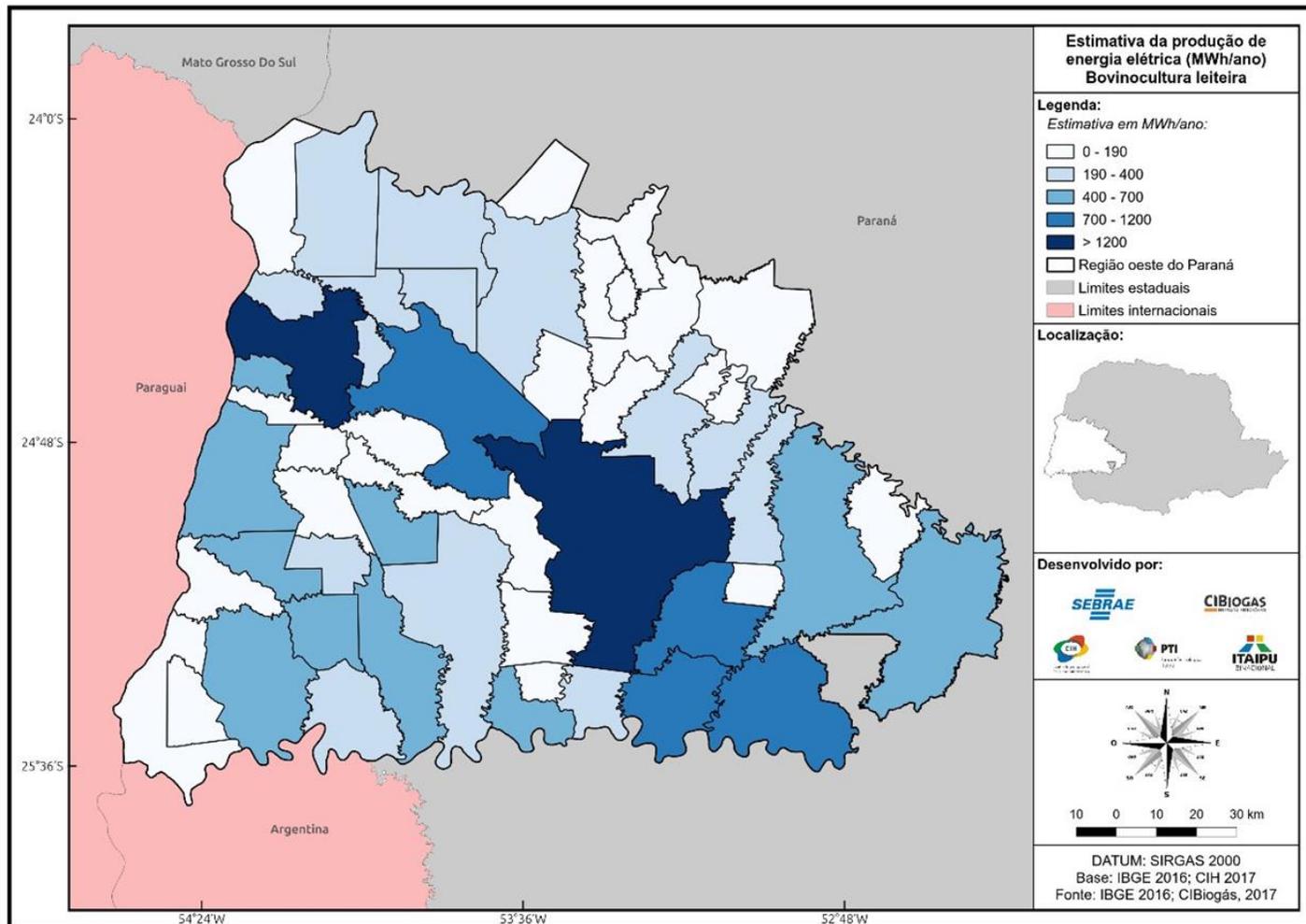
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXVII – Potencial de geração elétrica com biogás na indústria de mandioca no oeste do Paraná



