



PROJETO P&D:

“COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO COM APROVEITAMENTO DE BIOENERGÉTICOS REGIONAIS: ROTAS TECNOLÓGICAS PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO E MODELO DE NEGÓCIO PARA COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA GERADA”

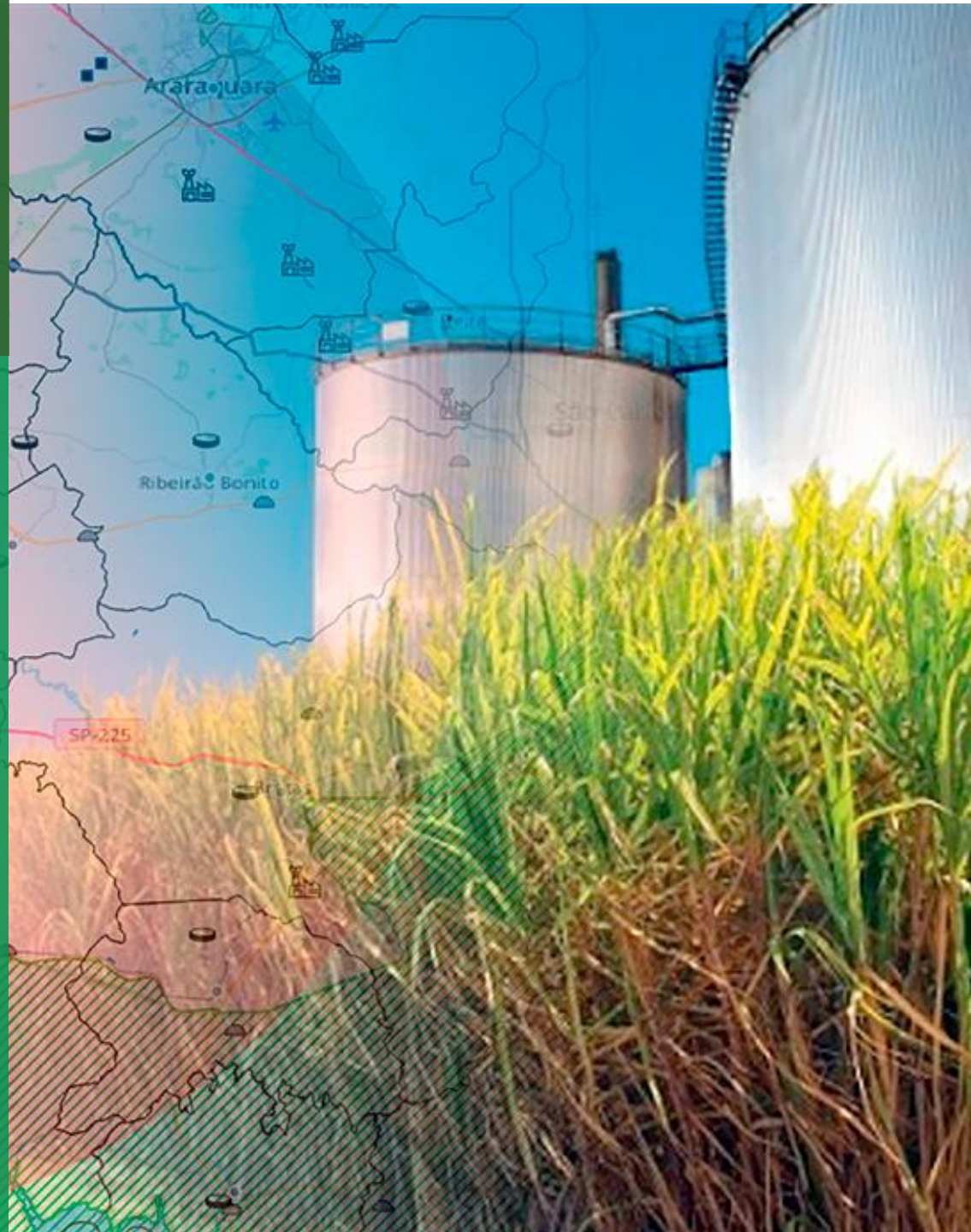




Projeto P&D: **PD-00061-0057/2017**

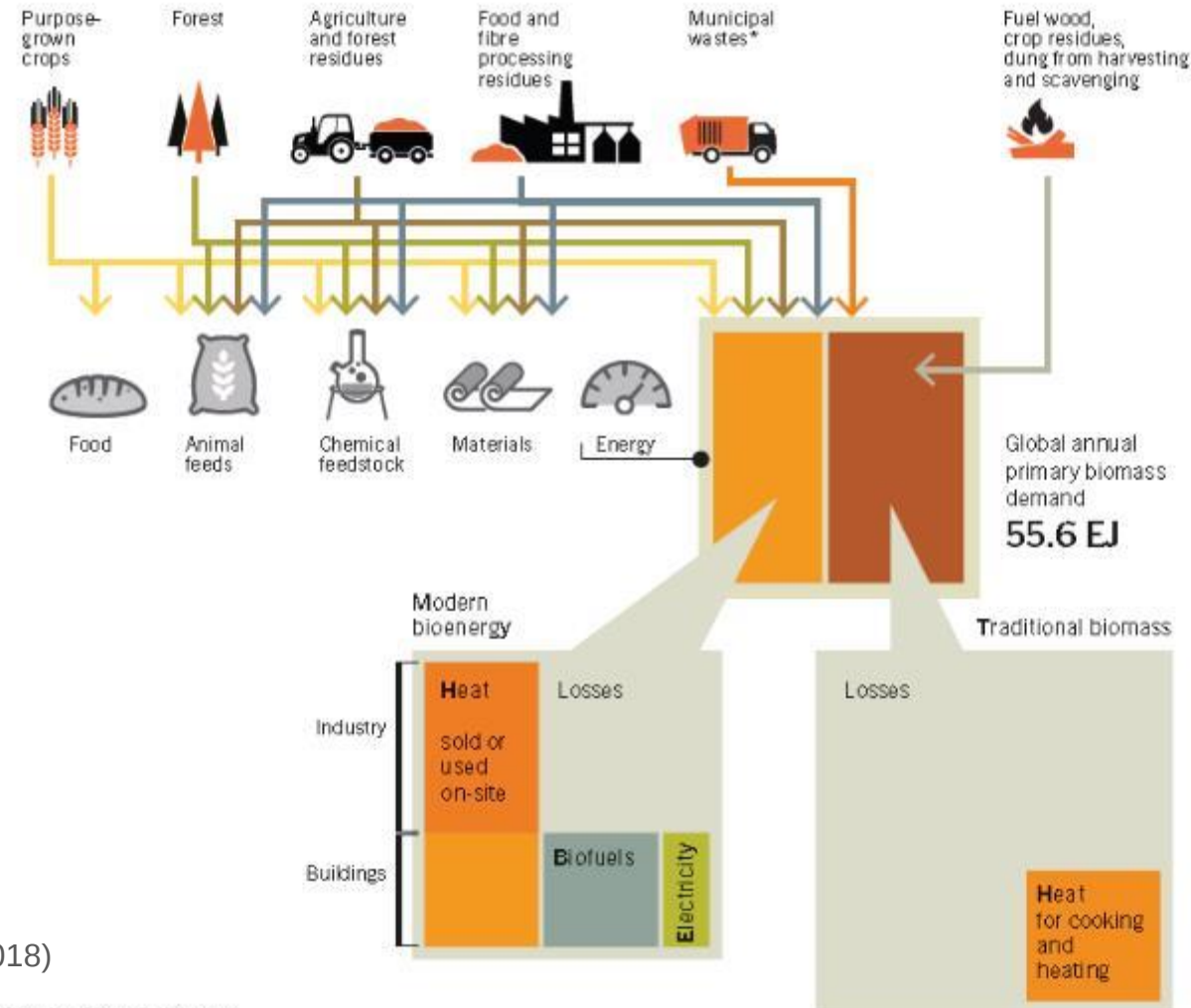
Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo

Profa. Dra. Suani T. Coelho
São Paulo, 23 de fevereiro de 2021



Recursos de Biomassa – Biomassa tradicional x bioenergia moderna

Figure 5. Biomass Resources and Energy Pathways



* Organic solid and liquid wastes



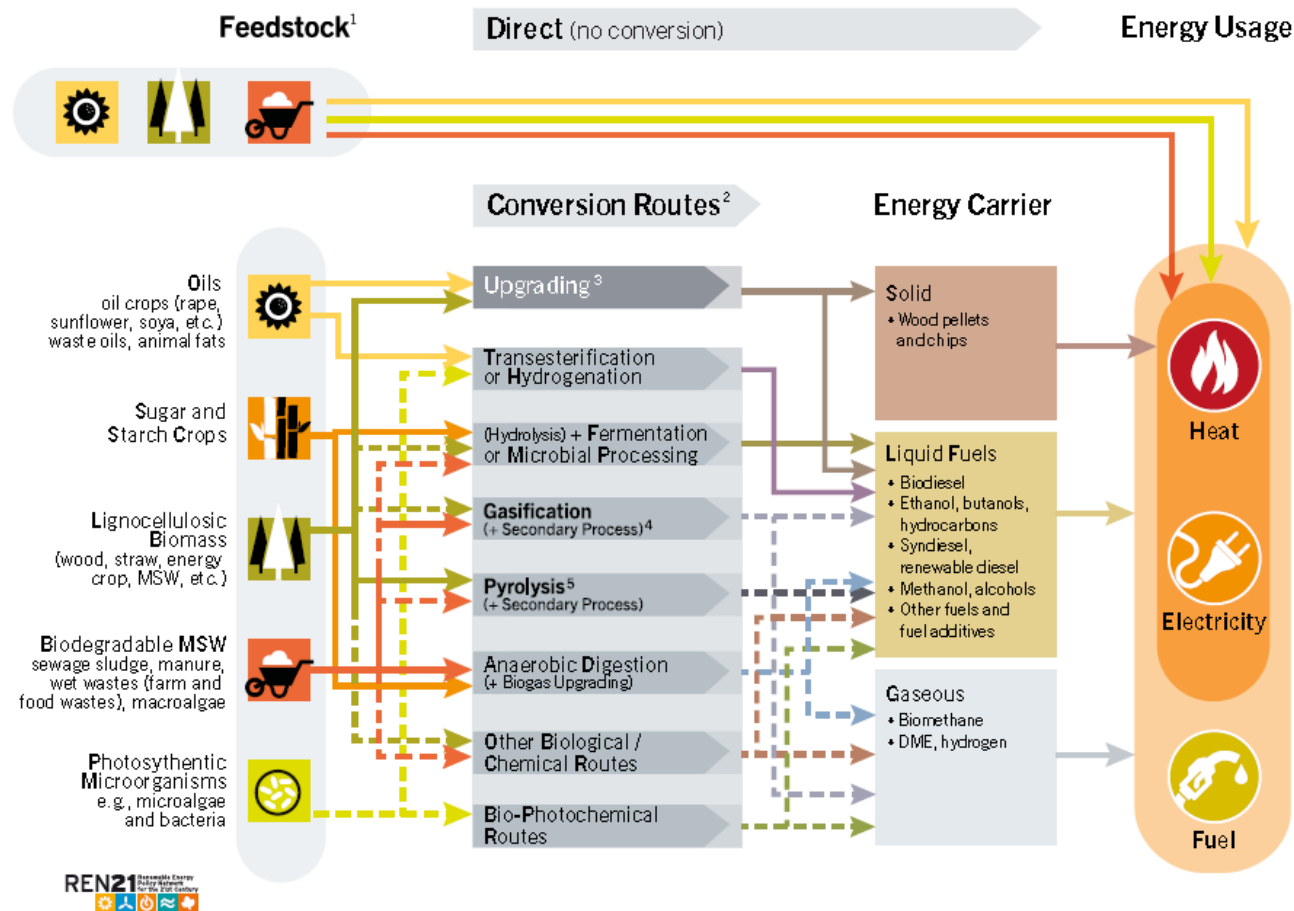
Bioenergia e Desenvolvimento Sustentável

- **Bioenergia: contribuição para redução dos gases efeito estufa**
- **Aumento na segurança energética – diversificação na oferta de energia.**
- Oportunidades econômicas – criação de emprego e renda principalmente na zona rural
- **Sinergia com o gerenciamento de resíduos e qualidade do ar e água**
- Colaboração para aumento no acesso a energia para 2.7 bilhões de pessoas no mundo.



Cada tipo de biomassa tem a tecnologia mais adequada para o aproveitamento energético

Figure 6. Bioenergy Conversion Pathways



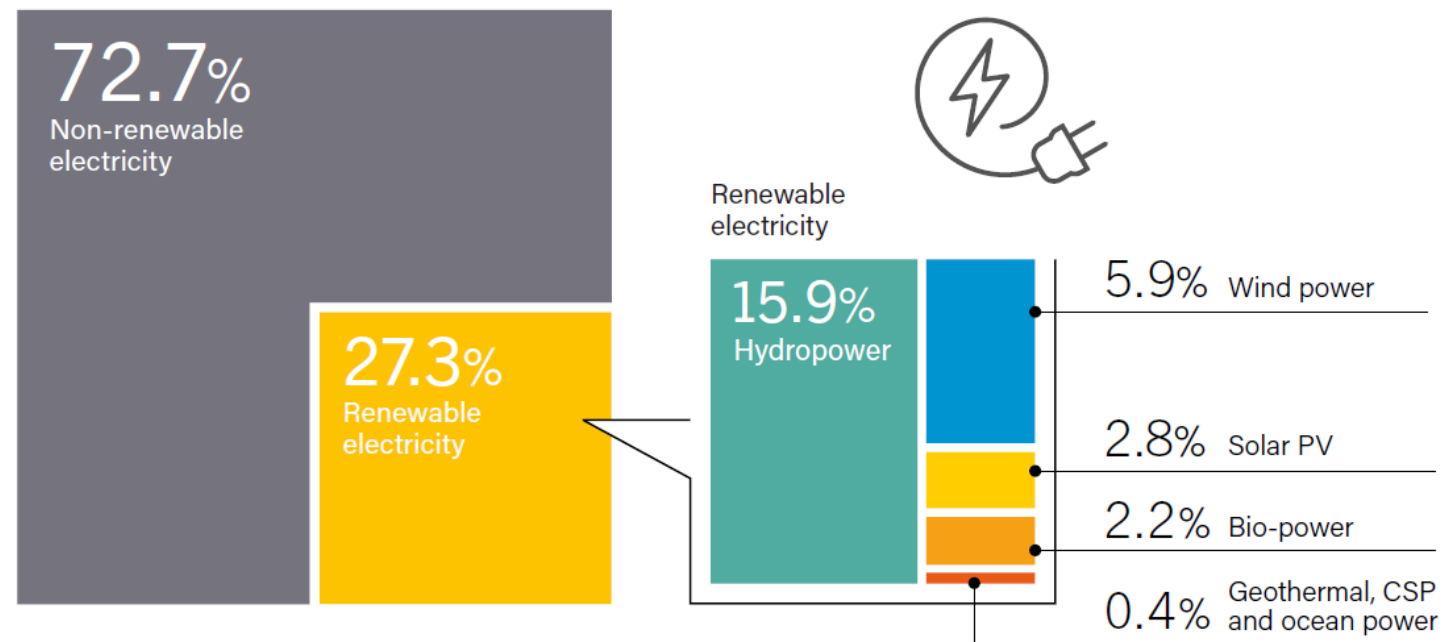
Source:
See Endn
for this se

Note: Solid lines represent commercial pathways, and dotted lines represent developing bioenergy routes.

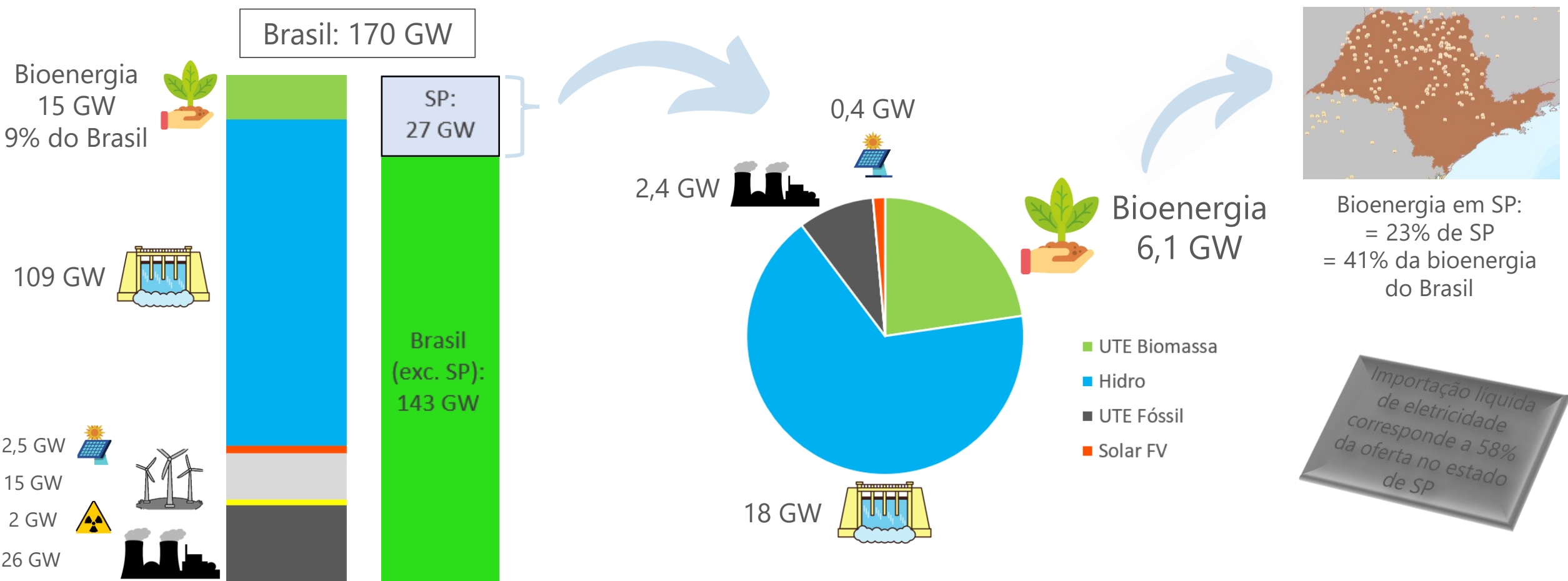
¹ Parts of each feedstock, e.g., crop residues, could also be used in other routes. ² Each route also gives co-products. ³ Biomass upgrading includes any one of the densification processes (pelletisation, pyrolysis, torrefaction, etc.). ⁴ Anaerobic digestion processes release methane and CO₂, and removal of CO₂ provides essentially methane, the major component of natural gas; the upgraded gas is called biomethane. ⁵ Could be other thermal processing routes such as hydrothermal, liquerfaction, etc. DME = dimethyl ether.

Bioeletricidade no mundo

Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2019

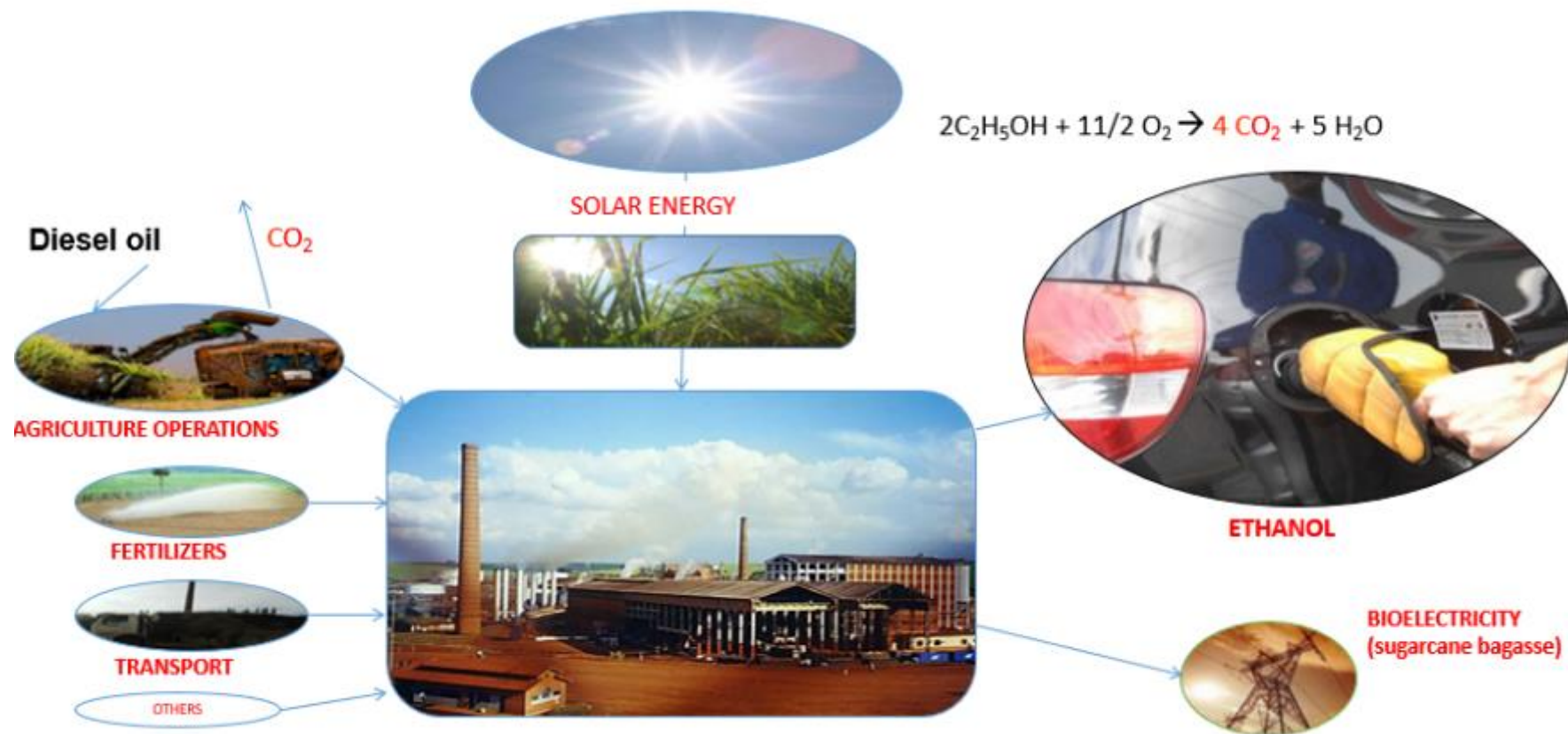


Bioeletricidade no Brasil e em São Paulo (SP)



Fontes: EPE – Balanço Energético Nacional 2020; Governo do Estado de São Paulo – BEESP 2020

Bioenergia para Redução de Emissões de Gases Efeito Estufa

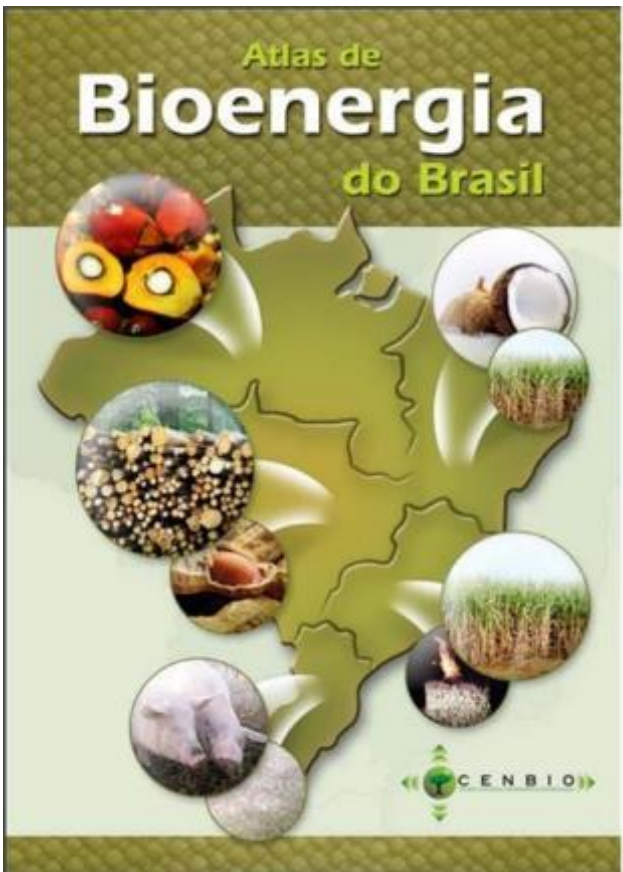


Bioenergia – Uma Fonte de Energia Renovável que contribui para atingir o NDC do Brasil

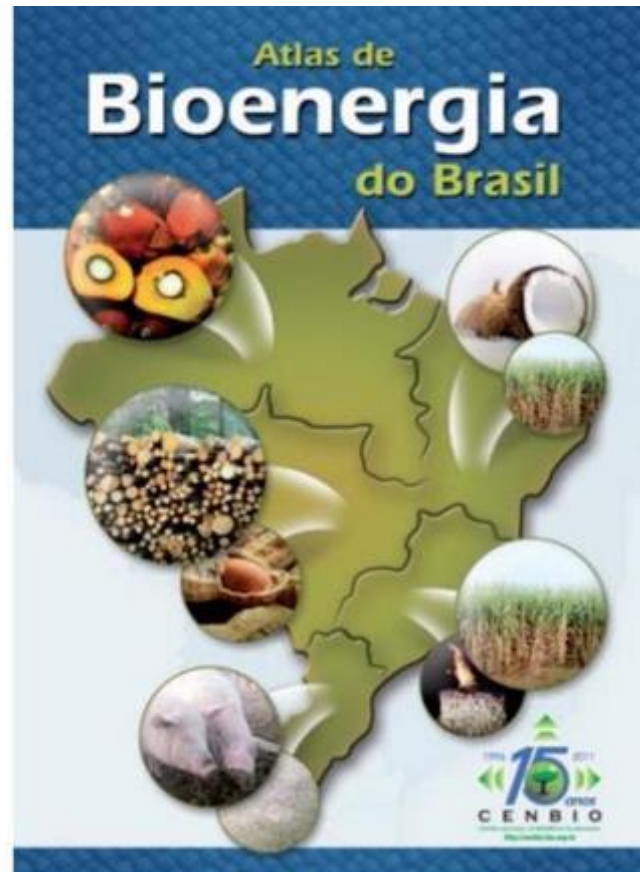


<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>

Atlas de Bioenergia do Brasil – Experiências Anteriores – GBIO (ex-CENBIO)/IEE/USP

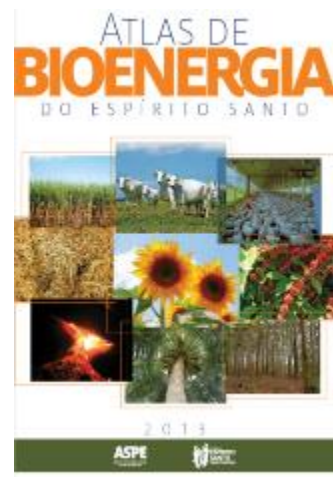
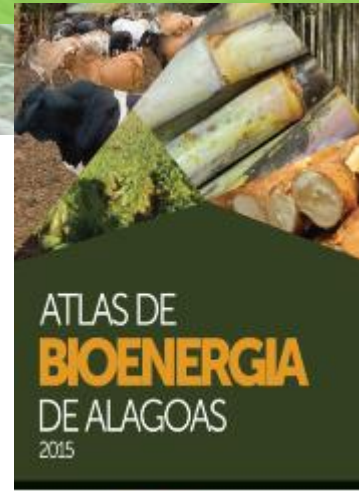
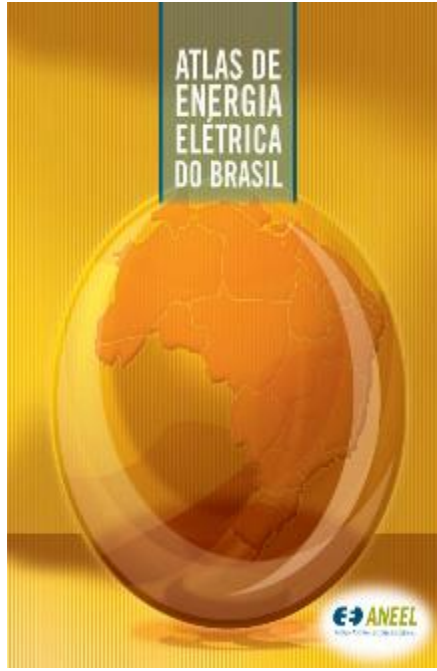


2009



2012

Atlas de Bioenergia Existentes – Experiências Anteriores – Outros estados usaram a metodologia do Atlas de Bioenergia do Brasil





O Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo

Objetivo

Levantar e apresentar espacialmente, por meio de mapas geo-referenciados, o potencial de geração de eletricidade a partir de resíduos de biomassa nos municípios do Estado de São Paulo

Geração de Biometano e Energia Elétrica:

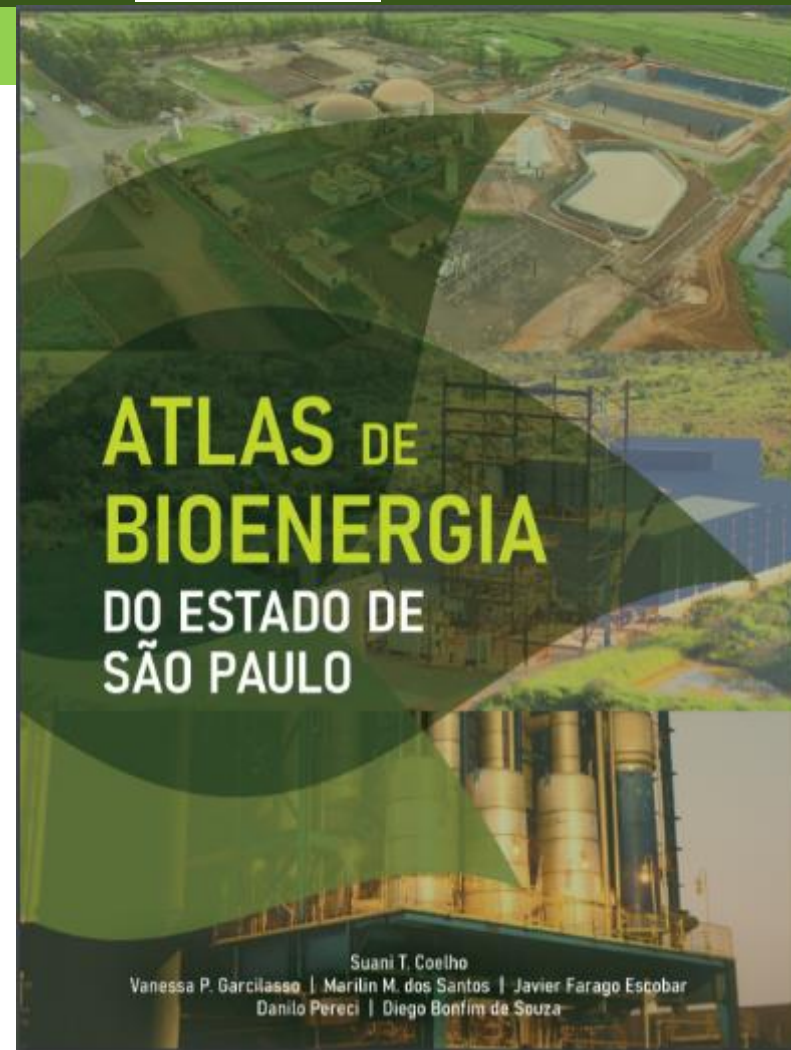
- Resíduos das usinas de cana-de-açúcar (palha/pontas, torta de filtro e vinhaça);
- Resíduos sólidos urbanos (RSU): aterro sanitário e tratamento biológico da fração orgânica do RSU;
- Esgoto doméstico (ETE);
- Resíduos de criação e abate de animais (bovinos, suínos e aves);
- Resíduos da indústria cervejeira

Geração de Energia Elétrica:

- Resíduos das usinas de cana-de-açúcar (cogeração com bagaço de cana)
- Resíduos agrícolas (milho, laranja, soja, feijão e trigo);
- Resíduos do beneficiamento de produtos agrícolas (amendoim, café e milho)
- Resíduos sólidos urbanos (RSU): incineração e gaseificação após a triagem;
- Resíduos de silvicultura (processamento de madeira e resíduos florestais)

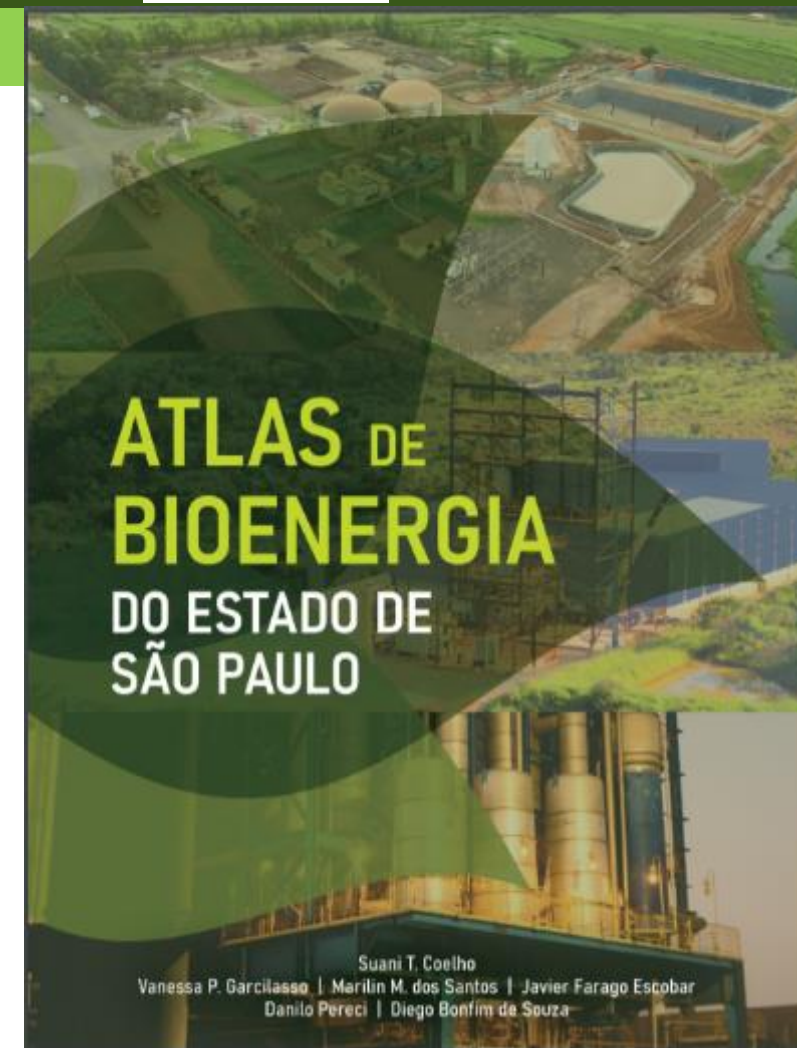
Maapeamento de Recursos Energéticos da Biomassa

- **Biomassa** – recurso energético **disperso geograficamente**:
 - Importante avaliar a quantidade existente e os recursos disponíveis;
 - Elaboração de estratégias para o aumento da participação da biomassa na matriz energética;
 - Discussão de oportunidades para o desenvolvimento social e econômico.
- **Mapas geo-referenciados**:
 - Potencial da quantidade de biomassa disponível;
 - Aproveitamento energético por região e município.
- **Versão interativa**:
 - Diferentes *layers* que podem ser ativados individualmente ou combinados permitem:
 - Seleção do potencial de cada um dos resíduos por município;
 - Seleção da localização das áreas de proteção ambiental e a infraestrutura energética disponível no estado.



Resíduos e Tecnologias de Conversão

Tecnologia de conversão	Aproveitamento energético	Resíduo	Setor
Biodigestão anaeróbia	Energia elétrica ou biometano	Resíduos do abate de bovinos, suínos e aves	Abate animal
		Efluente líquido de cervejarias	Cervejarias
		Dejetos de bovinos, suínos e aves	Criação animal
		Esgoto sanitário	Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)
		Fração orgânica dos RSU (FORSU)	Resíduos sólidos urbanos (RSU)
		Vinhaça, torta de filtro, palha da cana	Sucroalcooleiro
Gaseificação	Energia elétrica	RSU pós-triagem (sem FORSU); potenciais < 10 MW	Resíduos sólidos urbanos (RSU)
Combustão/ Incineração em ciclo a vapor	Energia elétrica	Diversos	Agricultura
		RSU pós-triagem (sem FORSU); potenciais > ou = 10 MW	Resíduos sólidos urbanos (RSU)
		Bagaço de cana	Sucroalcooleiro
		Diversos	Silvicultura



Resíduos do Setor Sucroenergético

- **Potencial de biometano e energia elétrica:** a partir da quantidade de resíduos gerados no processo de produção de etanol nas usinas.
- **Bagaço, palha de cana e torta de filtro:** a partir da quantidade de cana moída em cada município.
- **Vinhaça:** a partir da produção média de etanol nas usinas.
- **Conversão energética da palha, torta e vinhaça:** biodigestão anaeróbia, considerando as duas opções:
 - purificação do biogás para produção de biometano;
 - geração de energia elétrica em grupo moto-gerador.
- **Aproveitamento energético do bagaço:** bagaço disponível na usina será usado para cogeração (geração de energia elétrica e térmica) e geração de excedentes nas usinas.
- **Potencial de geração de excedentes de energia elétrica (cogeração):**
 - diferentes cenários (20 kWh/tc, 40 kWh/tc e 126 kWh/tc).



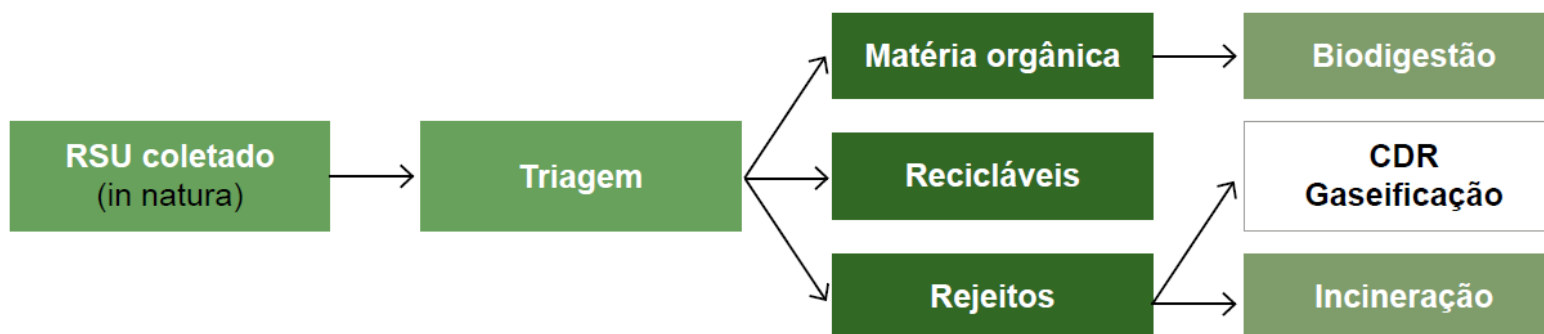
Esgoto Sanitário em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)

- **Estimativa do potencial energético do esgoto sanitário:**
 - População total de cada município do estado
 - Média de geração de esgoto per capita do Brasil (160 l/dia/pessoa).
- **Processo de conversão energética** - processo de biodigestão anaeróbia (UASB), considerando as duas opções:
 - **purificação** do biogás para produção de **biometano**;
 - ou **geração de energia elétrica** em grupo moto-gerador.
- **Dois cenários:**
 - **Cenário real:** considerou-se a **fração atual do esgoto coletado** em cada município que é encaminhada para a ETE;
 - **Cenário ideal:** considerou-se que **todo o esgoto** produzido em cada município é coletado e encaminhado para tratamento em ETE.



Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

- **Estimativa do potencial energético dos RSU:**
 - População total de cada município do estado
 - Adotada a média de geração de resíduos per capita de acordo com o número de habitantes de cada município (SMA, 2017 - Plano Estadual de Resíduos Sólidos – SP).
- **Duas opções:**
 - Disposição em **aterros sanitários**, ou
 - Conversão energética do biogás produzido a partir da fração orgânica dos RSU (FORSU) em conjunto com o uso de tecnologias de **aproveitamento energético (Waste to Energy – WtE) – PNSR**



Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro Sanitário

Dois cenários para potencial de energia a partir de disposição em aterro sanitário:

- **Cenário real**, adotou-se a **fração atual de RSU coletado** (percentual de RSU coletado em relação ao produzido) em cada município que é encaminhada para o aterro sanitário;
- **Cenário ideal**, assumiu-se que **todo** o RSU produzido em cada município é coletado e encaminhado para o aterro sanitário.



Resíduos Sólidos Urbanos – Waste to Energy (WtE)

- **Uso da tecnologia WtE mais adequada a cada município:** atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (incineração ou gaseificação).
- **Hipóteses:** todo o RSU produzido em cada município é coletado e encaminhado para triagem (separação dos recicláveis e da matéria orgânica/FORSU)
 - FORSU - enviada para tratamento de biodigestão anaeróbia, com produção de biogás.
 - Resíduo resultante da triagem e da separação: encaminhado para incineração ou gaseificação, dependendo da quantidade de resíduo disponível no município;
 - **Pequenos e médios municípios** (Potencial abaixo de 10 MW): processo de **gaseificação** dos RSU (com a prévia conversão dos RSU em CDR), sendo o gás de síntese produzido alimentado em moto gerador para a geração de energia elétrica;
 - **Municípios maiores** (acima de 800 mil habitantes, com potencial acima de 10 MW): processo de **incineração** dos RSU.

Utilizados os fatores de conversão a partir de plantas existentes no país, sendo que as tecnologias selecionadas satisfazem obrigatoriamente os padrões de emissões definidos pela legislação ambiental.



Resíduos do Setor de Pecuária

- Processo de **biodigestão anaeróbia**:
 - **Abate de animais**: bovinos, suínos e aves;
 - **Criação animal**: bovinocultura, suinocultura e avicultura.
- Conversão energética:
 - **Purificação** do biogás para produção de biometano ou
 - **Geração de energia elétrica** em grupo moto-gerador.



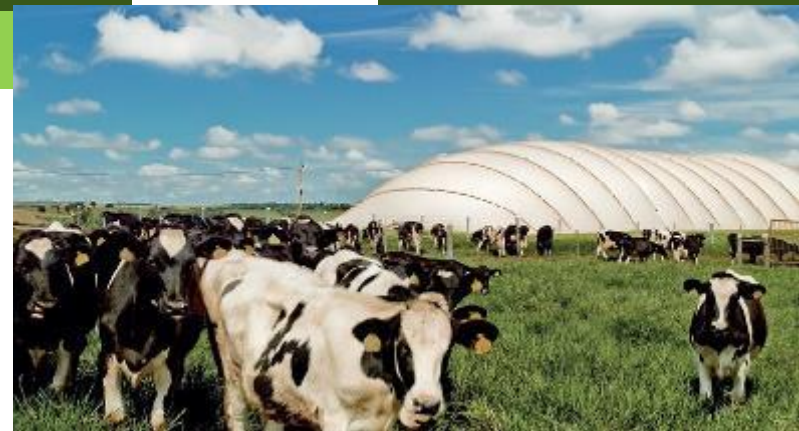
Resíduos do Setor de Pecuária – Abate de Animais

- Para a estimativa do potencial energético dos resíduos produzidos no abate de animais (bovinos, suínos e aves): conteúdo orgânico dos **efluentes líquidos resultantes dos processos**.
- Os demais resíduos (como sangue, gorduras etc.), não foram considerados
 - Valor comercial
 - Destinados a outros usos de maior valor agregado.
- Em termos de logística, adotou-se a hipótese de que o abate acontece no mesmo local onde ocorre a criação animal.



Resíduos do Setor de Pecuária – Criação Animal

- **Bovinocultura:** dejetos produzidos durante o período de confinamento do bovino de corte e do bovino leiteiro.
- **Suinocultura:** dejetos gerados durante o período de engorda.
 - Regime de confinamento
 - Taxa de geração de dejetos diário é função do peso do animal.
- **Avicultura:** dejetos produzidos durante a criação de aves de corte e aves de postura.
 - Regime de confinamento,
 - Taxa de geração de dejetos e função do peso diário do animal.



Resíduos do Setor de Alimentos e Bebidas

- Setor de Alimentos e Bebidas: o grupo de **Cervejarias** para o estudo do potencial energético dos resíduos.
- Conteúdo orgânico dos **efluentes líquidos gerados no processo**
- **Demais resíduos possuem valor comercial** - outra destinação mais adequada.
- Conversão energética - **processo de biodigestão anaeróbia**, considerando as duas opções:
 - **Purificação do biogás** para produção de biometano ou
 - **Geração de energia elétrica** em grupo moto-gerador.



Resíduos Agrícolas

A estimativa do potencial de geração de energia a partir dos resíduos de culturas agrícolas, considerou os dados de área plantada e rendimento de processamento industrial das principais culturas agrícolas (temporárias e permanentes) em agroindústrias.

- **Resíduos agrícolas no campo:** foram selecionados os resíduos das culturas agrícolas mais relevantes no estado:
 - Laranja (resíduos da poda)
 - Milho (resíduos da colheita: colmo, folha e palha)
 - Feijão (resíduos da colheita: palha)
 - Soja (resíduos da colheita: palha)
 - Trigo (resíduos da colheita: palha)
- **Resíduos de agroindústrias:** processamento industrial das culturas agrícolas:
 - Amendoim (resíduos do beneficiamento: casca)
 - Café (resíduos do beneficiamento: casca)
 - Milho (resíduos do beneficiamento: sabugo)



Resíduos de Silvicultura

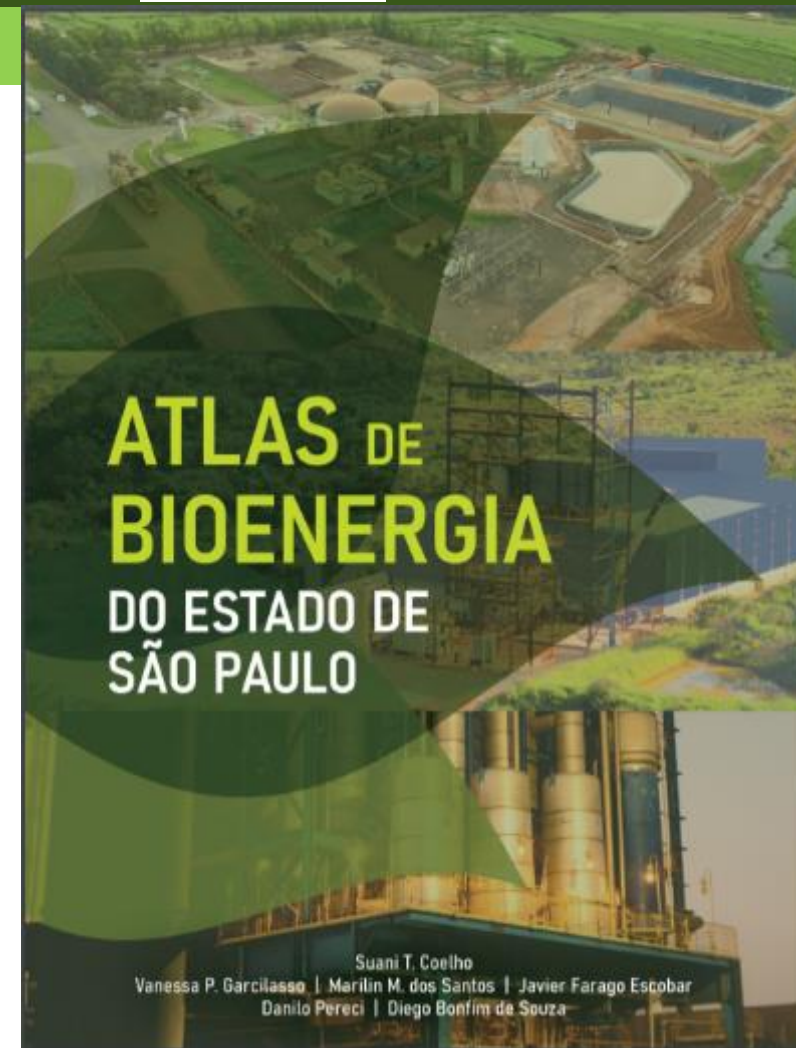
- **Hipótese:** considerando os resíduos da madeira em toras (para processamento) e do manejo florestal de campo.
- **Conversão dos resíduos de silvicultura** em energia: sistema convencional de turbina a vapor, ciclo Rankine.
- **Resíduos do processamento de madeira em serrarias:**
 - Processamento mecânico: geração de 50% de resíduo (na forma de maravalha, pó de serra e costaneiras, entre outros).
- **Resíduos do manejo florestal:**
 - 10% da área total existente de efetivos da silvicultura, na forma de galhos deixados no campo;
 - Volume de produtividade florestal de 40m³/ha/ano para o plantio de florestas do gênero *Eucalyptus ssp.*, e *Pinus ssp.*;
 - Densidade básica média das espécies de 0,45 t/m³ (estéreo).



Municípios com Maiores Potenciais

MUNICÍPIO	BIOGAS TOTAL POR MUNICIPIO (Nm ³ /ANO)	BIOMETANO TOTAL POR MUNICIPIO (Nm ³ /ANO)	TOTAL ENERGIA ELÉTRICA POR MUNICÍPIO (MWh/ANO)
GUAÍRA	502.564.774	267.935.051	2.771.100
SERTÃOZINHO	467.843.781	249.574.606	2.484.364
MORRO AGUDO	354.920.656	189.094.384	1.915.099
SÃO PAULO	267.506.734	157.596.256	1.778.203
ARIRANHA	291.810.171	155.320.995	1.572.373
PIRASSUNUNGA	282.598.668	150.468.097	1.567.103
PITANGUEIRAS	294.052.503	156.887.154	1.557.437
PRADÓPOLIS	279.625.228	148.301.335	1.555.471
NOVO HORIZONTE	268.567.785	143.419.968	1.419.241
PONTAL	256.032.004	136.499.694	1.364.792

Fonte: Elaboração dos autores.



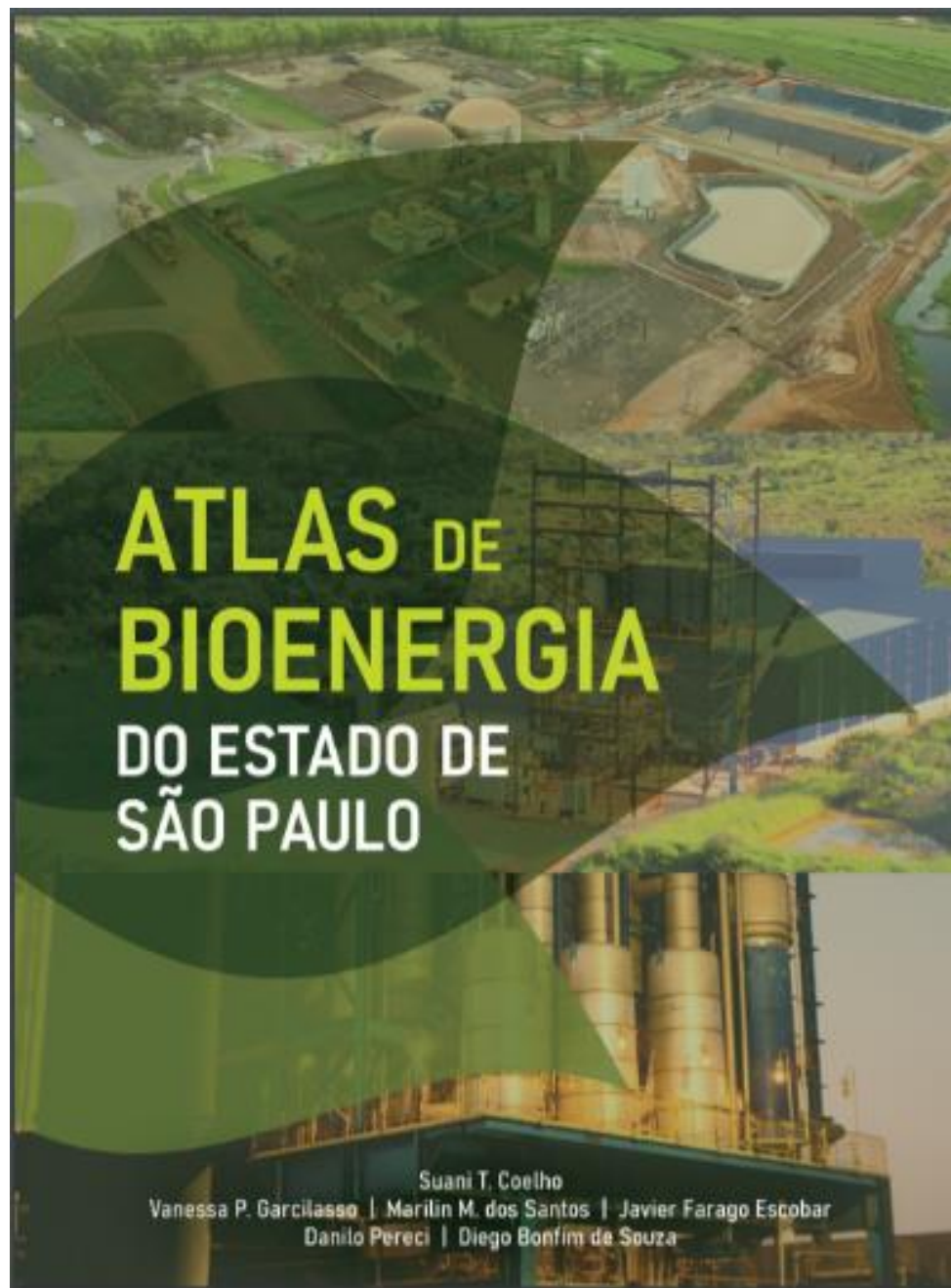
Potencial de Energia Elétrica no Estado de São Paulo – ano base 2017 – Comparação com o consumo no estado

Fonte dos resíduos	Potencial de Energia Elétrica Disponível	Relação entre Potencial de produção e consumo de energia elétrica (%)		
	TWh/ano	Consumo residencial	Consumo industrial	Outros setores*
Sucroalcooleiro (vinhaça + torta)	7,2	18,1	14,8	16,5
RSU - Aterro (Cenário ideal)	3,1	7,8	6,4	7,1
RSU - Aterro (Cenário Real)	3,1	7,8	6,4	7,1
RSU – Biodigestão FORSU	1,6	4,1	3,3	3,7
RSU - Incineração	1,5	3,6	3,0	3,3
RSU - Gaseificação	1,9	4,8	3,9	4,3
ETE (Cenário Ideal)	0,4	0,9	0,8	0,9
ETE (Cenário Real)	0,37	0,9	0,8	0,9
Criacao de Animais	0,8	2,1	1,7	1,9
Abate Animal	0,0	0,1	0,1	0,1
Resíduos da Agricultura	4,9	12,4	10,1	11,2
Industria de bebidas	0,1	0,2	0,1	0,2
Silvicultura	2,9	7,2	5,9	6,5
Bagaço (excedentes de cogeração)	46,1	115,3	94,1	104,8

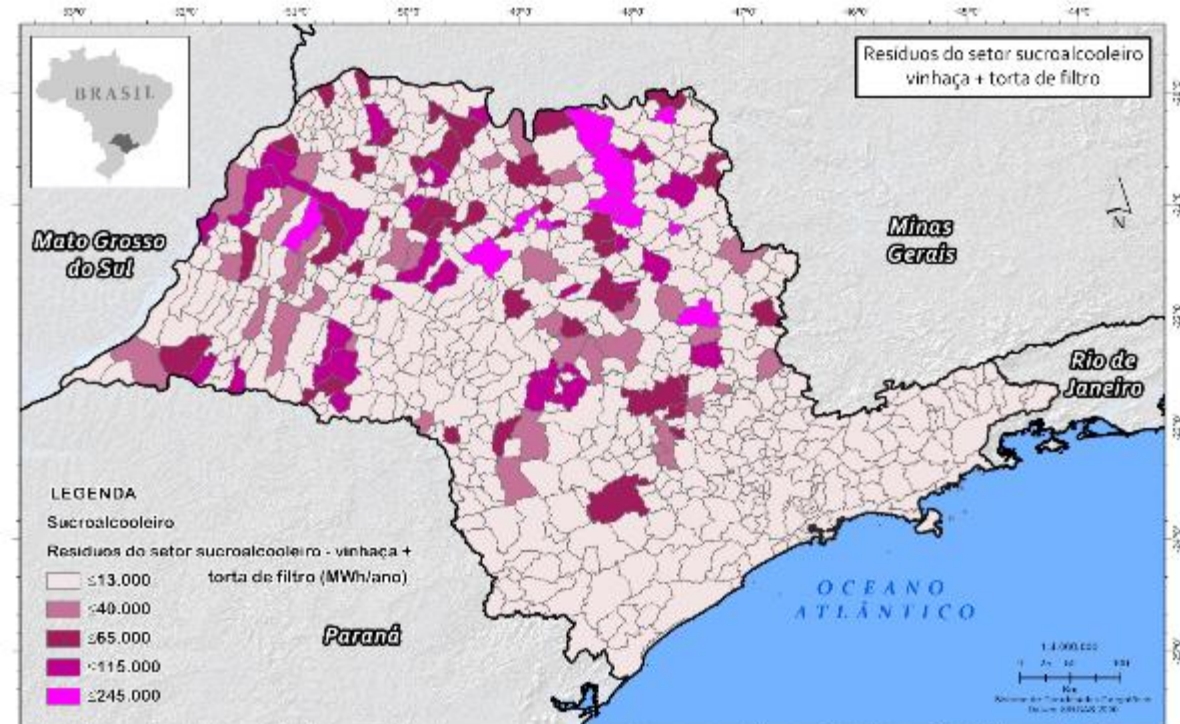
Fonte: Elaboração dos autores.

Mapas Geo- referenciados do Potencial de Energia Elétrica no Estado de São Paulo

Atlas de Bioenergia do
Estado de São Paulo



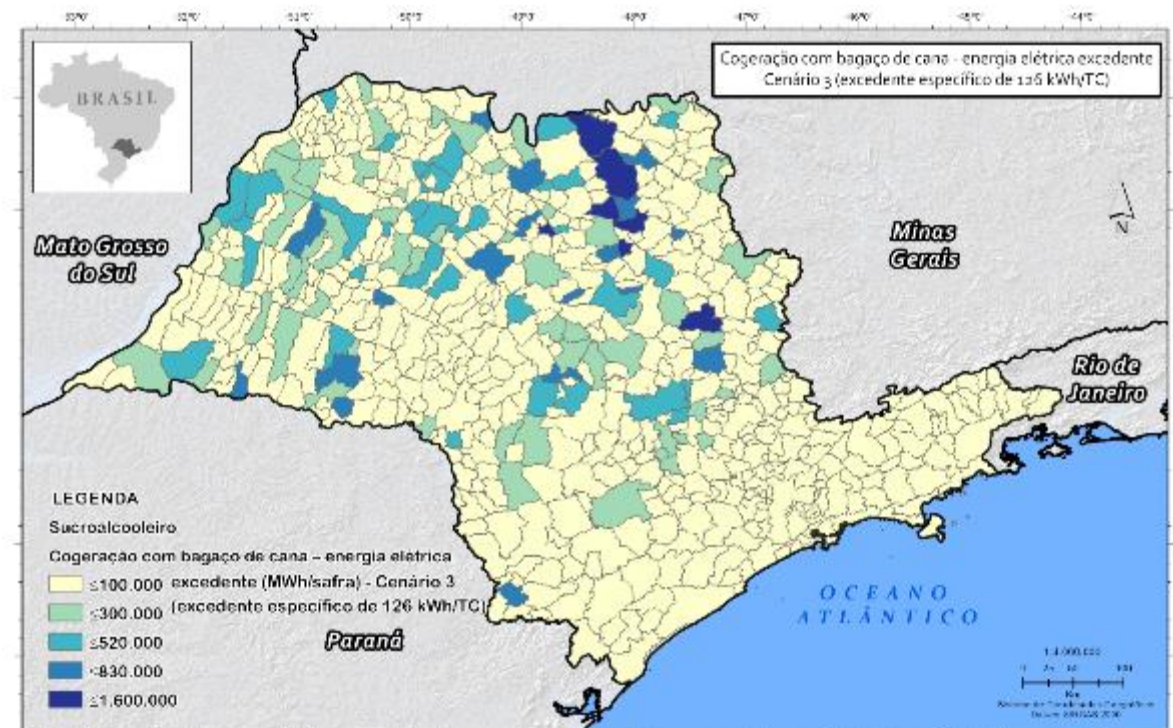
Potencial Geo-referenciado de Energia Elétrica no Estado de São Paulo – Setor Sucroenergético



ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Potencial teórico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do estado de São Paulo a partir de resíduos de biomassa.

Elaboração: GRID3E/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL PD-02051-005/2017



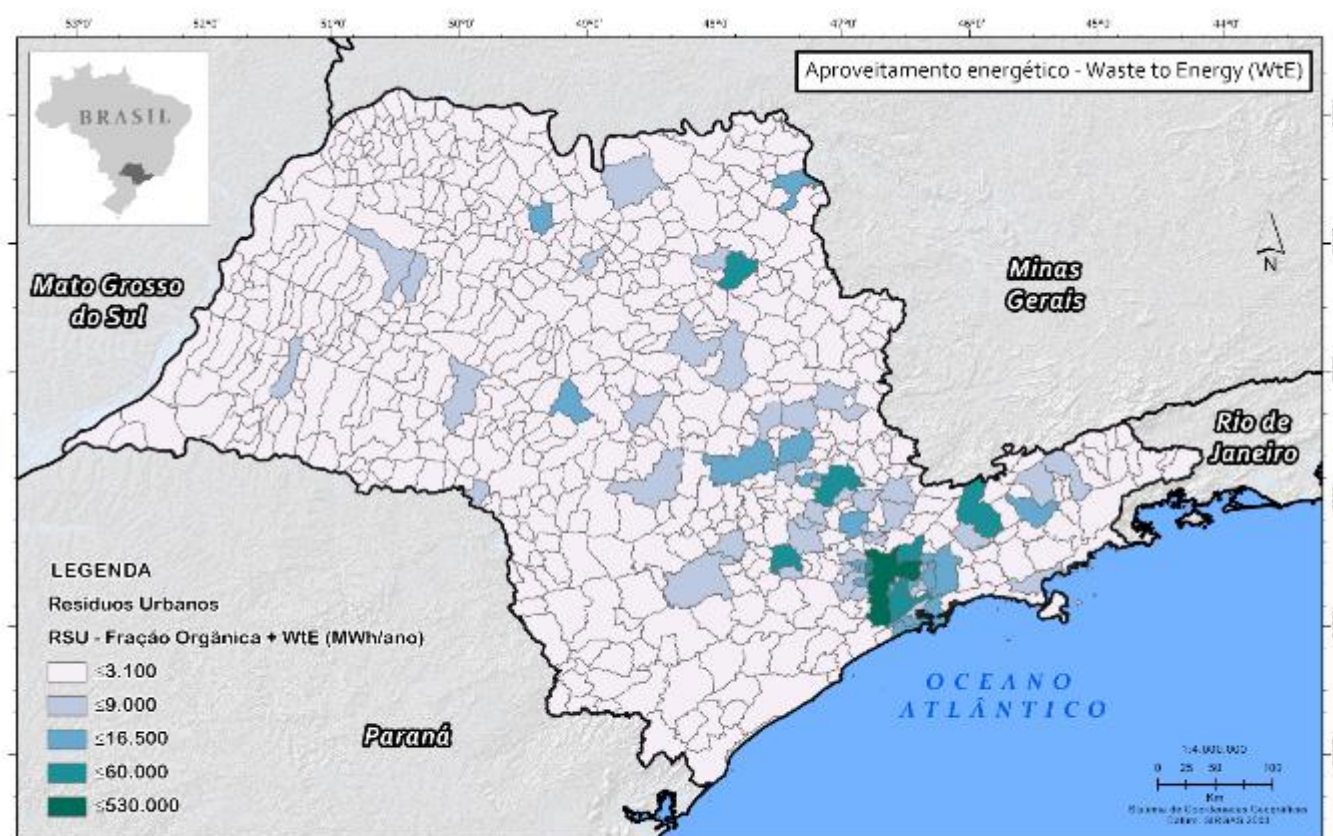
ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Potencial teórico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do estado de São Paulo a partir de resíduos de biomassa.

Elaboração: GRID3E/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL PD-02051-005/2017

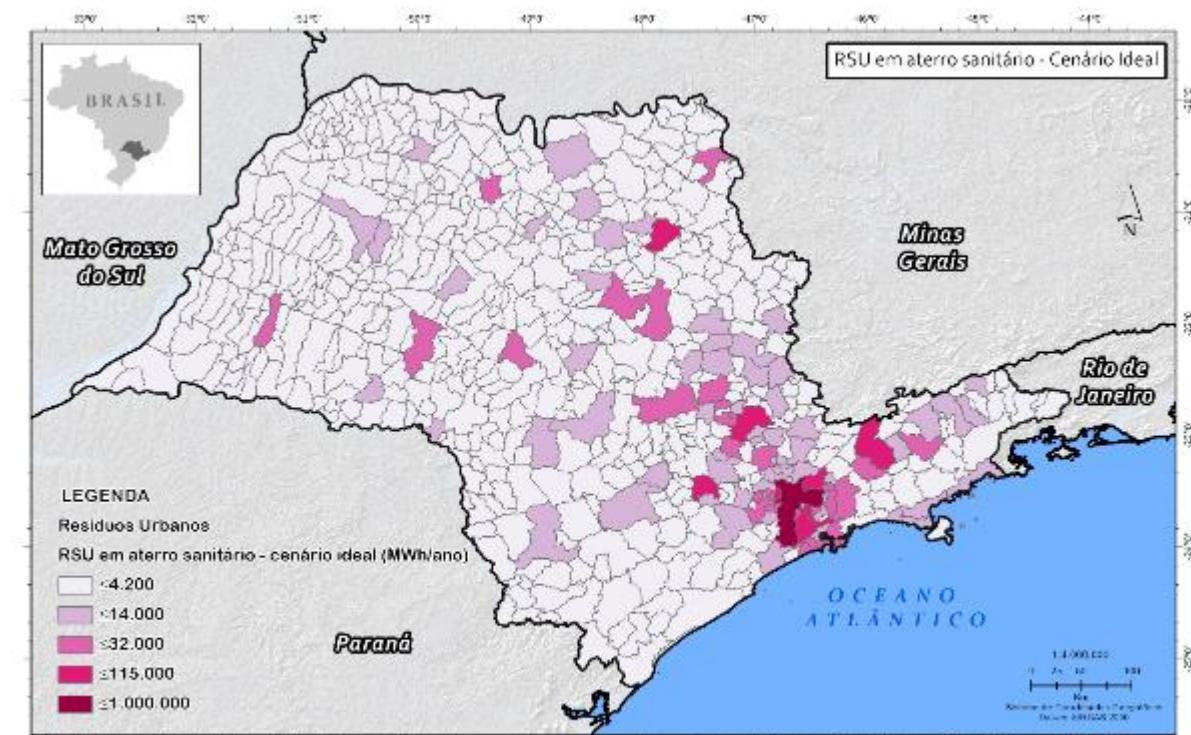
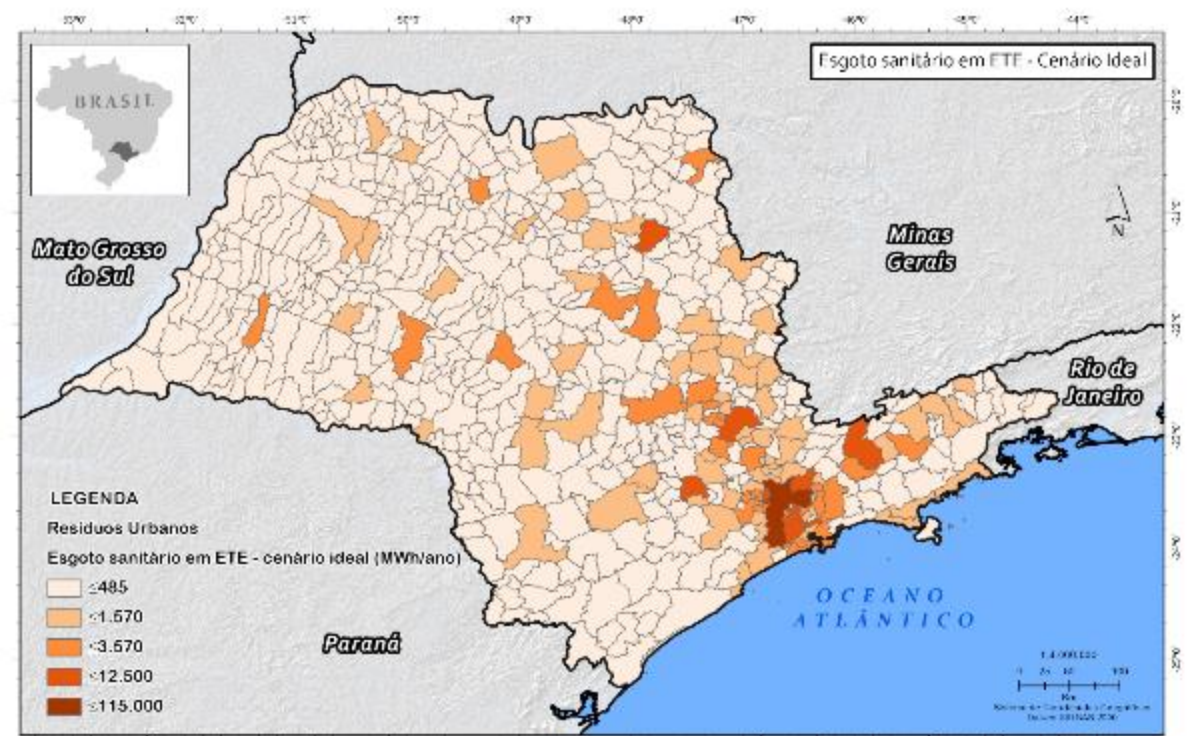


Potencial Geo-referenciado de Energia Elétrica no Estado de São Paulo – Processos WtE dos RSU

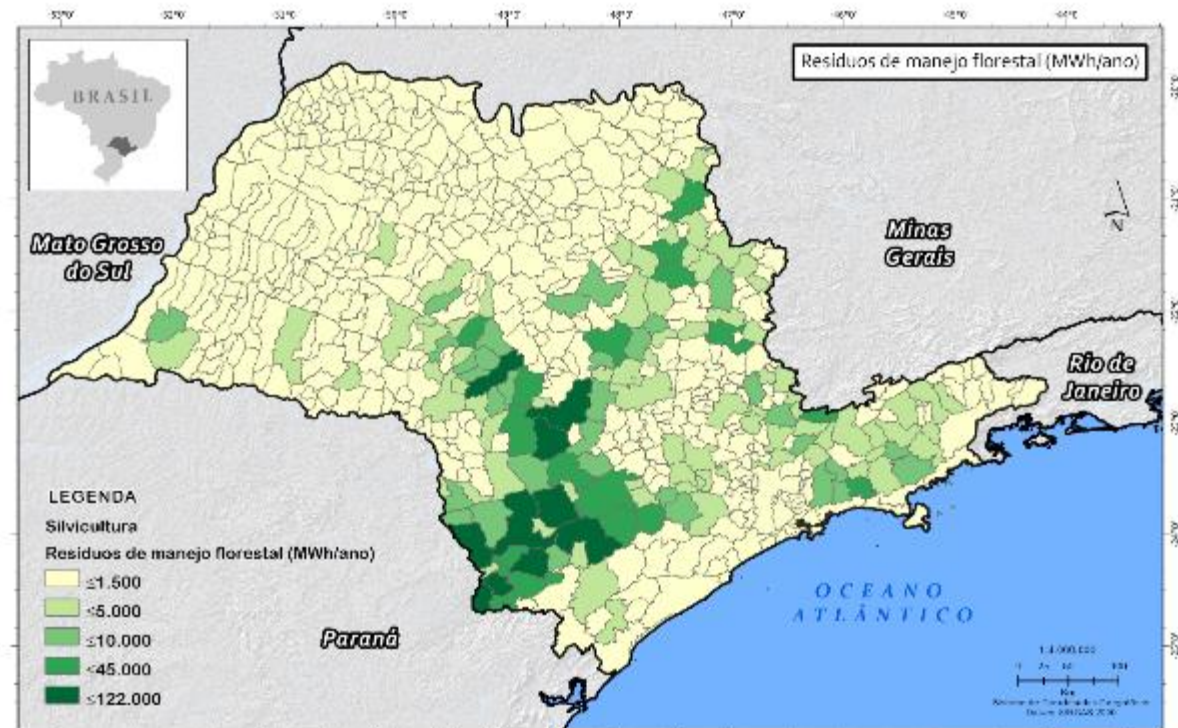
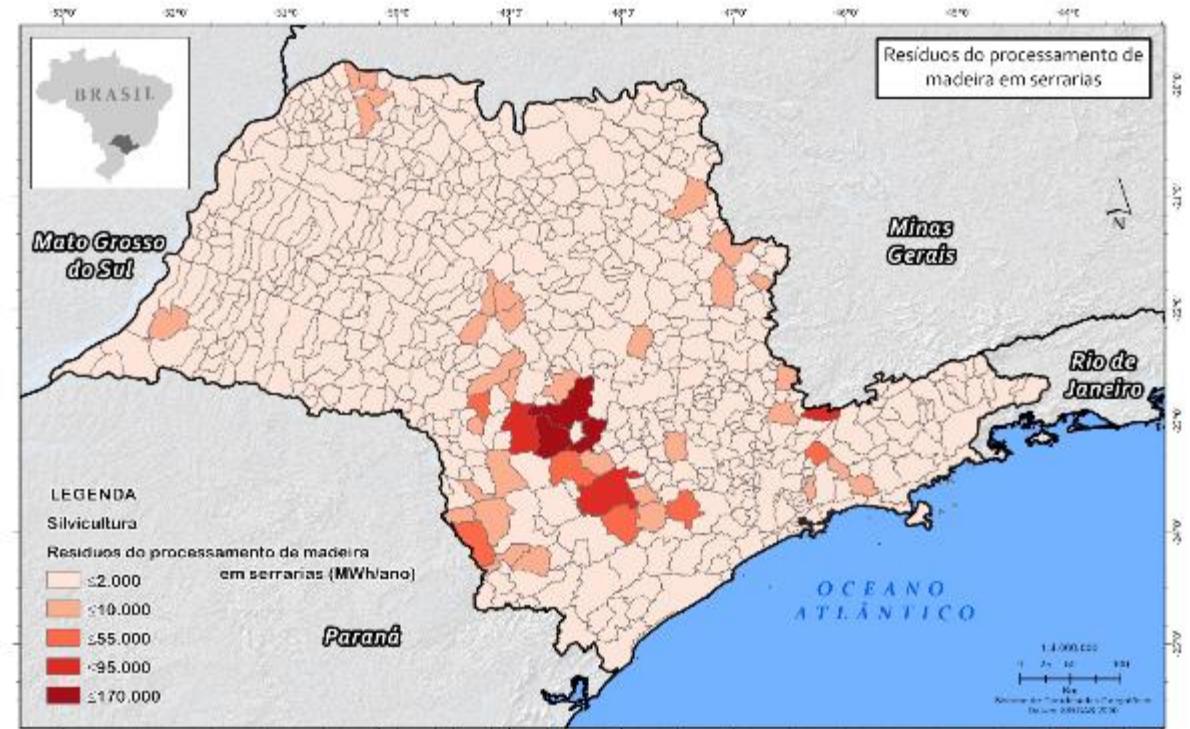


ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO
Potencial técnico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do Estado de São Paulo a partir da destinação de resíduos
Elaboração: GIBIOEE/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL PD 00081-0057/2017

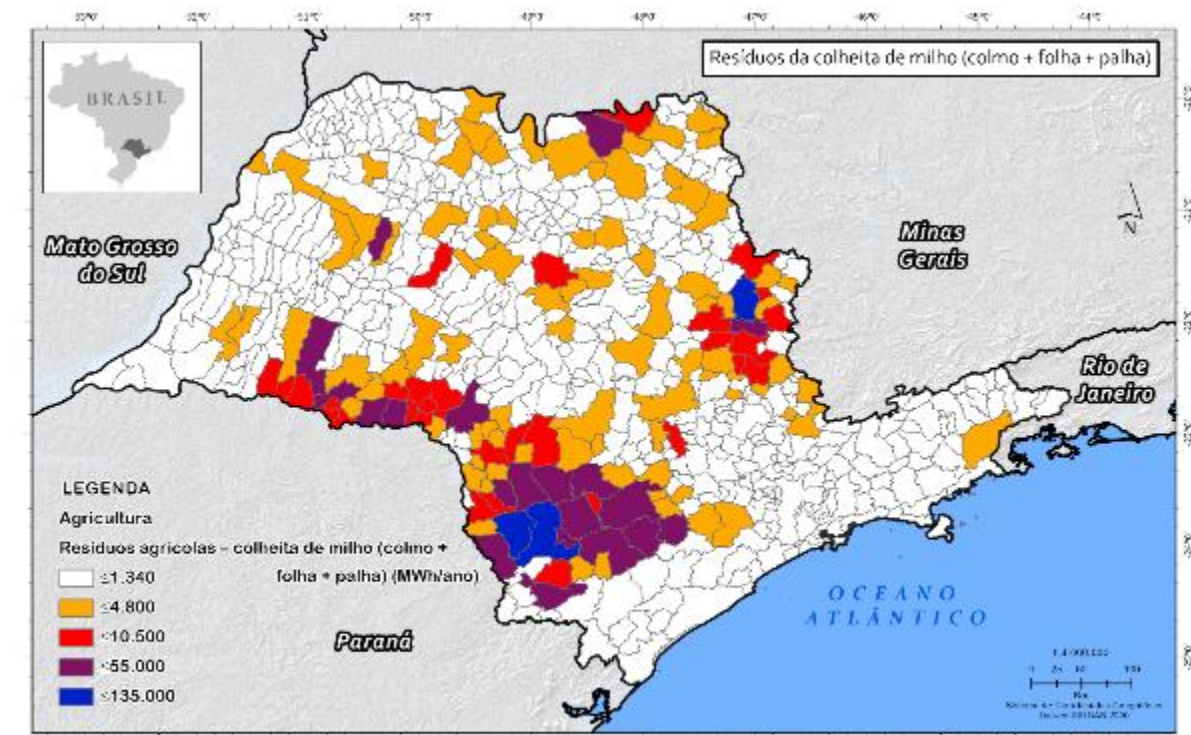
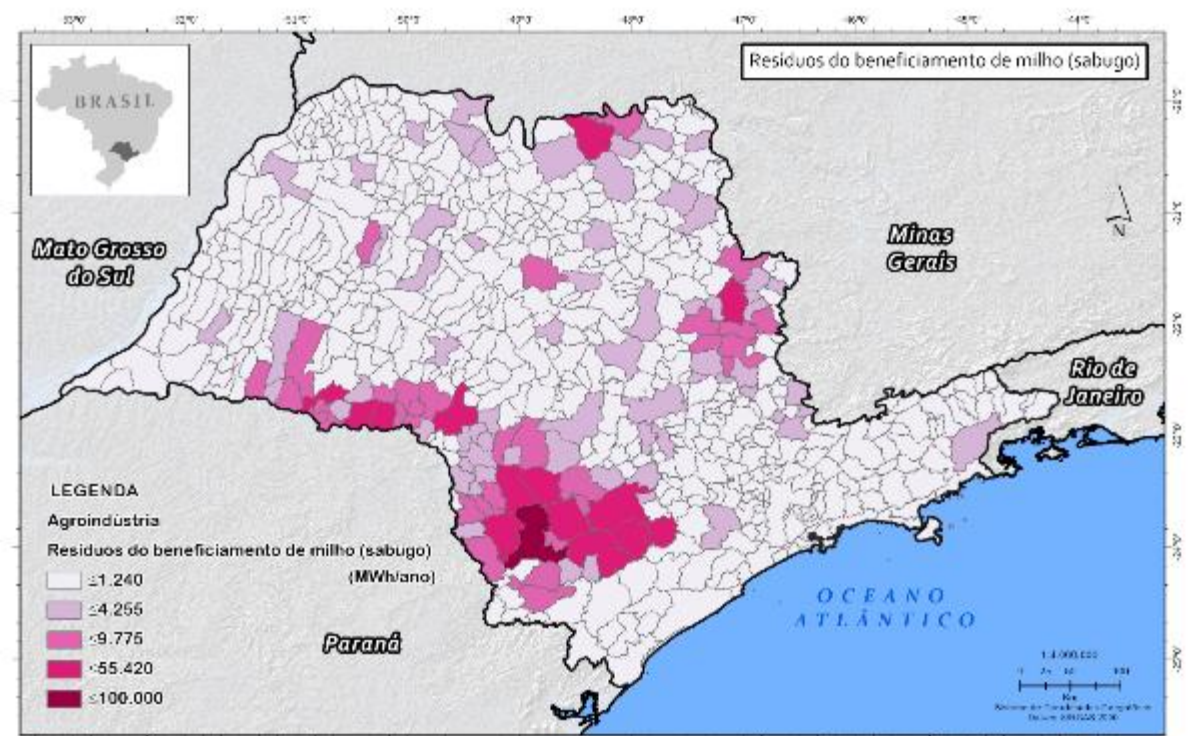
Potencial Geo-referenciado de Energia Elétrica no Estado de São Paulo a partir de biogás – Resíduos Urbanos



Potencial Geo-referenciado de Energia Elétrica no Estado de São Paulo – Setor de Silvicultura

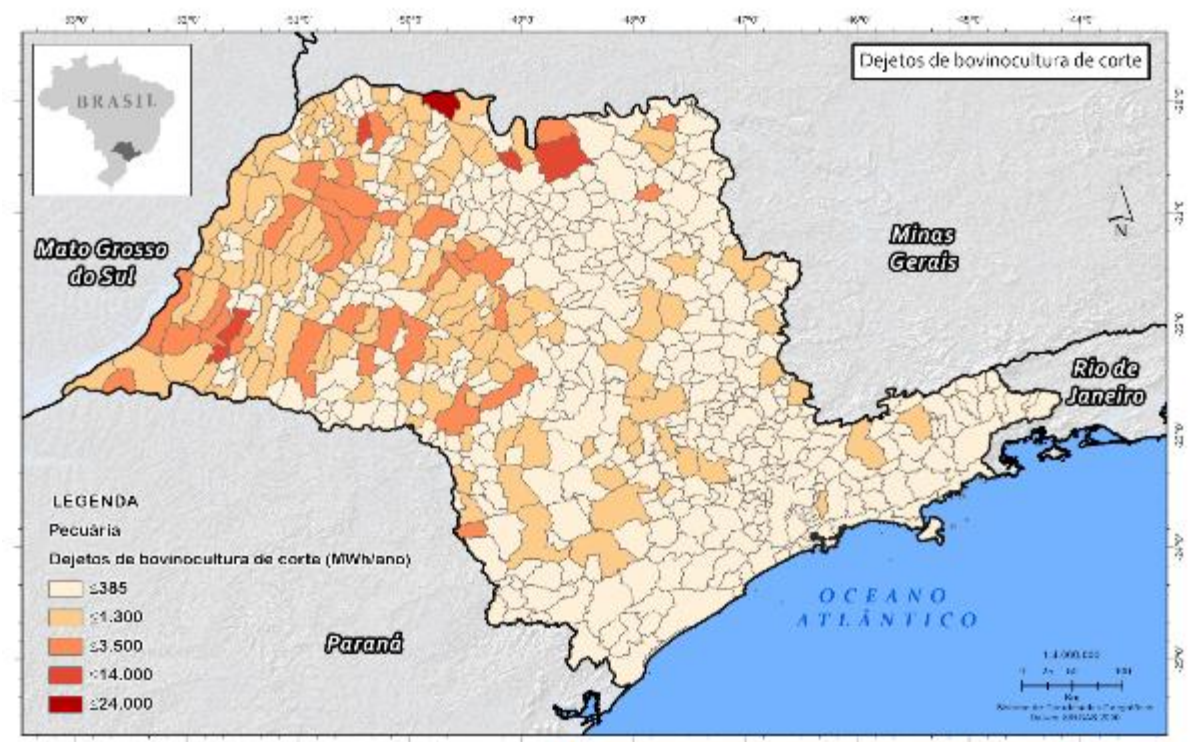


Potencial Geo-referenciado de Energia Elétrica de Resíduos Agrícolas e Agro-industriais – Resíduos da cultura e processamento de milho (ex)



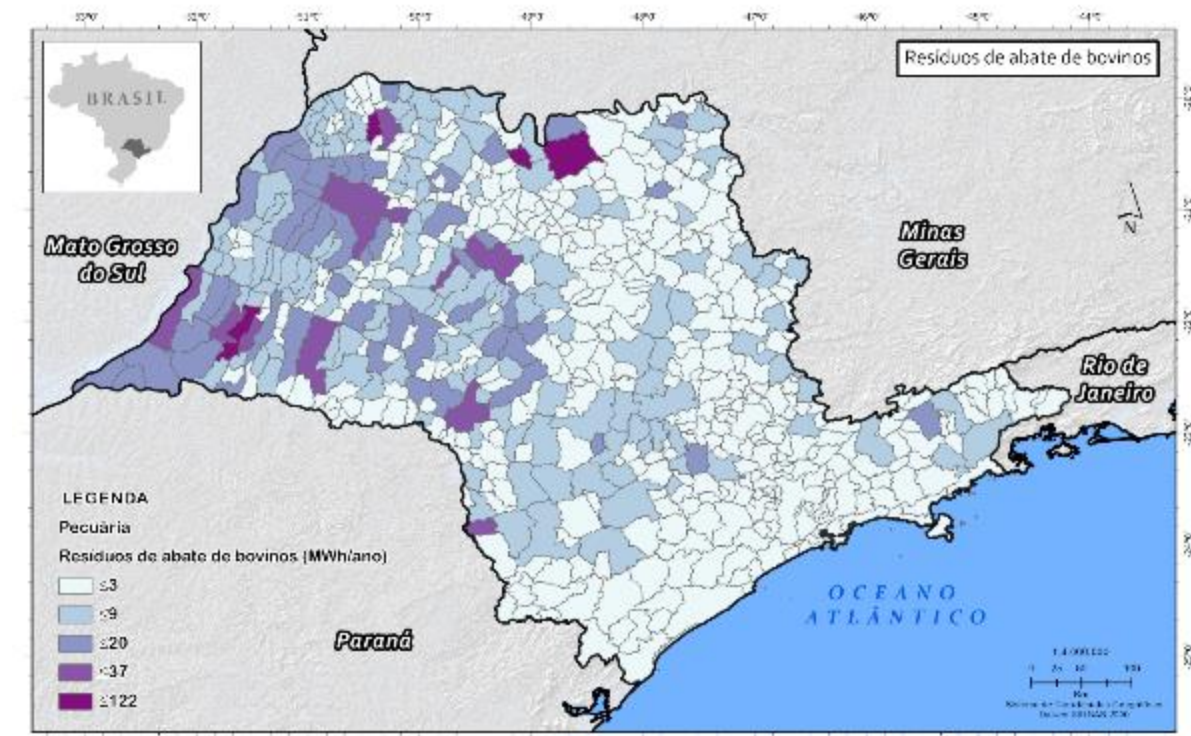
ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO
Potencial teórico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do Estado de São Paulo a partir de resíduos de biomassa
Elaboração: GIBIOE/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL PD 02051-005/2017

Potencial Geo-referenciado de Energia Elétrica de Resíduos Animais – Resíduos da criação e abate de bovinos (ex)



Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo
Potencial teórico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do estado de São Paulo a partir de resíduos de biomassa
Elaboração: GBIOTER/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL PD 02051-005/2017

Logos: IEE USP, GRUPO DE PESQUISA EM BIOENERGIA, CESP, PD 1 Pesquisa Desenvolvimento & Inovação, ANEEL



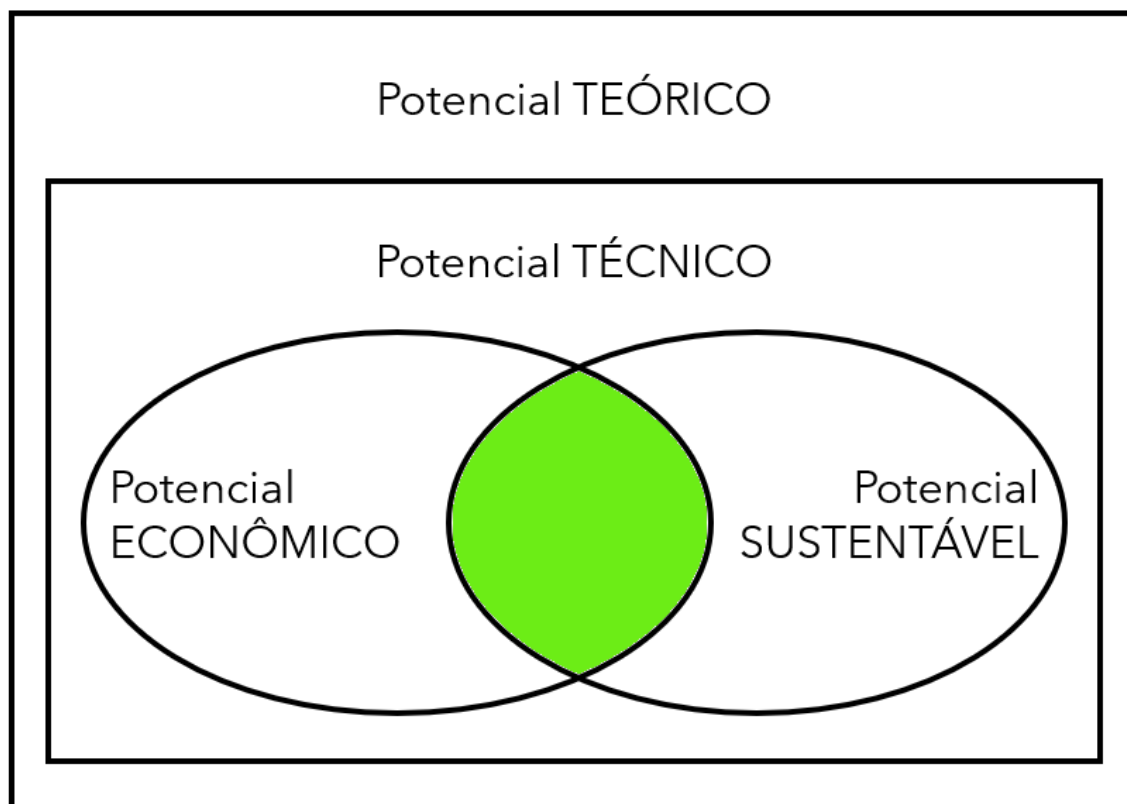
Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo
Potencial teórico de geração de energia elétrica produzida nos municípios do estado de São Paulo a partir de resíduos de biomassa
Elaboração: GBIOTER/USP 2020 - Projeto P&D ANEEL PD 02051-005/2017

Logos: IEE USP, GRUPO DE PESQUISA EM BIOENERGIA, CESP, PD 1 Pesquisa Desenvolvimento & Inovação, ANEEL

- Metodologia para elaboração do Atlas: Potencial técnico
 - Disponibilidade teórica de resíduos
 - Quantidades disponíveis
 - Rendimento de conversão de acordo com a tecnologia selecionada e mais adequada
- Padrões de Sustentabilidade

CONCLUSÕES

ATLAS DE BIOENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO



- Políticas e incentivos para bioenergia têm o papel de **maximizar a intersecção marcada em VERDE, visando a:**
 - **Desenvolver todo o potencial sustentável**
 - **Diminuir o potencial econômico não-sustentável**
 - Ou seja, incentivar e garantir que o mercado desenvolva o que é desejável ambiental e socialmente, mas apenas isto
- Potencial de resíduos, especialmente os concentrados, tende a ser sustentável
- Investimento direto e políticas para P&D podem **aumentar os potenciais técnico, econômico e sustentável: mais bioenergia a ser desenvolvida!**

- Distribuição de eletricidade no estado: homogênea
 - Potencial de geração de eletricidade pode ser aproveitado no curto e médio prazo
 - Exemplo do setor sucroenergético
- Distribuição de gás natural: heterogênea
 - Municípios sem acesso ao GN
 - Gasodutos dedicados para biometano

- Visualização dos mapas e *layers* permite verificar em detalhes os potenciais
- Identificação de estratégias adequadas
- *Hubs* de bioenergia
- Perspectivas de projetos futuros
 - Avaliação econômica do potencial
 - Análise das políticas existentes e propostas de aperfeiçoamento

Obrigada!

suani@iee.usp.br
www.iee.usp.br/gbio

Agradecimentos

CESP

ANEEL
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
P&D - Programa de Pesquisa
e Desenvolvimento

unesp

USP

IEE USP
INSTITUTO DE
ENERGIA E AMBIENTE

Funep

MRTS
CONSULTORIA