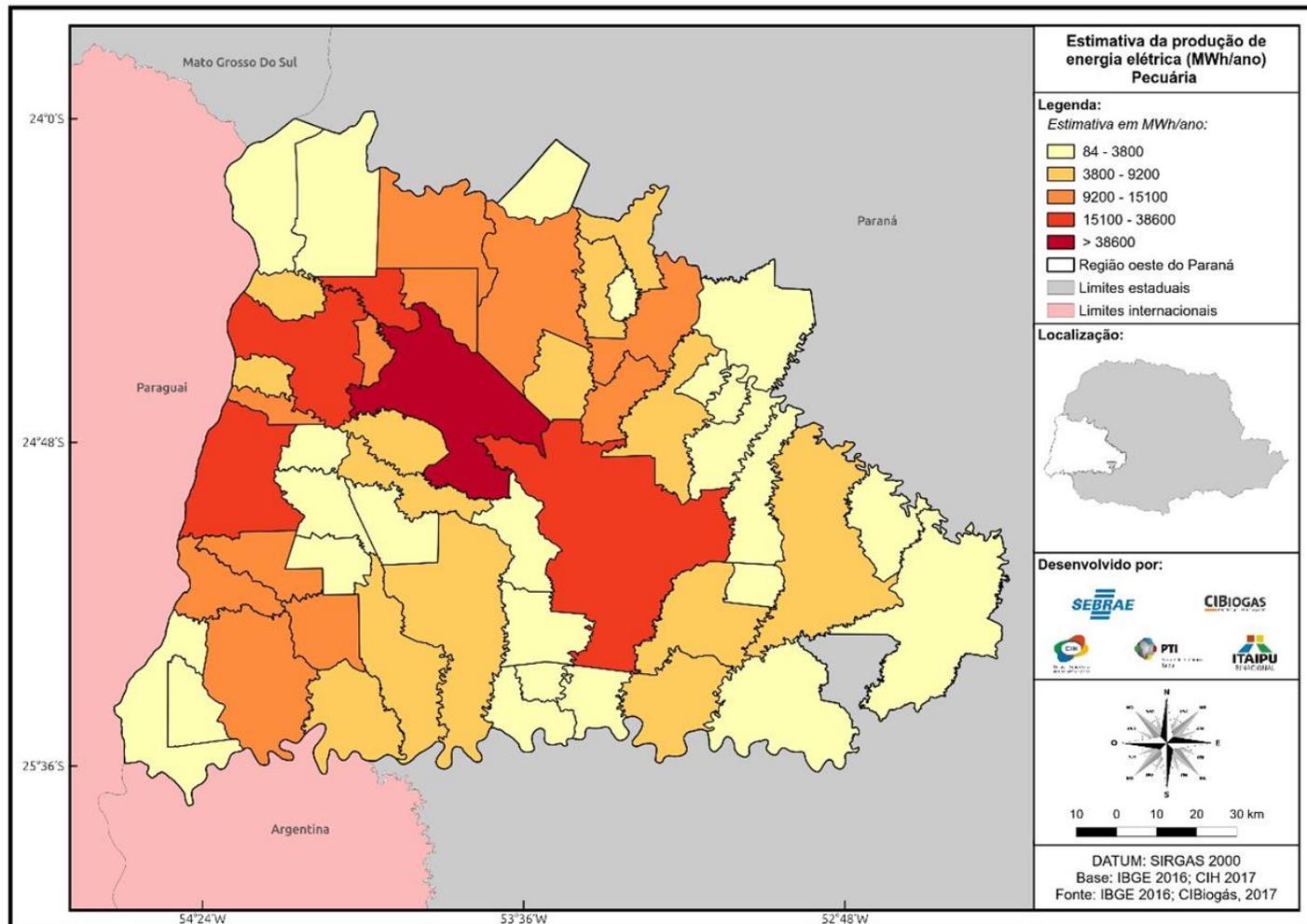
Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXVIII – Potencial de geração elétrica com biogás na bovinocultura leiteira no oeste do Paraná



Fonte: POD, 2018a

ANEXO XXIX – Potencial de geração elétrica com biogás no oeste do Paraná



Fonte: POD, 2018a



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512019000250-4**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 05/01/2019, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: CIEEA 1.0 - Calculadora de Indicadores Energeticos, Econômicos e Ambientais

Data de publicação: 05/01/2019

Data de criação: 05/01/2019

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Autor(es): DANIEL VASCONCELLOS DE SOUSA STILPEN

Linguagem: EXCEL

Campo de aplicação: EC-05; EN-01; EN-04; MA-03

Tipo de programa: FA-03; FA-04

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:

C6BD5AEA676A19047CF664A5DE2BE1B5E094092EEEDD4FCA09D63D998FE053FB03F9E4314AB9B48EB6F3C0B
6B07BA64180DCC757CE93651B522D03B44C7C2FEE

Expedido em: 19/02/2019

Aprovado por:
Alexandre Gomes Ciancio
Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados