



# Programa de Pós-Graduação em Energia

**PEN 5014**

**Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e  
Utilização**

**APROVEITAMENTO ENERGETICO DE RESIDUOS  
SOLIDOS URBANOS**

**Prof. Suani Coelho**

**São Paulo, 4 de dezembro de 2020**

# MUNICIPAL SOLID WASTE ENERGY CONVERSION IN DEVELOPING COUNTRIES

- ❖ **Editor-in-chief:**  
**Suani Coelho – IEE/USP – Brazil**
- ❖ **Co-editor-in-chief:**  
Alessandro Sanches-Pereira – IEE/USP – Brazil
- ❖ **Regional editors:**
  - Latin America : Daniel Bouille, Marina Recalde & Attilio Salvino – Fund Bariloche - Argentina
  - Asia: Shyamala Mani – NIUA - India
  - Africa: William Stafford – CSIR - South Africa
- 35 authors (from LA, Asia, Africa)
- Bibioteca do IEE



## Municipal Solid Waste Energy Conversion in Developing Countries

1st Edition

Technologies, Best Practices, Challenges and Policy

[View on ScienceDirect](#) ↗



☆☆☆☆☆ [Write a review](#)

**Editors:** Suani Coelho, Alessandro Pereira, Shyamala Mani, Daniel Bouille, William Stafford, Marina Recalde, Atilio Savino

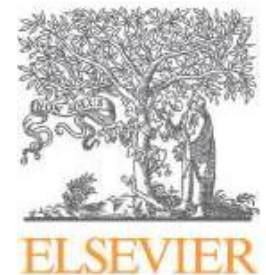
**Paperback ISBN:** 9780128134191

**eBook ISBN:** 9780128134207

**Imprint:** Elsevier

**Published Date:** 15th October 2019

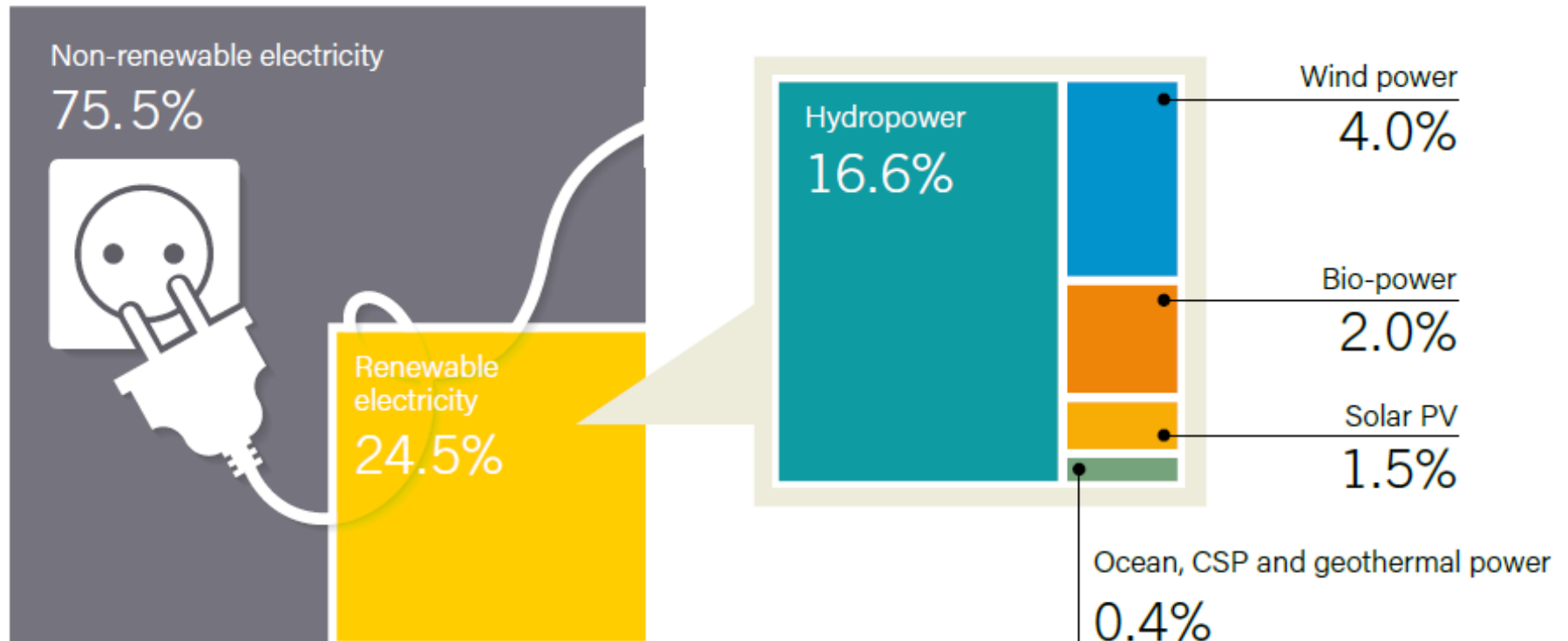
**Page Count:** 290





<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia/e-book-tecnologias-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-de-biog%C3%A1s-e-biometano>

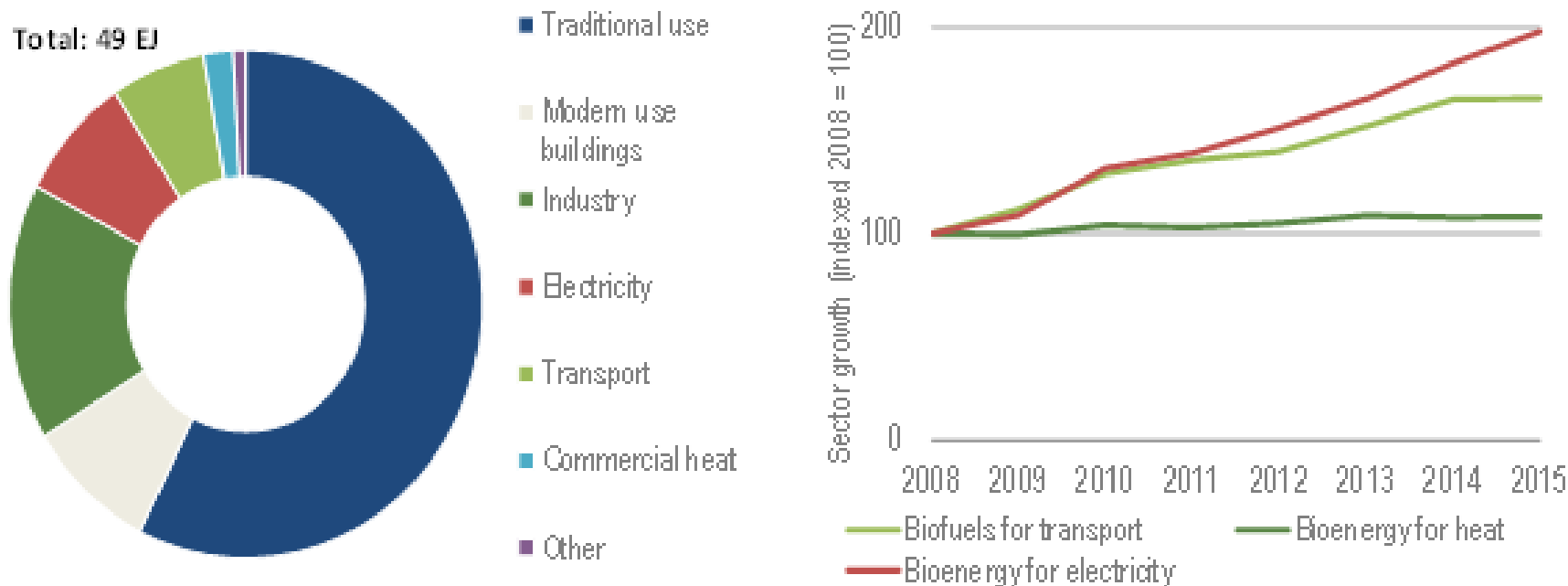
**Figure 4.** Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2016



Fonte: REN 21 Global Status Report (2017)



**Figure 2 • Consumption of biomass and waste resources by end use in 2015 (left) and modern bioenergy growth by sector (2008-15)**

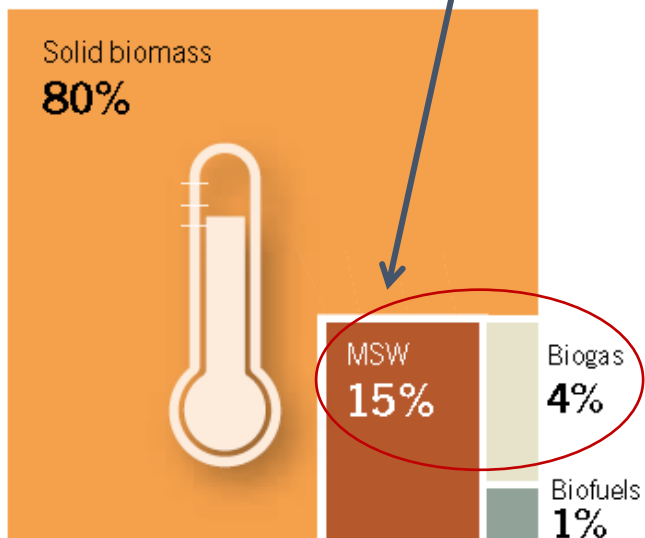


Source: IEA (2017a), Market report series: Renewables 2017; IEA (2017d), World Energy Statistics and Balances 2017

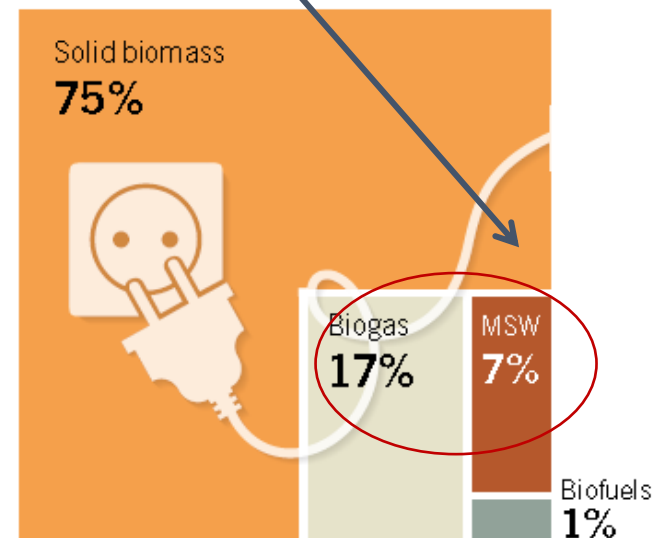
Source: IEA (2017c), Market report series: Renewables 2017; IEA (2017d), World Energy Statistics and Balances 2017, [www.iea.org/statistics/](http://www.iea.org/statistics/); IEA (2017e), World Energy Outlook 2017.

# Matriz energética mundial x RSU

Biomass Sources in **Heat** Generation



Biomass Sources in **Electricity** Generation



Solid biomass shares include both traditional and modern bioenergy from fuelwood, bagasse, black liquor, animal waste, and others.

## Biogás no mundo: União Européia (UE)

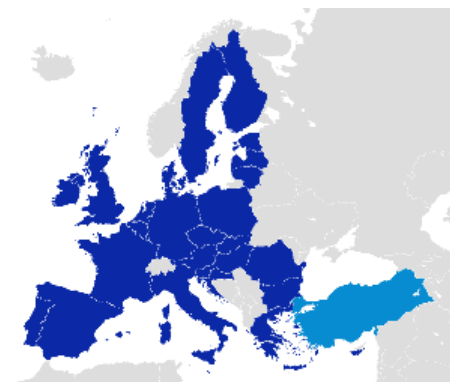
O **setor de biogás** na União Europeia (UE) é muito diversificado.

Os **países membros** da UE têm estruturado seus incentivos financeiros para favorecer **diferentes matérias-primas**.

Alemanha e Reino Unido são os dois maiores produtores de biogás na UE.

**Alemanha gera mais de 92% de seus biogás a partir de culturas agrícolas**, principalmente silagem de milho.

**Reino Unido depende quase inteiramente de gás de aterro sanitário e lodo de esgoto.**



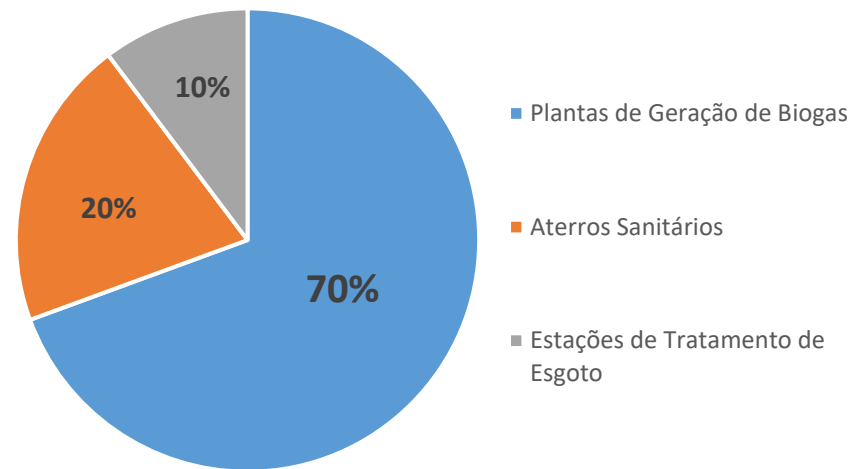
# Produção de biogás na UE

Existem **17.240 geradores de biogás** na UE.

Cerca de **63%** deles estão localizados na Alemanha.

Em 2015, UE gerou **14 Mtep** de biogás, dos quais **70%** foram gerados por plantas de biogás.

Os 14 Mtep de biogás correspondem a **4%** da demanda total de gás natural europeia

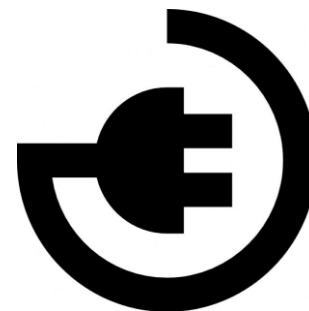


# O uso de biogás na UE





O uso de **biogás purificado (biometano)** como combustível para transporte é ainda **marginal** na maioria dos países da UE, com exceção da Suécia e da Alemanha.

Na UE, **menos de 0,001%** do biogás produzido é purificado em biometano e utilizado como combustível veicular.



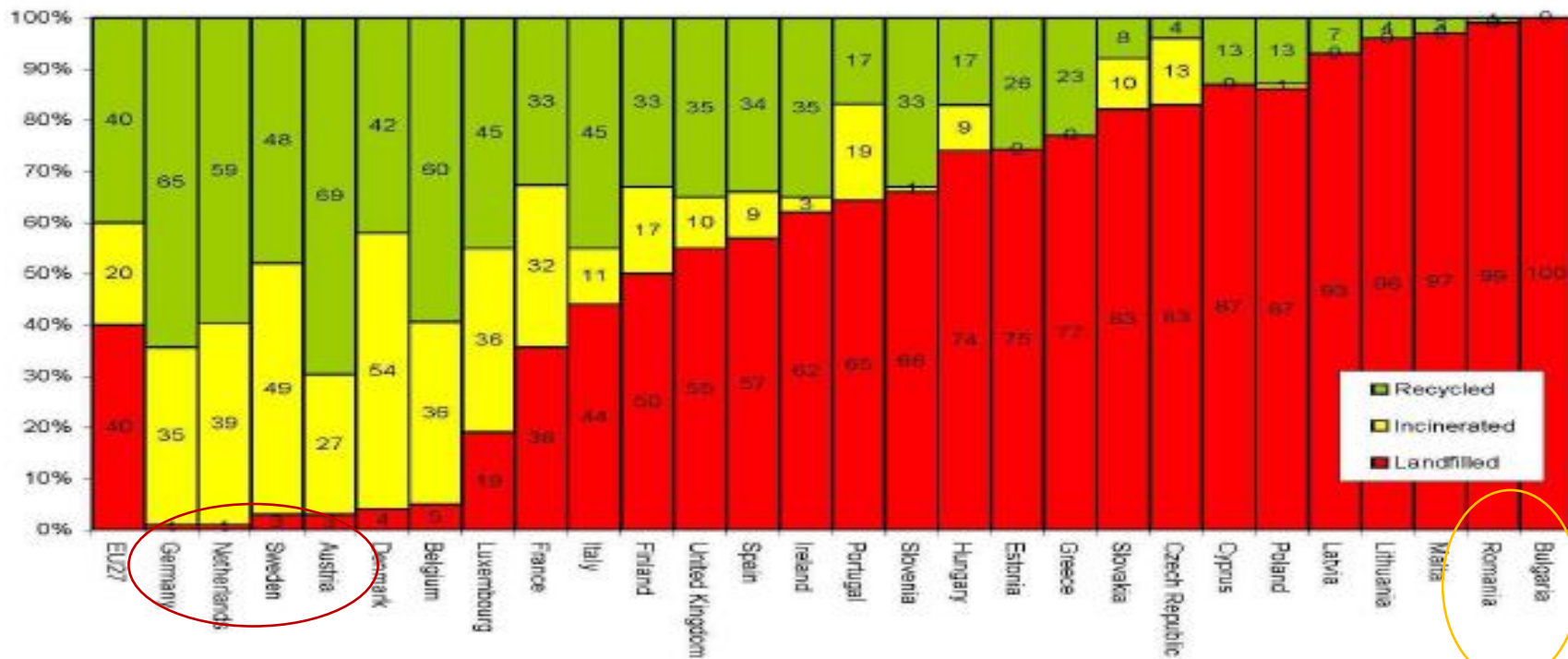
O restante 99,999% do biogás produzido é utilizado em usinas termoeletricas para gerar eletricidade e calor.

# BIOGAS INCENTIVES: GERMANY X SWEDEN

	 GERMANY	 SWEDEN
STRATEGY	Biogas for <b>electricity and heat (CHP)</b>	Biomethane as <b>TRANSPORT FUEL</b>
INCENTIVES	EEG (Renewable Energy Sources Act): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technology-specific <b>Feed-in-tariffs (FiT)</b> for 20 years</li> <li>• FiT decrease as plant capacity increases</li> <li>• <b>Minimum requirements</b> (e.g. heat utilization)</li> <li>• <b>Bonus</b> to encourage higher efficiency and new technologies</li> </ul>	Filling stations obligated to sell a renewable fuel  <b>Fuel tax reduction</b>  “Clean-car” bonus, vehicle tax reduction or exemption  Public <b>procurement</b> – gas-fuelled cars and buses
	Biomethane injection – indirect incentives via EEG and power generation	Investment support to biogas production, infrastructure and use (KLIMP, LIP)
CURRENT STATUS	41 TWh/year <b>Electricity generation: 68%</b> Heat: 31%	2 TWh/year <b>Vehicle gas: 63%</b> Heat: 20%

Source: Perecin, D. (2017); Larsson et al. (2016)

# MSW in Europe - 2008



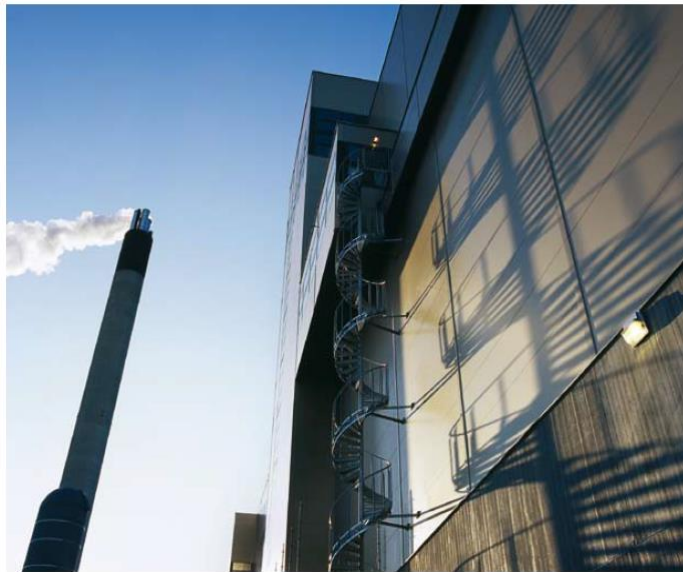
Most developed



Less developed

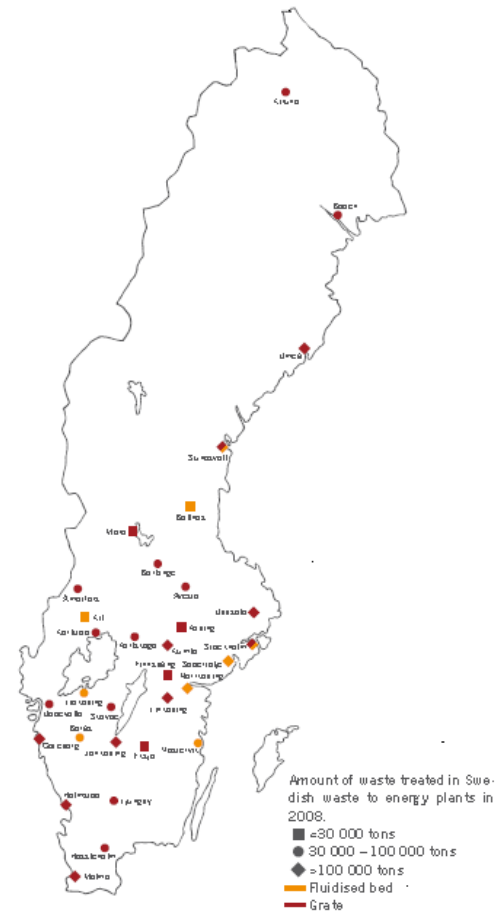
Fonte: Kohler, 2010

# Suécia



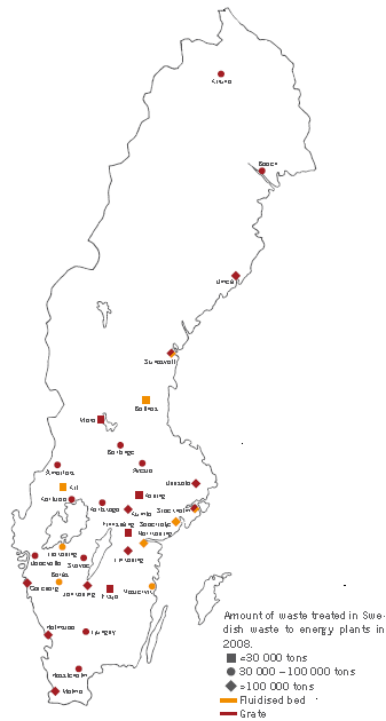
*In 2006, the combined heat and power (CHP) plant for waste fuel at Korstaväket in Sundsvall became operational.  
Photo: Torbjörn Bergkvist*

[http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/forbranning\\_eng.pdf](http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/forbranning_eng.pdf)

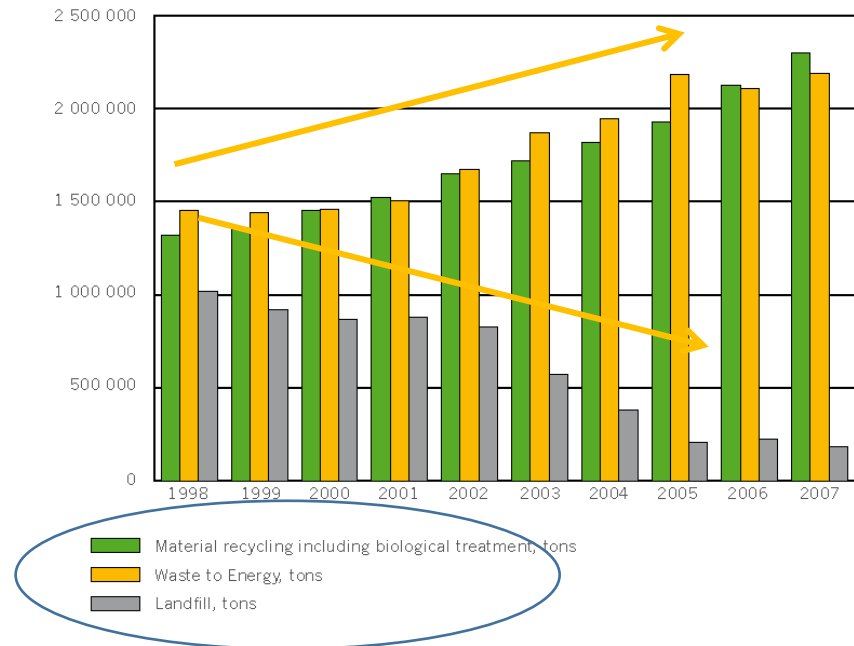




# Tratamento de RSU - Suécia



TREATMENT METHODS FOR HOUSEHOLD WASTE 1998-2007



# Tratamento de RSU – Portugal

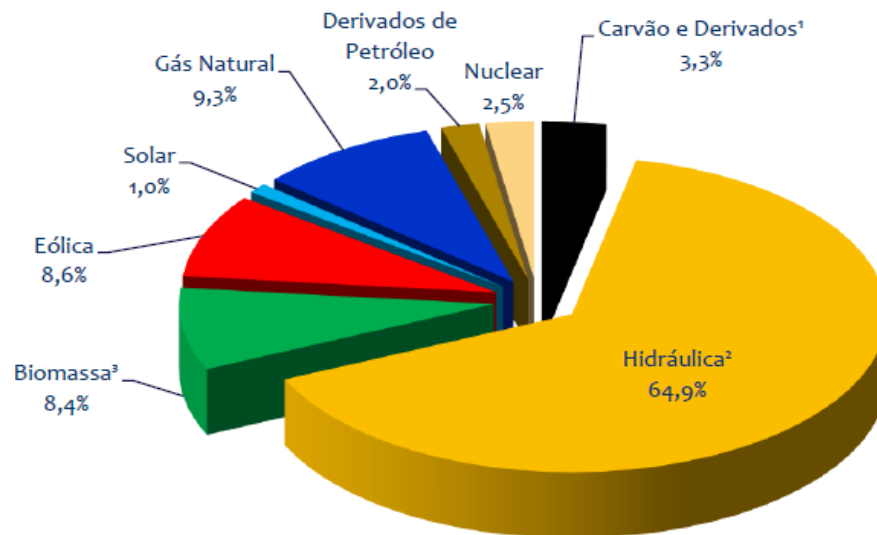


Fotos: visita 2014 (Lisboa, Portugal)

# Matriz elétrica brasileira

## 2019 electricity supply:

- **8.4% biomass**
- **85% low-carbon**  
(hydro, biomass, wind, solar, nuclear)



oferta hidráulica<sup>2</sup> em 2019: **422,8 TWh**

oferta total<sup>2</sup> em 2019: **651,3TWh**

<sup>1</sup> Inclui gás de coque, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

<sup>2</sup> Inclui importação

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixo, biodiesel e outras fontes primárias.

## 4.508 empreendimentos de Geração em operação

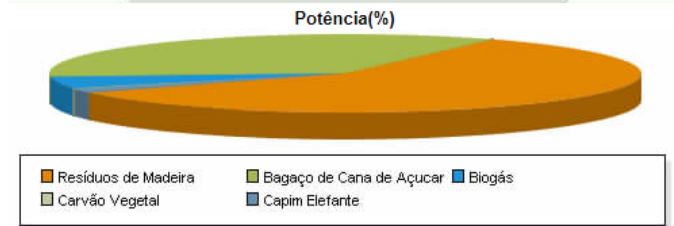
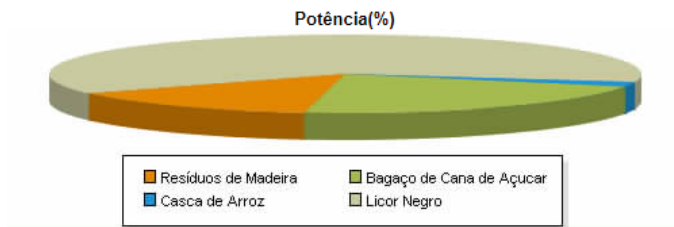
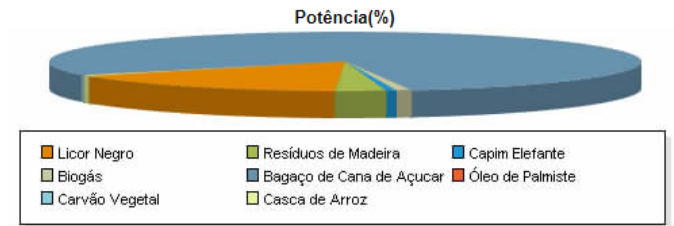


<http://www.ndsr.org/SLIDESCiclo5NDSR20161Rodrigo.pdf>

Atualmente há empreendimentos utilizando os seguintes combustíveis - Operação			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Licor Negro	17	2.273.036	16,16
Resíduos de Madeira	50	404.270	2,87
Capim Elefante	3	65.700	0,47
Biogás	17	122.250	0,87
Bagaço de Cana de Açúcar	397	11.111.035	78,99
Óleo de Palmiste	2	4.350	0,03
Carvão Vegetal	7	41.197	0,29
Casca de Arroz	12	45.333	0,32
<b>Total</b>	<b>505</b>	<b>14.067.171</b>	<b>100</b>

Atualmente há empreendimentos utilizando os seguintes combustíveis - Construção			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Resíduos de Madeira	3	62770.00	14,38
Bagaço de Cana de Açúcar	2	96300.00	22,05
Casca de Arroz	1	8000.00	1,83
Licor Negro	1	269580.00	61,74
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>436650</b>	<b>100</b>

Atualmente há empreendimentos utilizando os seguintes combustíveis - Outorga			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Resíduos de Madeira	12	614345.00	58,26
Bagaço de Cana de Açúcar	15	366254.00	34,73
Biogás	4	52269.00	4,96
Carvão Vegetal	1	2000.00	0,19
Capim Elefante	2	19600.00	1,86
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>1054468</b>	<b>100</b>

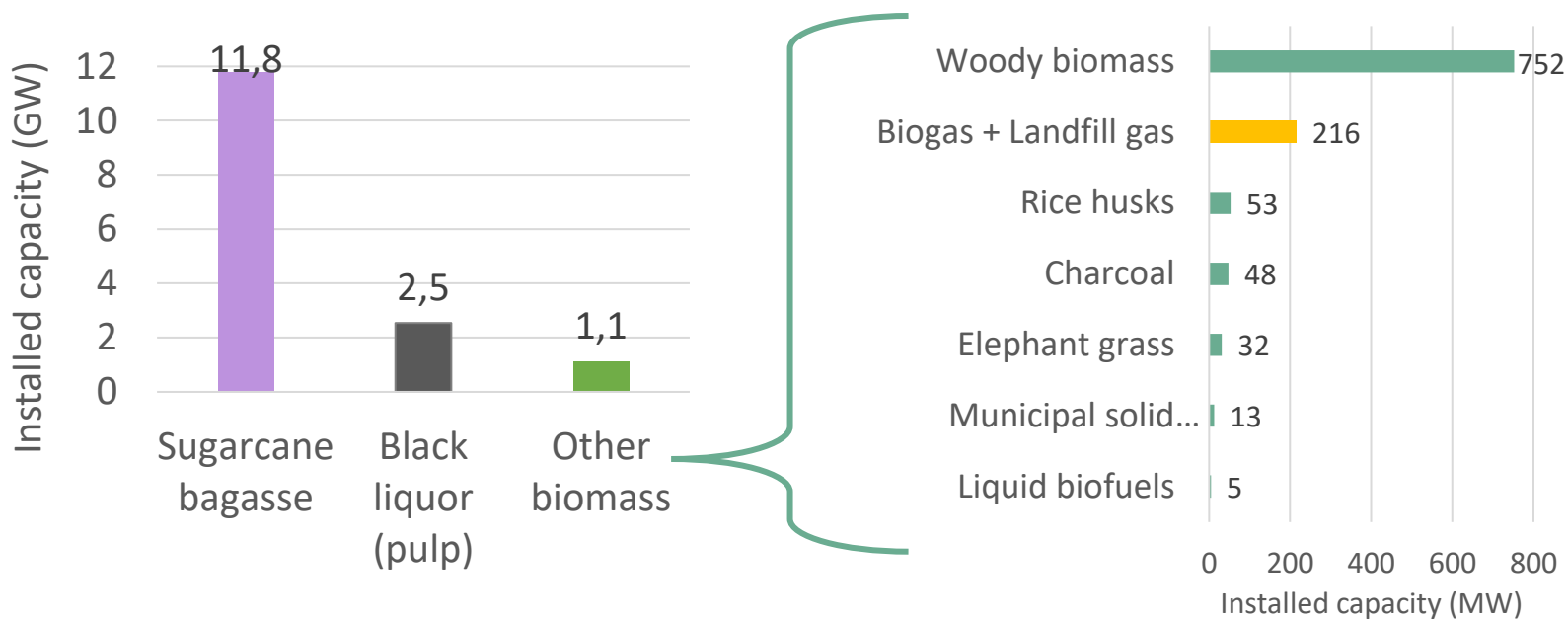


**Biomassa – 9% da geração de eletricidade no Brasil**  
**Bagaço de cana - 78% do total de eletricidade de biomassa**

Fonte: ANEEL, 2017

**Aterros**

## Power generation capacity from Biomass



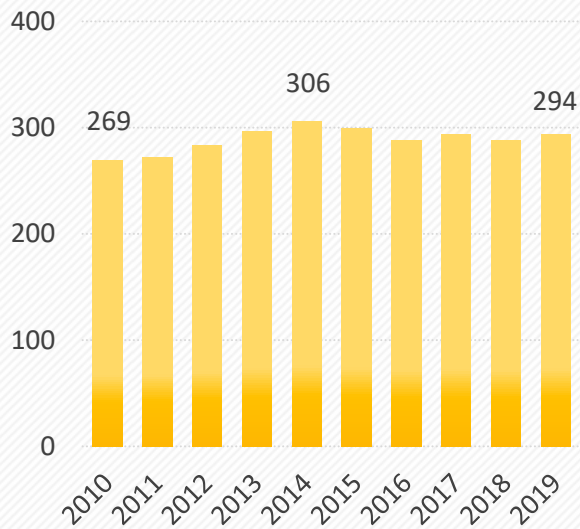
Data source: SIGA ANEEL (Nov 2020)



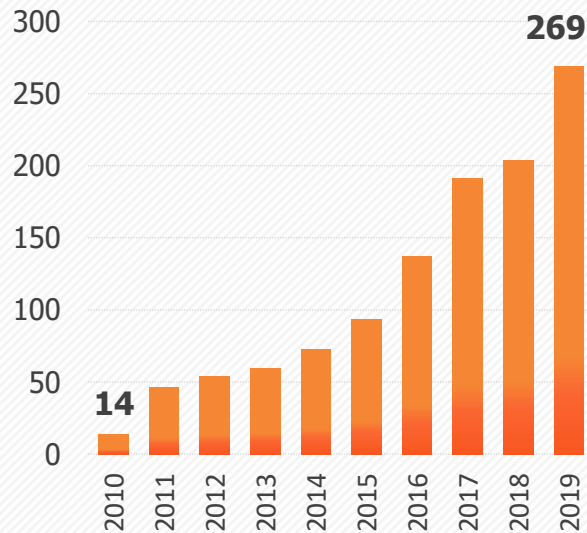
# BIOGAS IN THE ENERGY MIX

## OUR REPRESENTATION OF THE BRAZILIAN ENERGY MATRIX

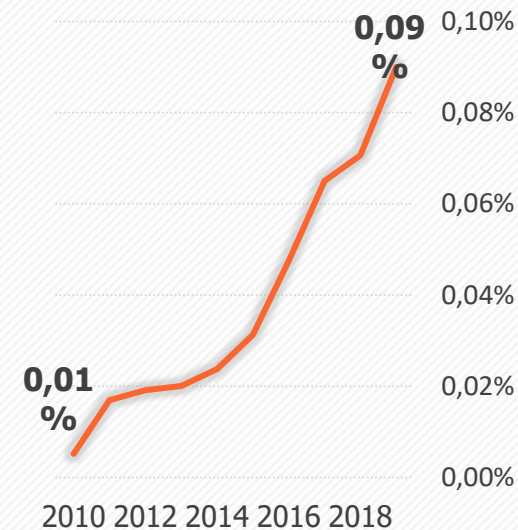
Internal Energy Supply  
million toe



Internal Supply of Biogas  
thousand toe



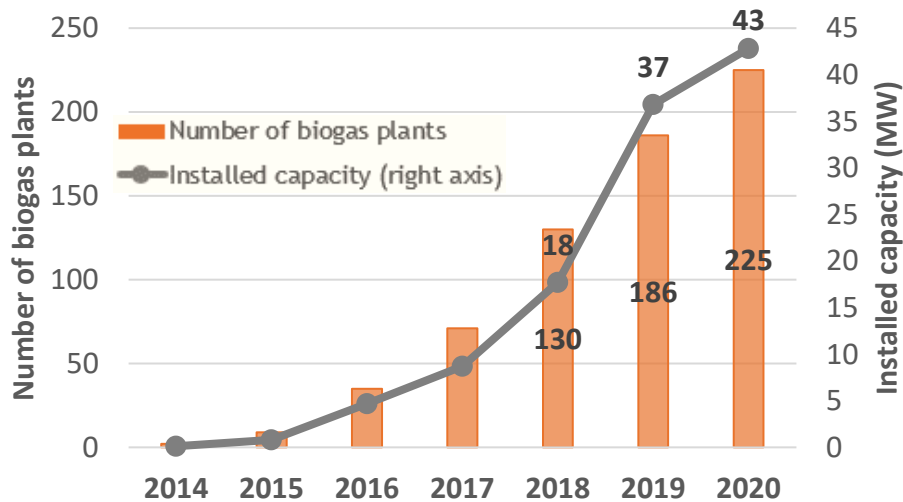
Biogas participation in  
Internal Energy Supply -%





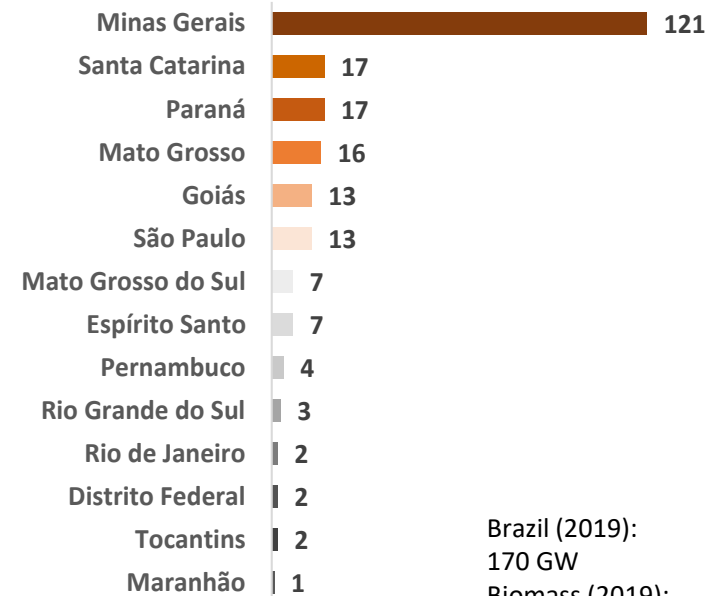
# DISTRIBUTED ENERGY AND BIOGAS BRAZIL

**NUMBER OF PLANTS AND INSTALLED CAPACITY – BRAZIL\***



\*micro and mini-generation only - plants up to 5MW registered in the net metering scheme

**BIOGAS PLANTS PER STATE**



Brazil (2019):  
170 GW  
Biomass (2019):  
15 GW

## Biomethane from landfill



Source: Personal visit – S. Coelho

### Caucaia Landfill Fortaleza – Ceara

The largest biomethane plant in Brazil

Sold to CEGAS (COMPANHIA DE GAS DO CEARA)

US\$ 0.3/Nm<sup>3</sup> – 30% higher than NG price

85,000 Nm<sup>3</sup>/d of biomethane

PSA process for biogas upgrade

# BIOGAS FROM ETHANOL PRODUCTION (VINASSE AND RESIDUES) – Oct 2020



## UNIDADE BONFIM

Raízen Energia S/A (Este grupo possui 24 usinas)  
Guariba - SP



Foto ilustrativa-ABIogás

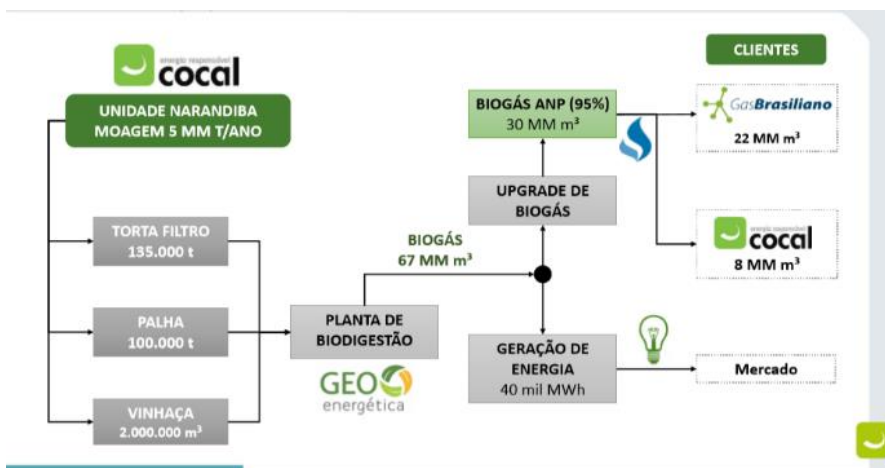
PELA PRIMEIRA VEZ UM PROJETO DE BIOGÁS VENCEU UM LEILÃO DE ENERGIA



### Bonfim mill (with permission):

- 4.8 MM t season 2019
- 170 MM L ethanol
- 65 MM Nm<sup>3</sup> biogas/yr
- ~ 270 thousand Nm<sup>3</sup>/d
- 138 GWh/yr (**20 MW**)
- 10.5 thousand Nm<sup>3</sup>/h season (vinasse + filter cake)
- 3.5 thousand Nm<sup>3</sup>/h off-season (filter cake)

# Cocal mill & Gas Brasileiro – Biogas & biomethane



1ª Cidade com Sistema de Distribuição Exclusivo de Biometano no Mundo

- ❖ 68 km e rede (52 aço e 16 PEAD)
- ❖ 118 mil m³/d potencial
- ❖ 227 mil pessoas beneficiadas
- ❖ 170 condomínios
- ❖ 400 indústrias
- ❖ 6 mil estabelecimentos
- ❖ 115 mil veículos leves
- ❖ 4 mil caminhões





**SITUAÇÃO ATUAL - BRASIL**



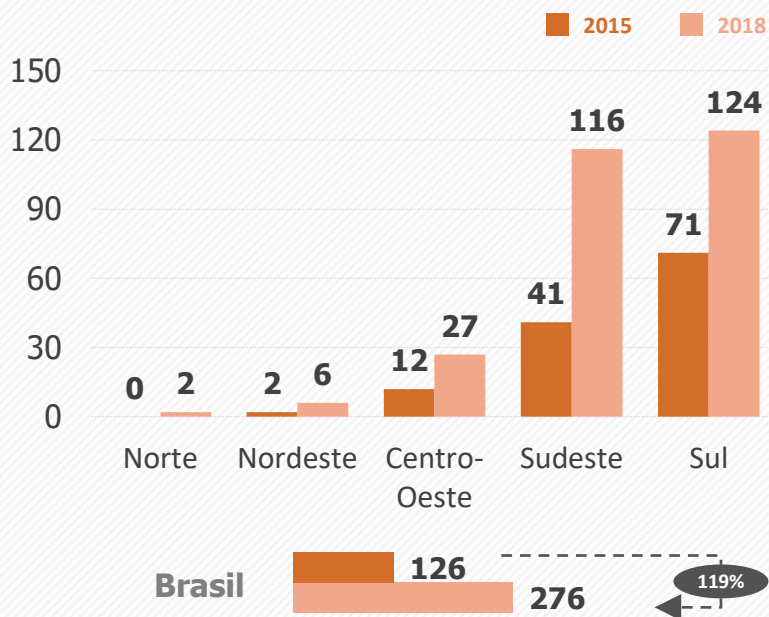


# BIOGÁS NA MATRIZ BRASILEIRA

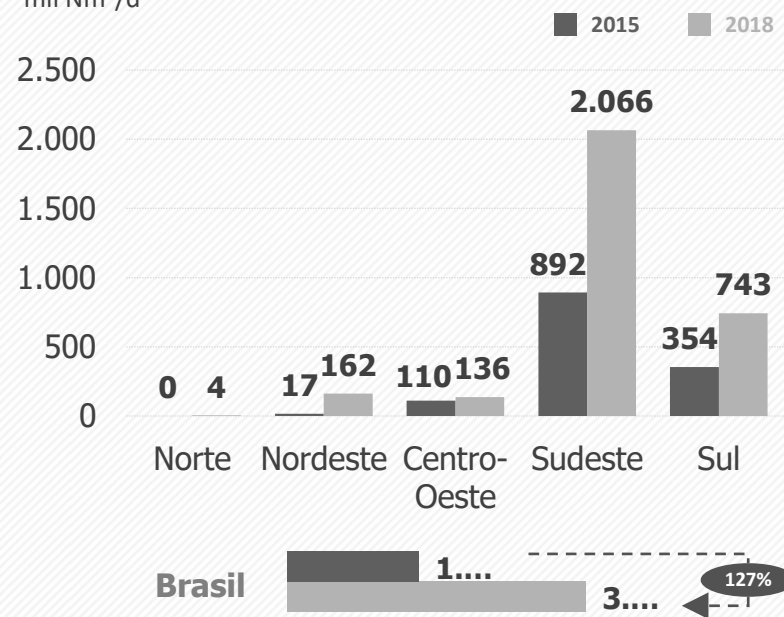
**ABiogás**

## PARTICIPAÇÃO DO BIOGÁS

Plantas de Biogás



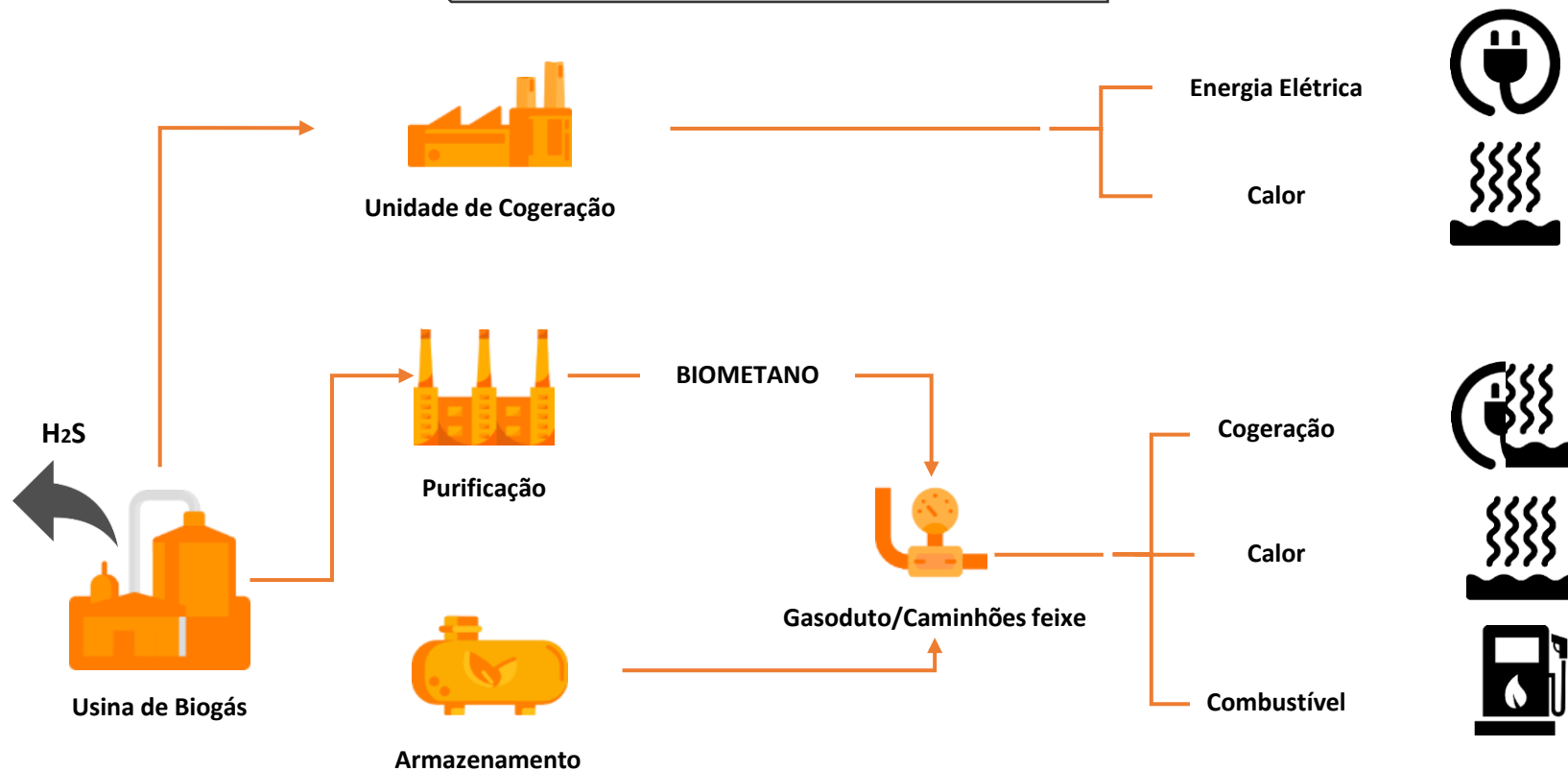
Produção de Biogás  
mil Nm<sup>3</sup>/d



# BIOGÁS: ECONOMIA E SUSTENTABILIDADE

**ABiogás**

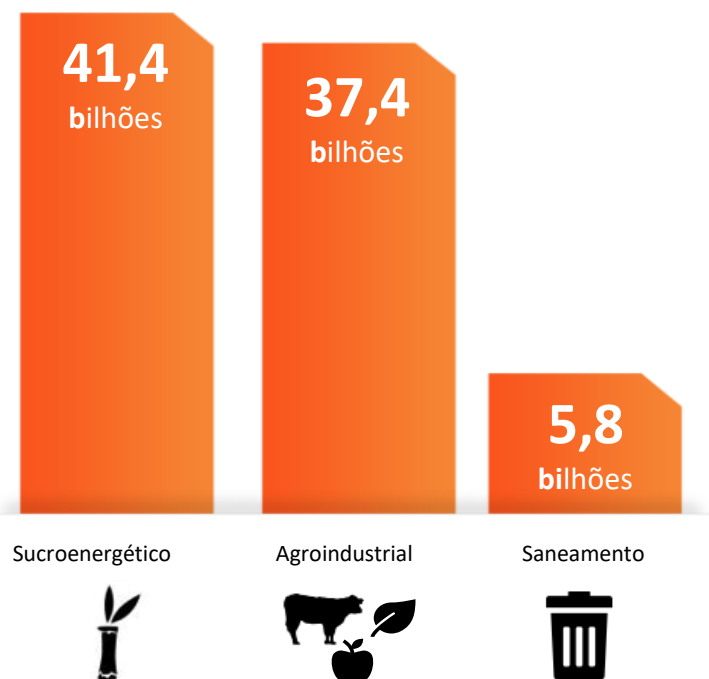
## APLICAÇÕES E MERCADO





**BRASIL: UMA POTÊNCIA EM  
DESENVOLVIMENTO**

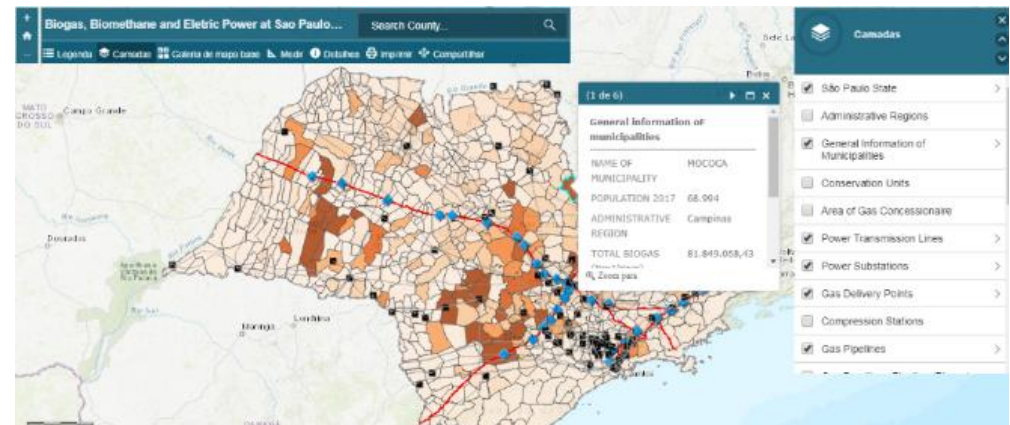
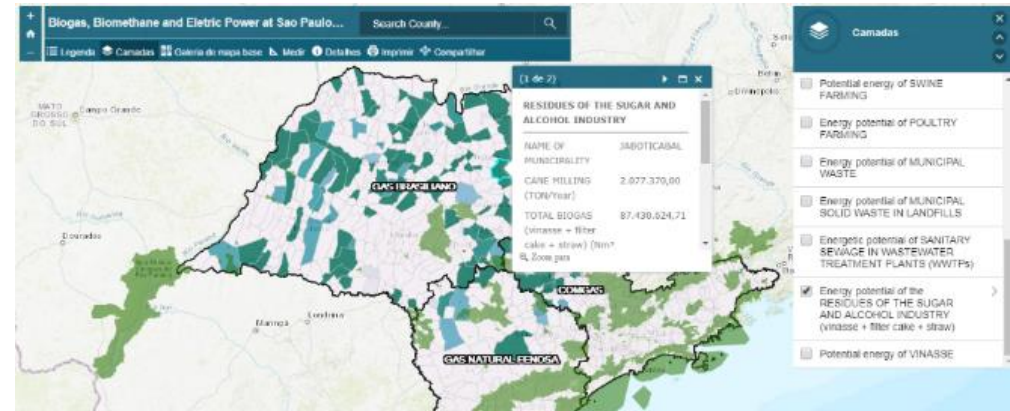
**POTENCIAL BRASILEIRO DE BIOGÁS  
POR FONTE (Nm<sup>3</sup>/ano)**



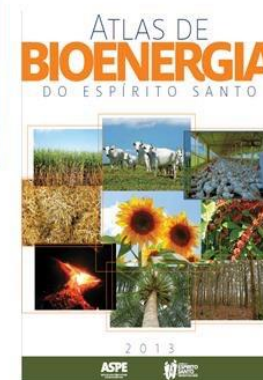
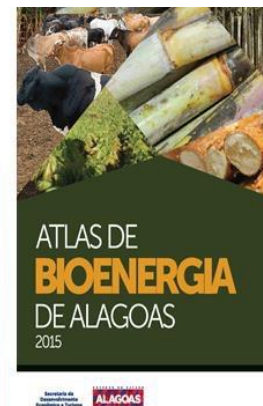
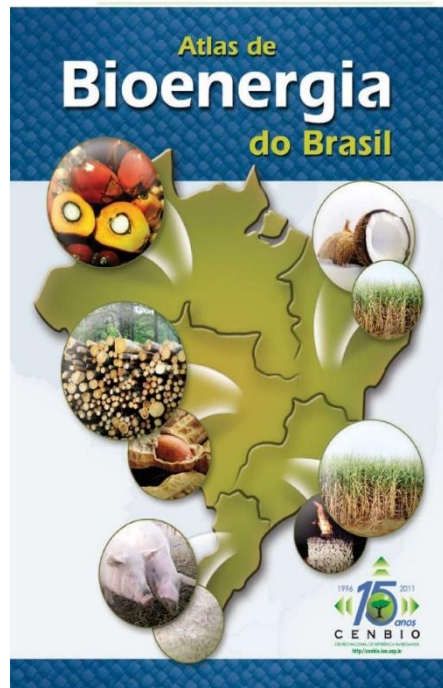


## Por que um mapa georreferenciado ???

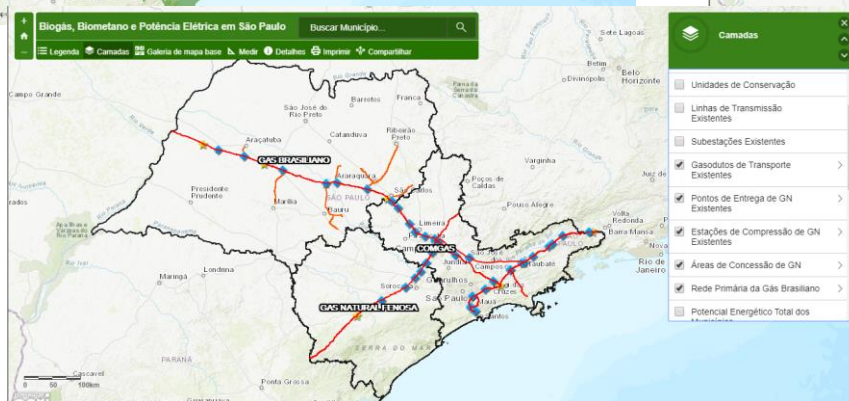
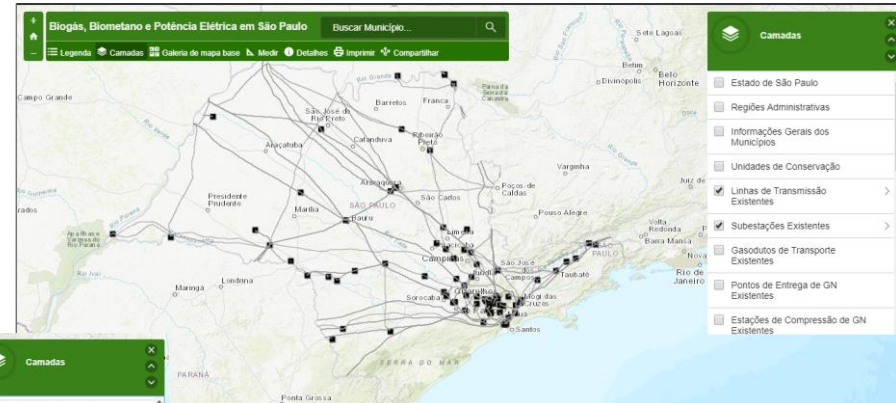
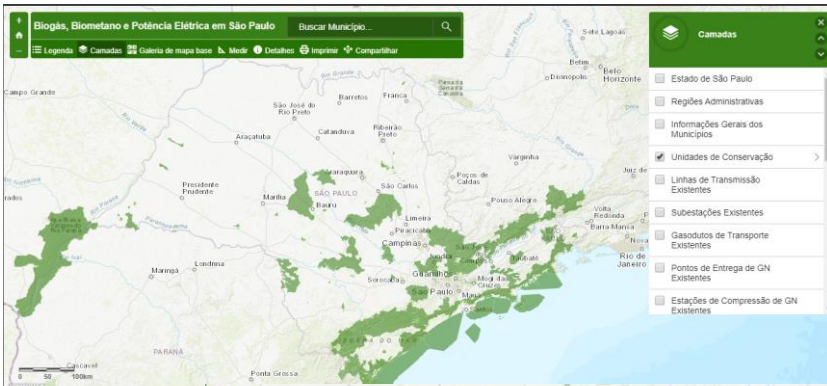
- ✓ Potencial de Biogás e de GD em cada região
- ✓ Georreferenciado por município
- ✓ Interativo
- ✓ Importante para:
  - Formulação de políticas
  - Investidores
  - Academia
- ✓ Sinergia com o saneamento básico
- ✓ Energia renovável



<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia/rcgi-lan%C3%A7a-mapas-interativos-com-o-potencial-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-do-biog%C3%A1s-em-sp>

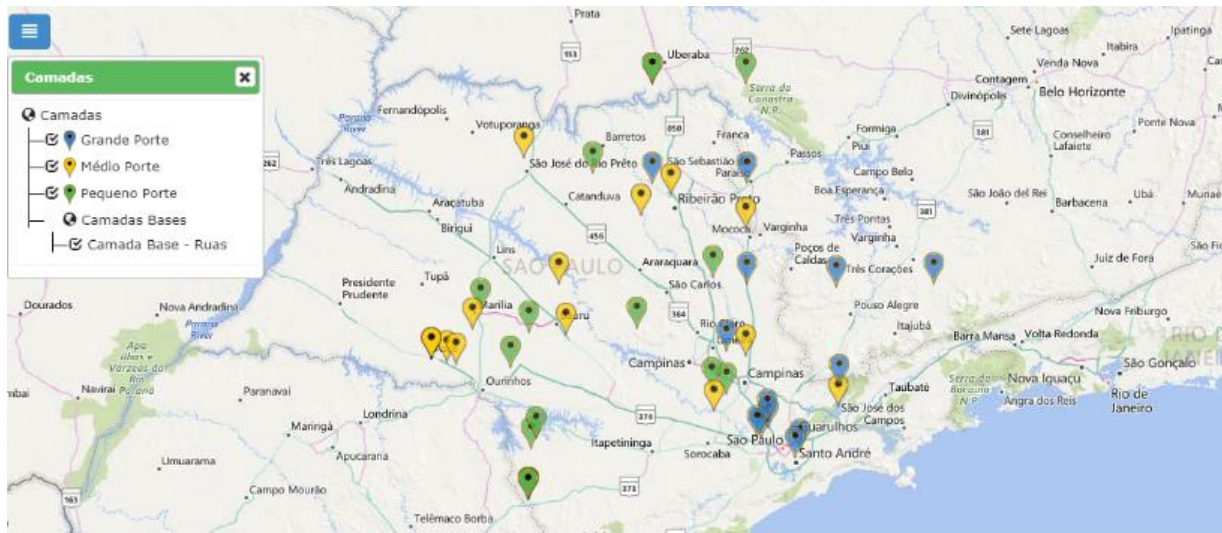


# 2019 - Mapa georreferenciado – layers de infraestrutura e meio ambiente



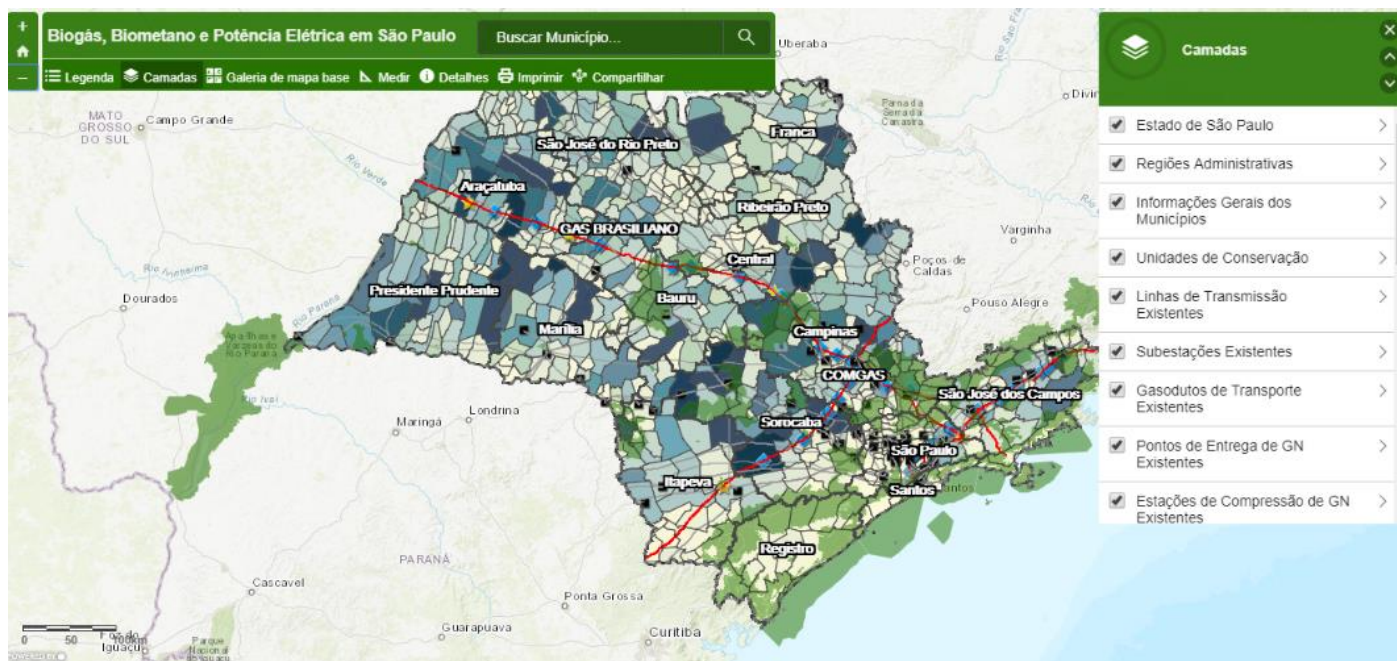


## Plantas existentes de biogás – São Paulo



Potencial é muito maior do que os valores em operação atualmente

*“RCGI lança mapas interativos com o potencial de geração de energia do biogás em SP – Projeto 27 – 2016-2020”*

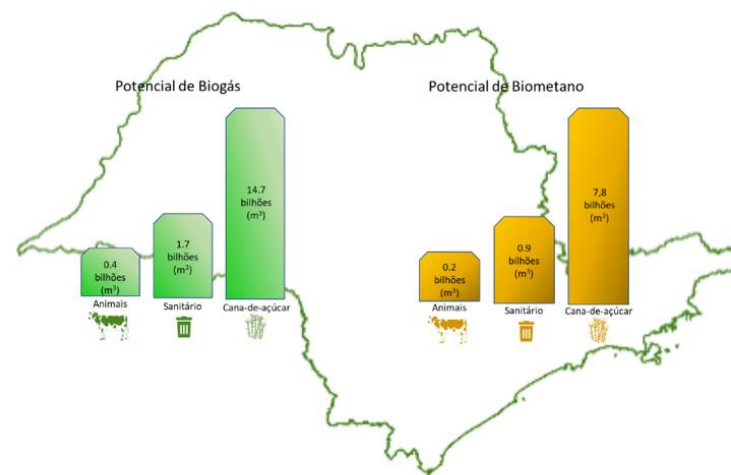


<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia/rcgi-lan%C3%A7a-mapas-interativos-com-o-potencial-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-do-biog%C3%A1s-em-sp>

Mesmo modelo para o Atlas de Bioenergia de São Paulo P&D CESP ANEEL – incluindo TODAS as biomassas (em desenvolvimento)

## “RCGI lança mapas interativos com o potencial de geração de energia do biogás em SP – Projeto 27 – 2016-2020”

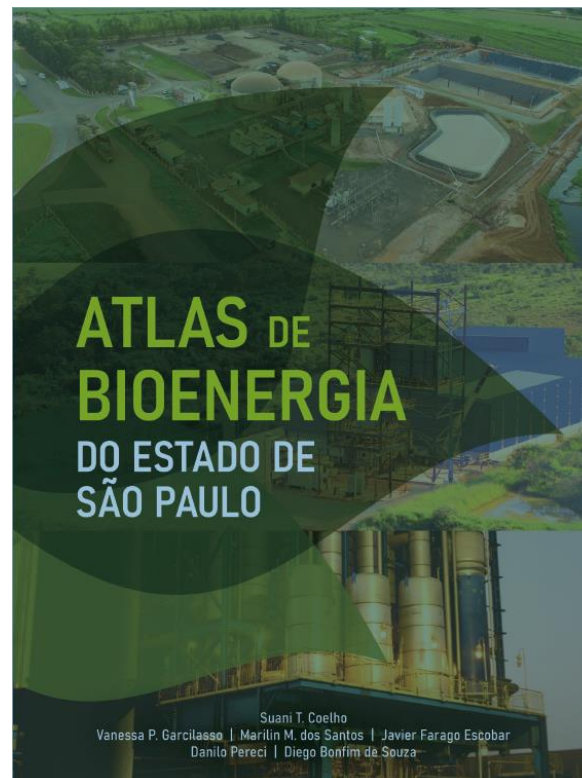
- *Setor sucroalcooleiro: maior potencial de aproveitamento de biogás e demais energéticos.*
- *Total do estado: potencial de energia elétrica gerada anualmente a partir de biogás em São Paulo = 36.197 GWh*
- *93% do consumo residencial de eletricidade no estado;*
- *Potencial anual de biometano poderia exceder em 3,87 bilhões de Nm<sup>3</sup> o volume anual de gás natural comercializado, ou*
- *Substituir 72% do diesel comercializado no estado.*



<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia/rcgilan%C3%A7a-mapas-interativos-com-o-potencial-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-do-biog%C3%A1s-em-sp>



NEXT STEP - 2020  
ELECTRICITY FROM BIOMASS  
RESIDUES



## BIOGAS: GOVERNMENT'S PROJECTIONS

- > **400 MW** projected to 2029
- > 3.9 B Nm<sup>3</sup> biomethane production only from vinasse and filter cake
- > Opportunity: the sector consumes  $\approx$  2.5 bi L of diesel



3.9 B Nm<sup>3</sup>  
biomethane



2.3 GW  
electricity

ou



3.5 B L  
diesel



# PRODUCTIVE CHAIN CHALLENGES

## INTERIORIZATION OF METHANE

Regulations are necessary to ensure correct access and **new infrastructure that goes beyond the coast.**



**Sugarcane**

**65% Southeast**  
**22% Midwest**  
 7% Northeast  
 5% South  
 1% North



**Animal Protein**

**31% Southeast**  
**29% South**  
 17% Northeast  
 14% Midwest  
 9% North



**Agriculture**

**49% Midwest**  
**26% South**  
 11% Southeast  
 9% Northeast  
 5% North



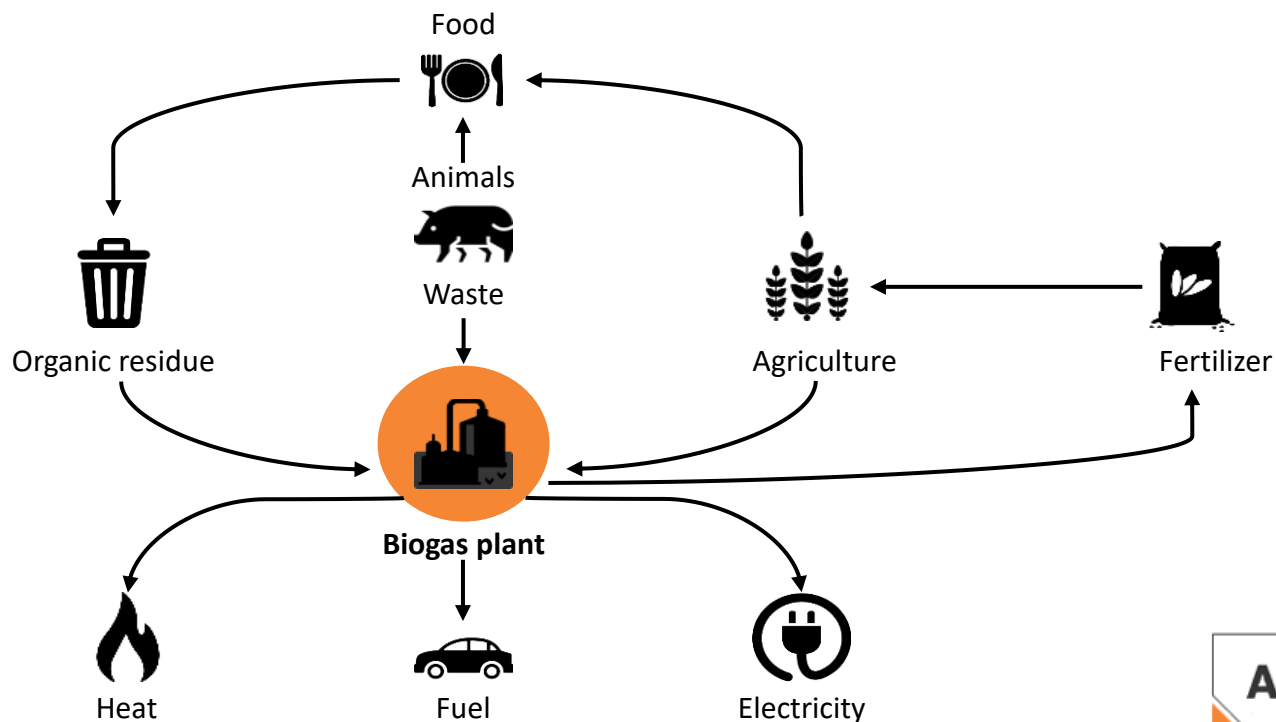
**Sanitation**

**51% Southeast**  
**24% Northeast**  
 11% South  
 8% Midwest  
 6% North



# PRODUCTIVE CHAIN

## CIRCULAR BIOECONOMY AND BIOGAS



## Sinergies with basic sanitation

- Contribution to the adequate and sustainable disposal of residues
- Biogas, biomethane or electricity: additional revenue
- Other advantages:
  - GHG emissions reduction
  - Storage solutions available
  - Firm, decentralized generation
  - Biomethane = Renewable NG
  - Methane distant from NG grid
  - Price not directly linked to exchange rate and oil price fluctuations




**AS POTENCIALIDADES DO BIOGÁS** ABiogás

- Redução de **GEEs**
- Fonte **armazenável**
- Flexível: **energia elétrica e combustível**
- Energia renovável **NÃO intermitente**
- Geração descentralizada** regional
- Interiorização** do metano
- Biometano: corrigido pelo **IPCA**

# BIOGAS PRODUCTION COSTS URBAN AND RURAL RESIDUES

BIOGAS SOURCE	ELECTRICITY COST	REFERENCE
Municipal Solid Waste - urban (MSW)	US\$ 85.00/MWh - US\$ 167.00/MWh	EPE (2014) – NT 16
Rural residues	US\$ 73.00/MWh - US\$ 111.00/MWh	EPE (2014) – NT 17
Wastewater treatment plants (WWTP)	US\$ 49.00/MWh - US\$ 158.00/MWh	Valente (2015)

Notes: Exchange rate 9/12/2017 = 3.085 BRL/USD

**23º Auction - New Energy (CCEE, 2016) - US\$ 81.4/MWh**

# PRODUCTION COSTS

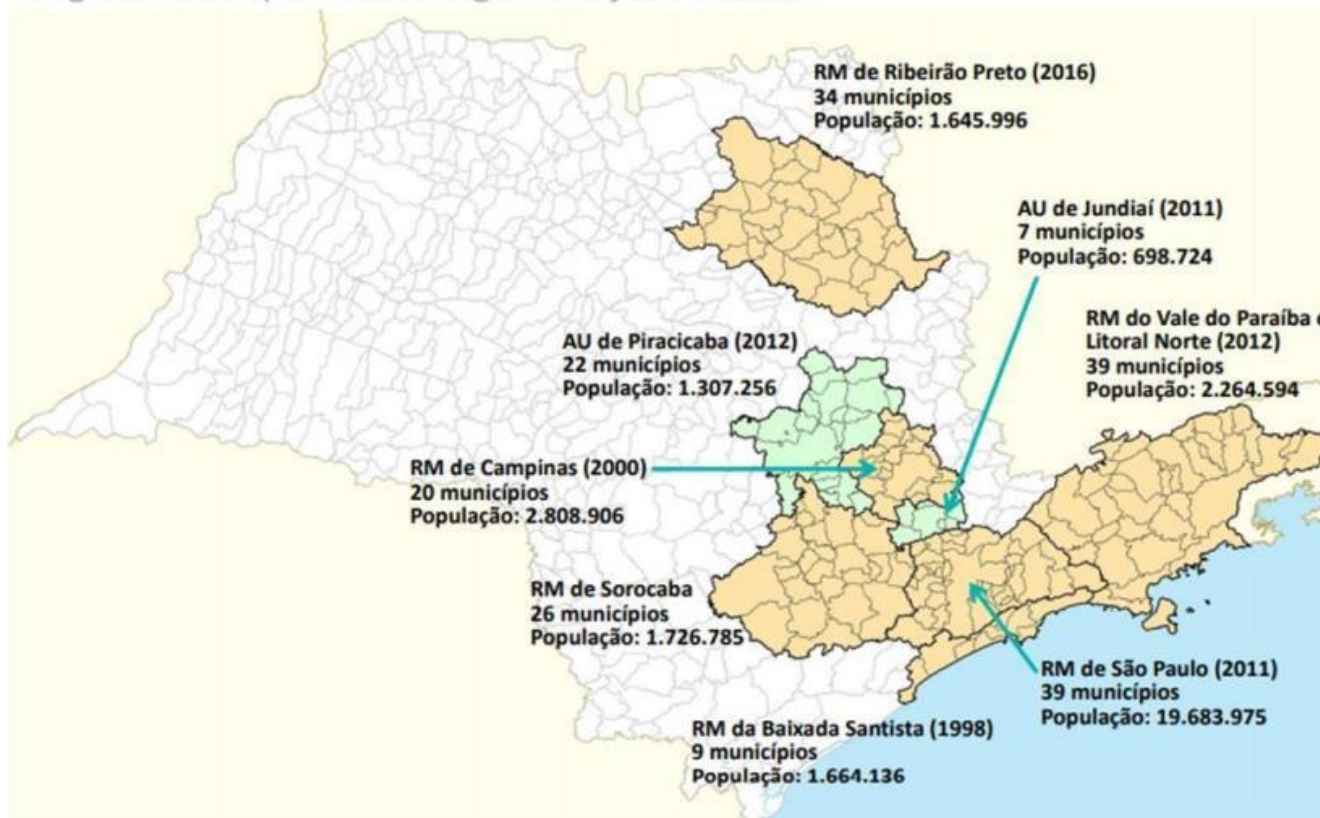
## Upgrading costs<sup>1</sup>

SCALE (m <sup>3</sup> /h of raw biogas)	COST RANGE - UPGRADING SYSTEM (US\$/m <sup>3</sup> of CH <sub>4</sub> )
20 - 50 m <sup>3</sup> /h	0.5 – 1.0 US\$/m <sup>3</sup>
500 m <sup>3</sup> /h	0.2 - 0.3 US\$/m <sup>3</sup>
1000 m <sup>3</sup> /h	0.15 – 0.2 US\$/m <sup>3</sup>
2000 m <sup>3</sup> /h	0.1 – 0.15 US\$/m <sup>3</sup>

- Investment costs usually range from 50 – 60% of total upgrading costs<sup>2</sup>
- Upgrading may represent from 20% to 50% of total biomethane production costs<sup>1,2</sup>
- Biomethane total cost is mainly influenced by biogas production costs<sup>1,2</sup>

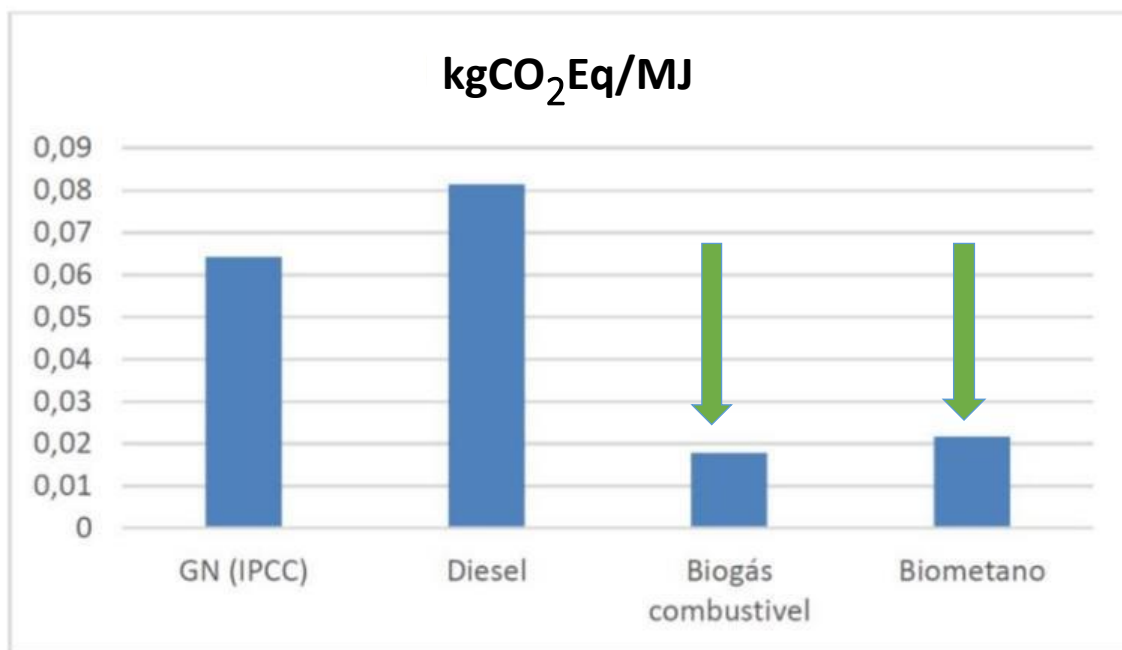
1: IRENA Biogas for road vehicles (2017); 2: Leme e Seabra (2017).

## Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas



Source: Emplasa, 2017

# Redução dos GEE com uso do biogás

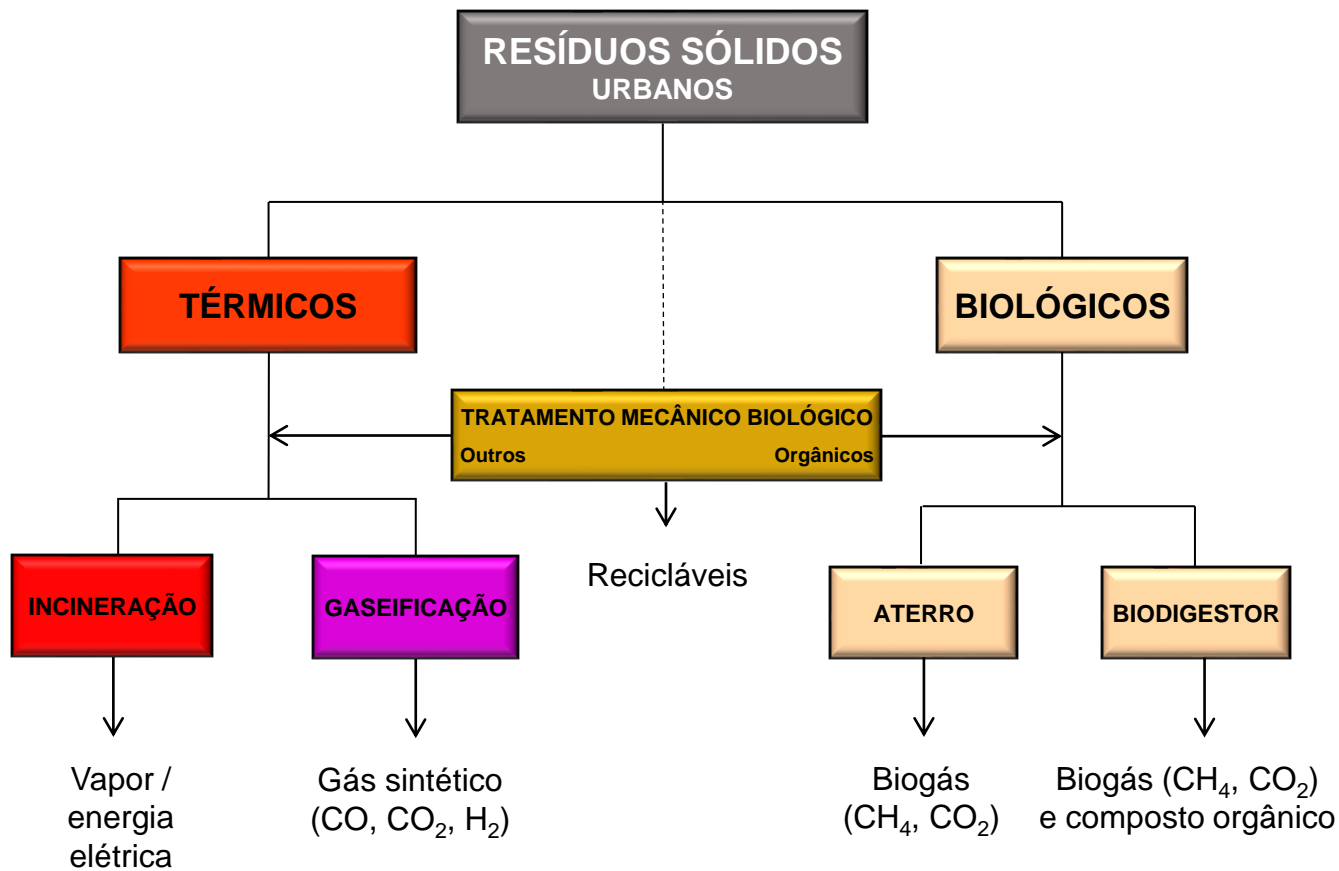


Biogas from vinasse

Source: PhD thesis – Manuel M. Poveda (2017)



# Aproveitamento Energético de RSU



## Resíduos Sólidos (RS) - Classificação

- NBR 10.004 (ABNT, 2004)
  - Riscos:
    - ❖ Classe I – perigosos
    - ❖ Classe II – não perigosos
      - ❖ Classe IIA – não inertes
      - ❖ Classe IIB – inertes
  
- PNRS (02/08/2010)
  - ❖ Periculosidade: perigosos e não perigosos
  - ❖ Origem – 11 classes:
    - ❖ Resíduos domiciliares
    - ❖ Resíduos de limpeza urbana
    - ❖ Resíduos sólidos urbanos

## Lei Federal 12.305/10 POLITICA NACIONAL DE RESÍDUOS SOLIDOS



- reutilização
- reciclagem
- compostagem
- recuperação
- **aproveitamento energético**

A partir ~~X~~ de 2014  
&  
Fim dos lixões/aterros  
controlados

**A partir de ???**

PNRS & PNSB

SINERGIA COM  
SANEAMENTO BASICO



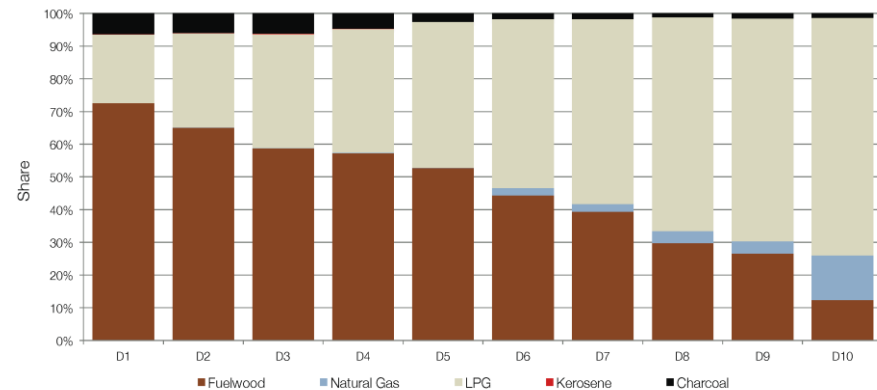
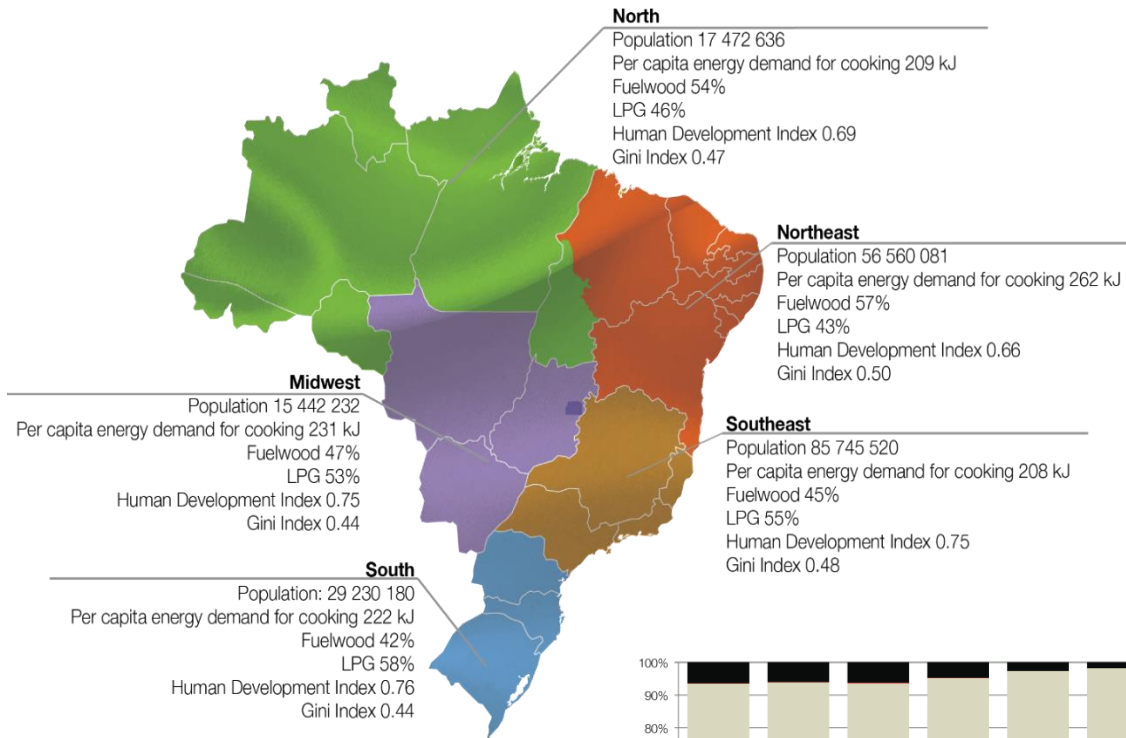
# DESIGUALDADES NO BRASIL



Source: World Bank, 2017



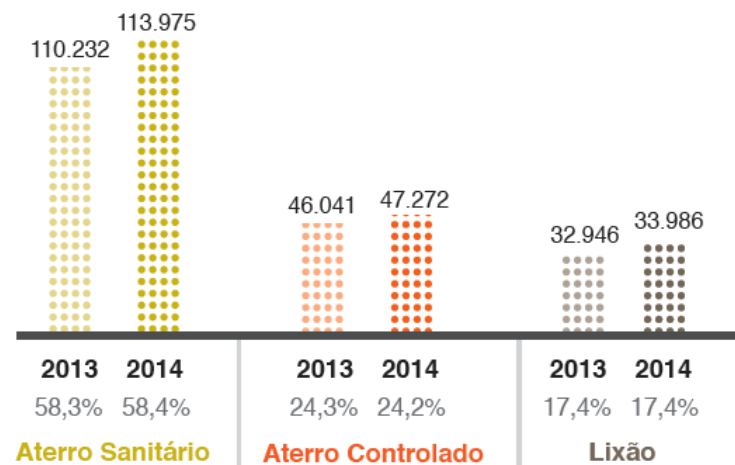
# DESIGUALDADES NO BRASIL



## Quantidades e destinação final de RSU no Brasil

Regiões	População	RSU gerado (t/dia)	Geração per capta (kg/dia)	RSU coletado (t/dia)	Coleta per capta (kg/dia)
SUDESTE	85.115.626	105.431	1,239	102.572	1,205
SUL	29.016.114	22.328	0,770	21.047	0,725
CENTRO OESTE	15.219.608	16.948	1,114	15.826	1,040
NORDESTE	56.186.190	55.177	0,982	43.330	0,771
NORTE	17.261.983	15.413	0,893	12.458	0,722
<b>BRASIL</b>	<b>202.799.518</b>	<b>209.280</b>	<b>1,062</b>	<b>195.233</b>	<b>0,963</b>

## DESIGUALDADES NO BRASIL



# DESIGUALDADES NO BRASIL

## O caso dos pequenos municípios

Tabela 21 - Classificação quanto ao porte do município em relação ao número da população residente - Brasil – 2000.

Classificação de acordo com o tamanho da população		Número de municípios	Relação ao Total
Pequeno Porte I	até 20 000	4.074	73,26%
Pequeno Porte II	De 20 001 até 50 000	963	17,32%
Médio Porte	De 50 001 até 100 000	299	5,38%
Grande Porte	Mais de 100 001	225	4,05%
<b>Total</b>		<b>5.561</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base no IBGE, 2000.



# Aterros Sanitários Biogás

## Biogás em Aterros sanitários



Aterro São Joao (20 MW)

Aterro Bandeirantes (20 MW)

### Maior termoeletrica com combustivel renovavel e inaugurada em São Paulo

Por Gazeta Rêbê Inha Postado em 3 dias ago 17



Aterro de Caieiras (29.5 MW)

Caucaia - Fortaleza – 85.000 m<sup>3</sup>/d



## CASES DE SUCESSO: TRANSFORMANDO O AMANHÃ

### CAIEIRAS - SP



**Energia elétrica:** 30 MW



**Biometano:** 0 m<sup>3</sup>/dia



**Substrato:** RSU



**Investimento inicial:** R\$ 110 MM



**Expansão:** 2018 – 4,2 MW

### DOIS ARCOS - RJ



**Energia elétrica:** 0



**Biometano:** 15.000 m<sup>3</sup>/dia



**Substrato:** RSU



**Investimento inicial:** R\$ 20 MM

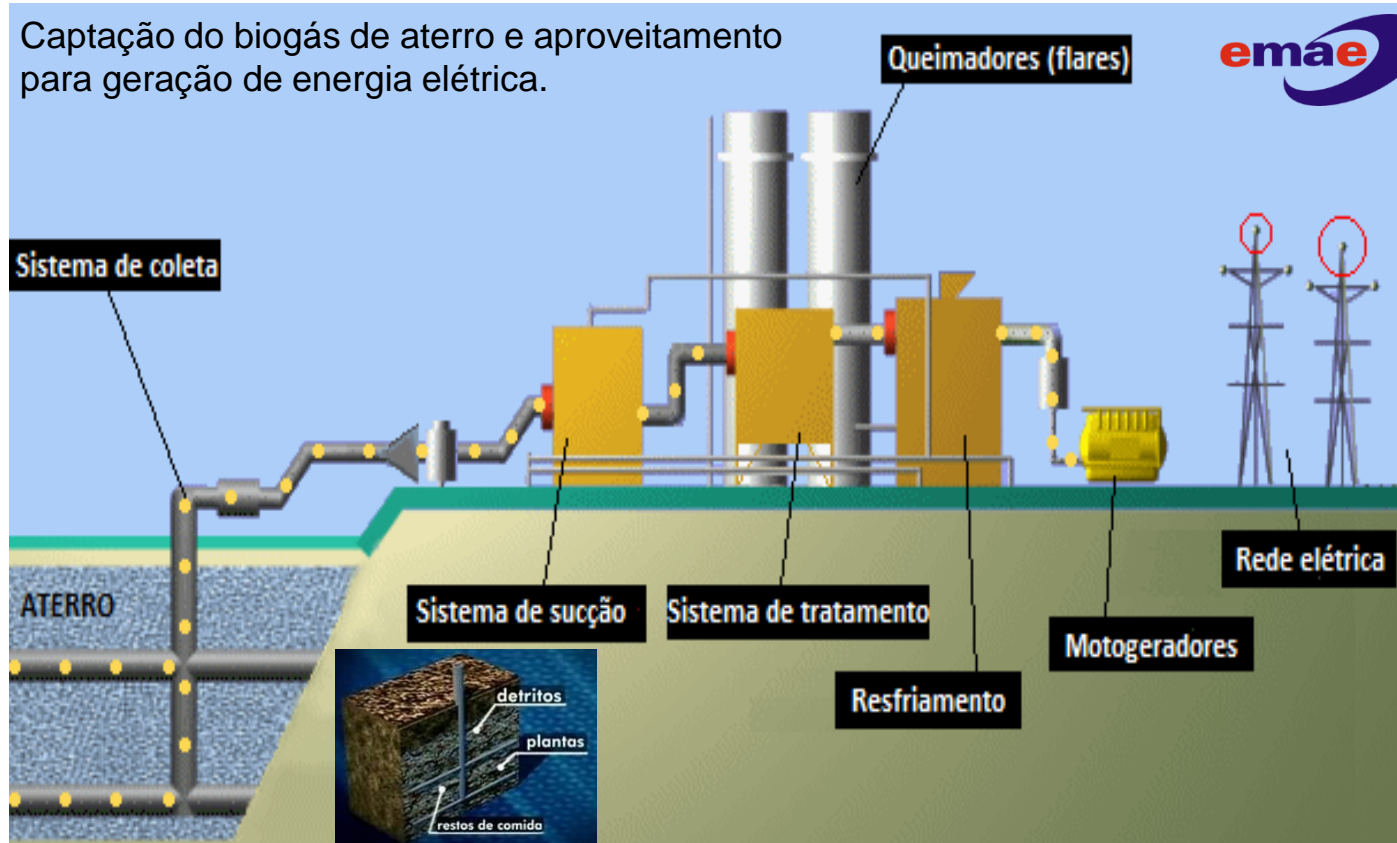


**Expansão:** 2020 – 22.000 m<sup>3</sup>/dia



## Aterro sanitário com geração de energia elétrica

Captação do biogás de aterro e aproveitamento para geração de energia elétrica.



## GERAÇÃO DE ENERGIA À BIOGÁS

**solvi**  
Valorização  
Energética

### Termoverde Salvador (em operação)

- ✓ Operação Comercial desde 2011;
- ✓ Localizado no aterro da Battre/ Revita (2.800 ton/dia) em Salvador – BA,
- ✓ Geração Atual de 15 MWm com Outorga de 20 MW;



## Maior termoeletrica com combustivel renovavel e inaugurada em São Paulo

Por Gazeta Ribeirinha Postado em 3 dias ago

17



“A maior termoeletrica do Brasil movida a combustivel renovavel – gás procedente de aterro sanitario – será inaugurada na manhã de hoje (16), na cidade de Caieiras, na Grande São Paulo. A Termoverde Caieiras tem potência instalada de 29,5 megawatts (MW) e gera energia renovavel a partir do lixo depositado em aterro, que libera o gás metano, usado como combustivel para a termelétrica”.

<http://gr21.com.br/maior-termeletrica-com-combustivel-renovavel-e-inaugurada-em-sao-paulo/>



# ecometano

HOME EMPRESA BIOMETANO LINHAS DE NEGÓCIO PROJETOS CONTATO



## GNR Dois Arcos

A Usina de Tratamento de biogás do Aterro Dois Arcos é pioneira na produção de biometano em escala comercial no Brasil. Foi inaugurada em agosto de 2014 em parceria com a OSAFI, proprietária do Aterro Sanitário Dois Arcos, localizado em São Pedro da Aldeia - RJ e que recebe 700 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. A Usina tem capacidade de produzir até 15 mil m<sup>3</sup> por dia de biometano, cerca de **5,5 milhões de m<sup>3</sup>** por ano. Além disso, está inserida no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e evitará que **76.000 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>** sejam lançadas na atmosfera anualmente, ajudando a minimizar a emissão de gases de efeito estufa e contribuindo positivamente para as futuras gerações.

## Biomethane from landfill

Biomethane production – the largest biomethane plant in Brazil  
Sold to CEGAS (COMPANHIA DE GAS DO CEARA)  
US\$ 0.3/Nm<sup>3</sup> – 30% higher than NG price  
85,000 Nm<sup>3</sup>/d of biomethane



## Caucaia Landfill Fortaleza – Ceara

<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/RESILU%C3%87%C3%83O-COEMA-N%C2%BA-05-DE-10-DE-ABRIL-DE-2014.pdf>

<https://www.panoramaoffshore.com.br/inaugurado-gasoduto-pioneiro-em-biometano-no-ceara/>



Sewage station - Arrudas -  
COPASA

Minas Gerais / Brazil

Biogas Capstone microturbines

Installed power = 2.4 MW (12 200 kW-microturbines) –  
Cogeneration system supplies 90% of energy needs



## Biomethane from sewage



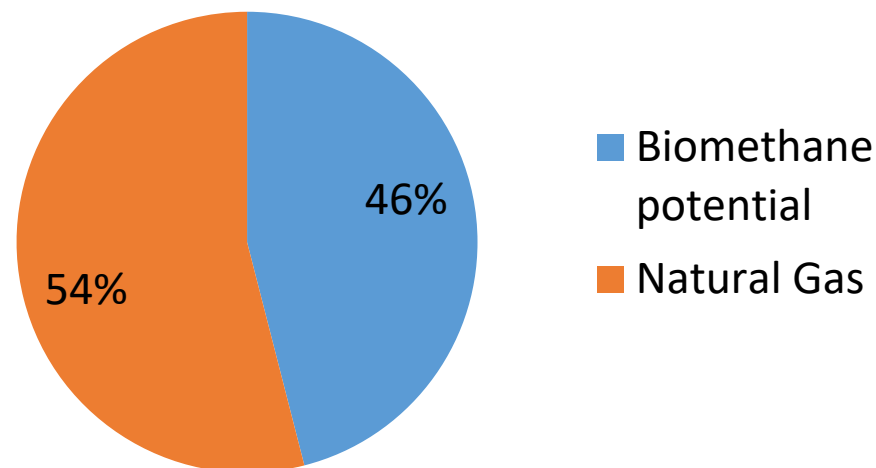
<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=65&id=7353>

- Sabesp & Fraunhofer Institute/Germany
- Franca municipality - sewage station – São Paulo State
- Biomethane for vehicles
- Sewage – 450 L/s
- Biogas – 2,600 Nm<sup>3</sup>/d
- Biomethane – 1,700 Nm<sup>3</sup>/d

## Biogas & biomethane

- BIOGAS POTENTIAL
- BIOGAS PRODUCTION COSTS
- LEGISLATION

**% biomethane potential / NG consumption in São Paulo State\***



# Tratamento Térmico

URE / UTTR / Incineração

## Incineração em grelhas móveis *mass burning*

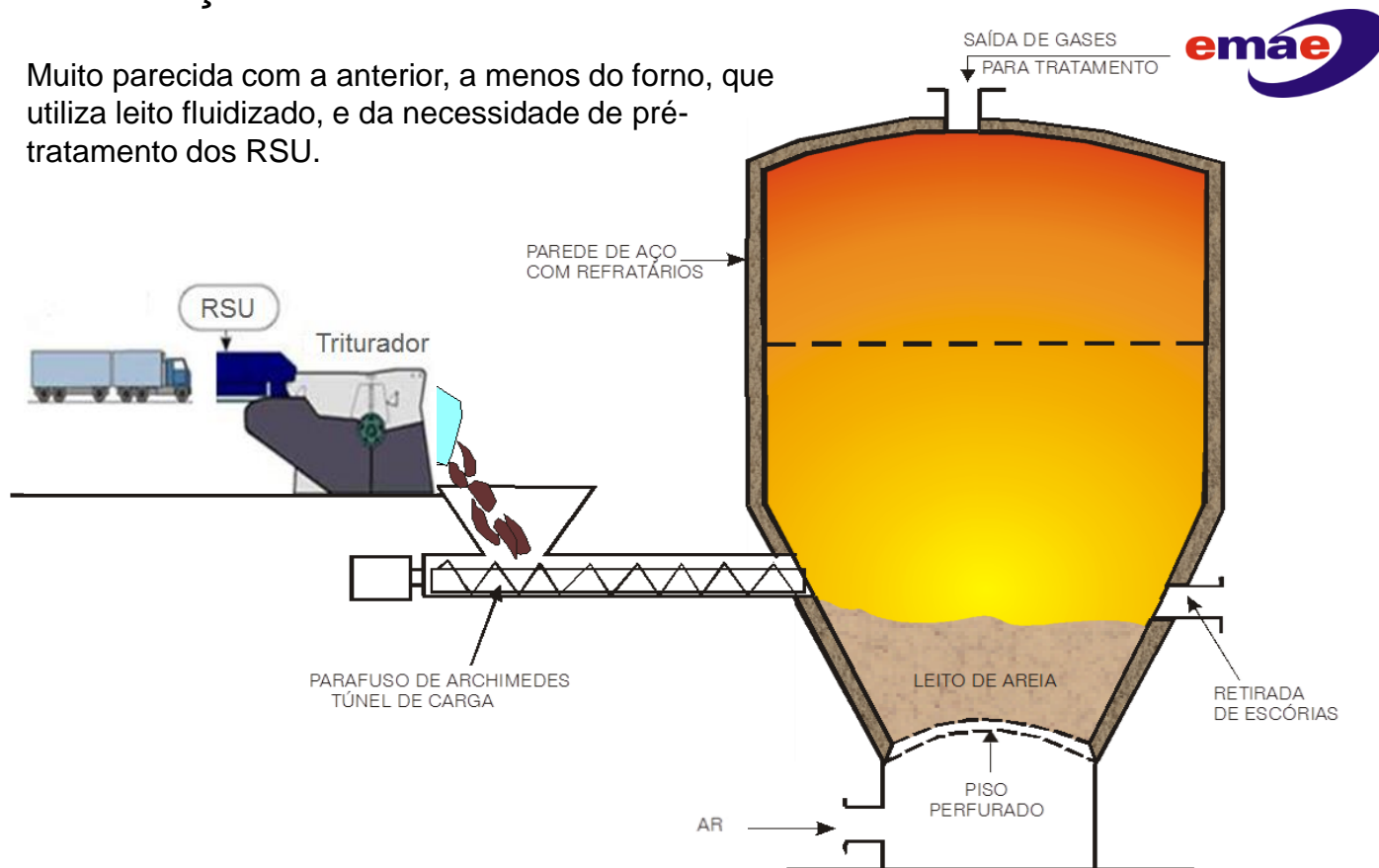
Combustão realizada em alta temperatura, com excesso de ar, sem a necessidade de pré-tratamento dos RSU, produzindo vapor em caldeira.





## Incineração em leito fluidizado

Muito parecida com a anterior, a menos do forno, que utiliza leito fluidizado, e da necessidade de pré-tratamento dos RSU.



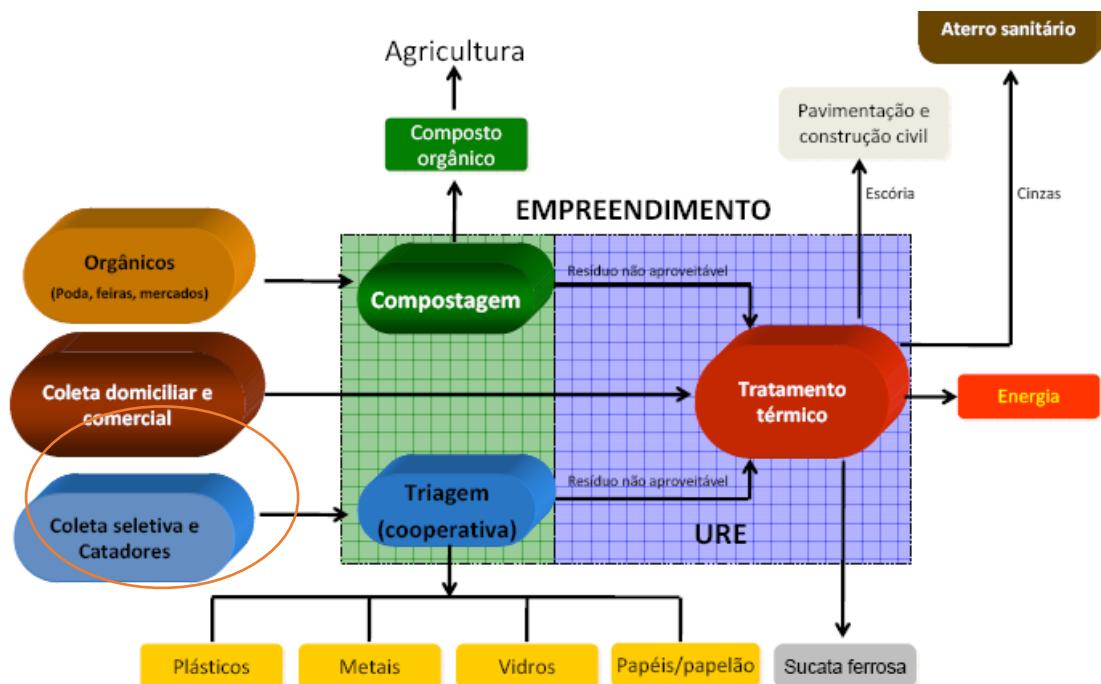


## Incineração - Barreiras

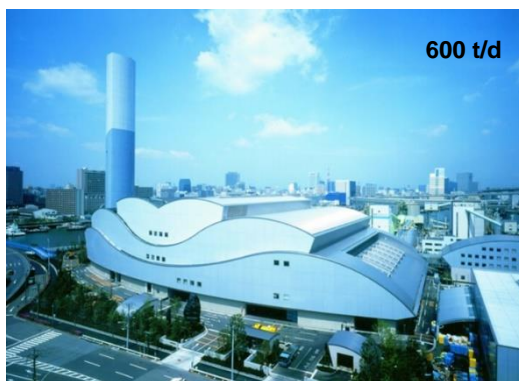
- Forte rejeição da sociedade civil (falta de informação):
  - Receio com relação à toxicidade dos gases de exaustão: falta de informação sobre a existência de tecnologias adequadas para limpeza dos gases;
  - Preocupações relativas aos impactos na reciclagem (desemprego de catadores): falta de informação sobre a necessidade obrigatória de reciclagem antes do processo de incineração.
- Investimentos iniciais elevados.
- Custo de geração elevado.
- Falta de políticas públicas de incentivo às tecnologias para geração de energia elétrica a partir de RSU.



## Central de Tratamento de Resíduos



Fonte: EMAE, 2010



Tóquio, Japão



Cergy-Pontoise, França



Viena, Áustria

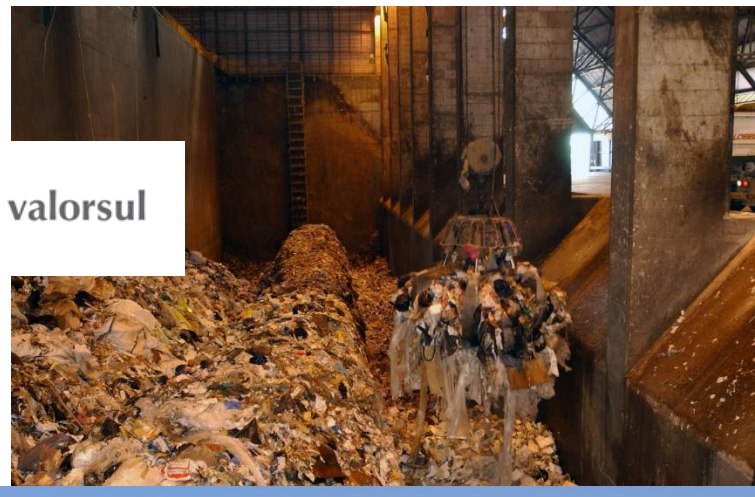


Paris, França



Brécia, Itália

Plantas de incineração



Fotos: visita 2014 (Lisboa, Portugal)

## URE VALORSUL Bobadella, Lisboa - Portugal

- 3 fornos
- 1 turbina a vapor 37 MW
- PCI = 7400-7800 kJ/kg
- 2000 t/d RSU (Lisboa + 5 municípios)
- Investimento: € 174 milhões (2011)
- € 94 milhões (doação 54% da UE)
- Tarifas
  - Municípios € 20 /t
  - Particulares € 40 /t
- Venda de EE
  - € 84 euros/MWh  
("tarifa verde")



Visita pessoal, Junho 2012



## TARIFAS MUNICIPAIS

Ano	€ / Mg RSU
1998*	23,59 €
1998	23,36 €
1999	23,06 €
2000	22,08 €
2001	22,60 €
2002	23,04 €
2003	23,83 €
2004	24,51 €
2005	20,59 €
2006	22,07 €
2007	21,97 €
2008	22,86 €
2009	22,86 €
2010	22,86 €
2011	20,97 €
2012	19,89 €



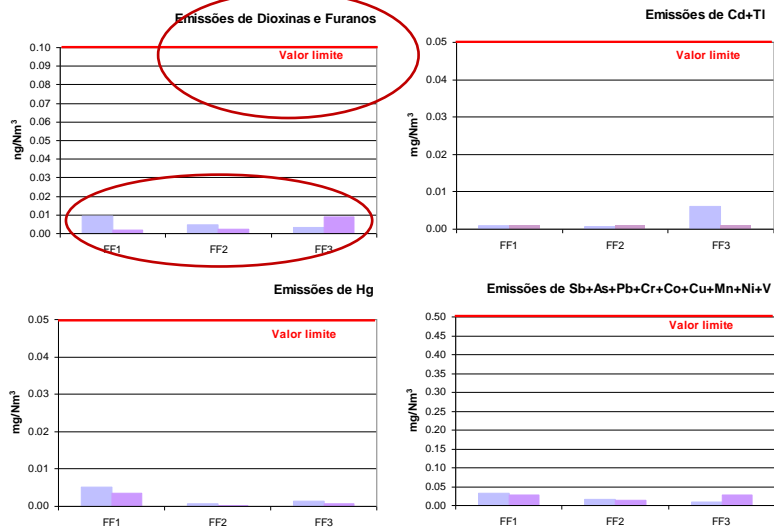
Tarifa cobrada aos clientes municipais (Lisboa e municípios do entorno) na descarga de resíduos indiferenciados.



## Monitoramento Ambiental do Incinerador da Valorsul (Portugal)

### EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO EM DESCONTÍNUO 2011



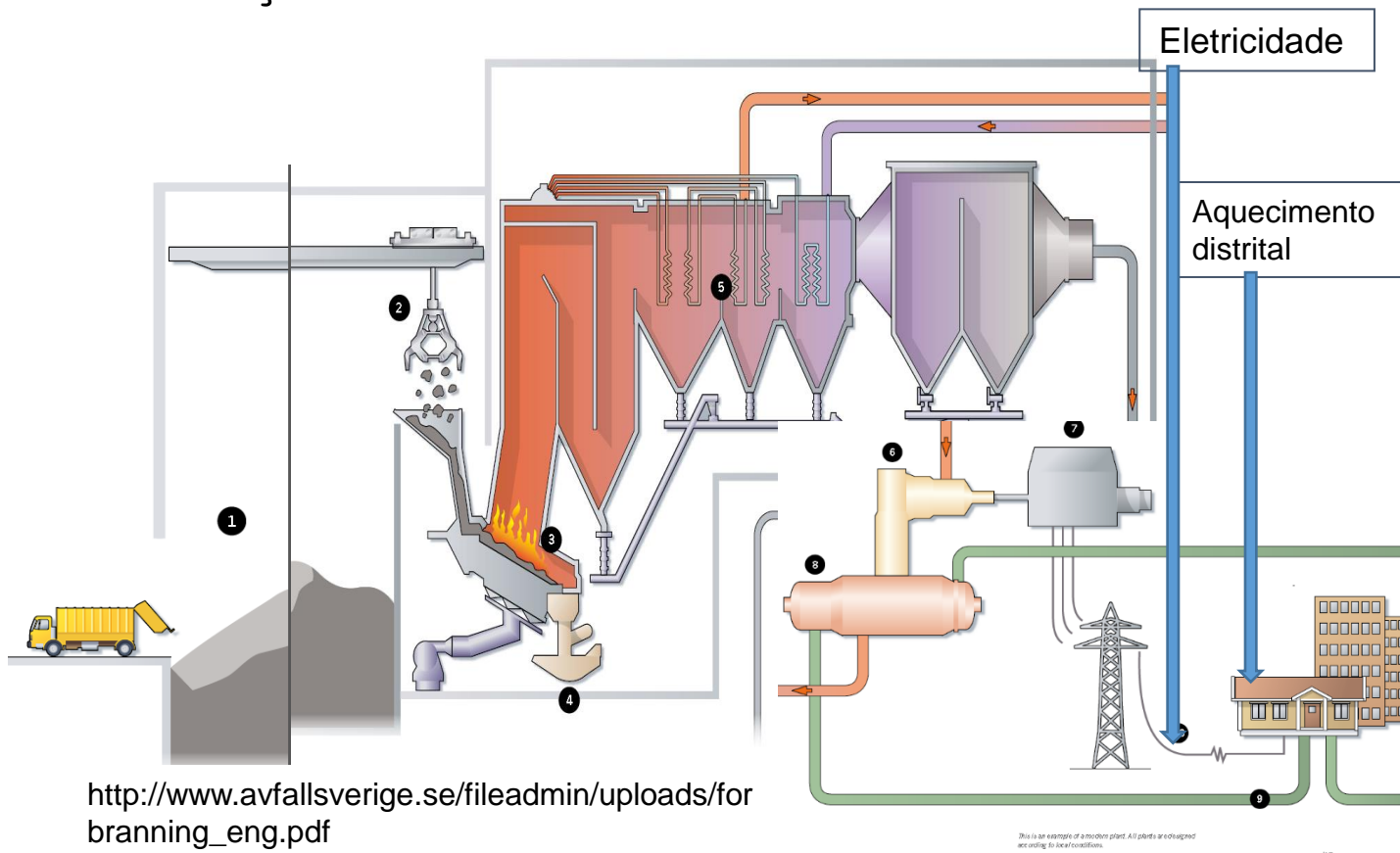
Legenda:

1ºsem 11 2ºsem 11



Visita CENBIO, Junho 2012

## Incineração de RSU - Suécia



# Incineração de RSU – Suécia

## Emissões de dioxinas

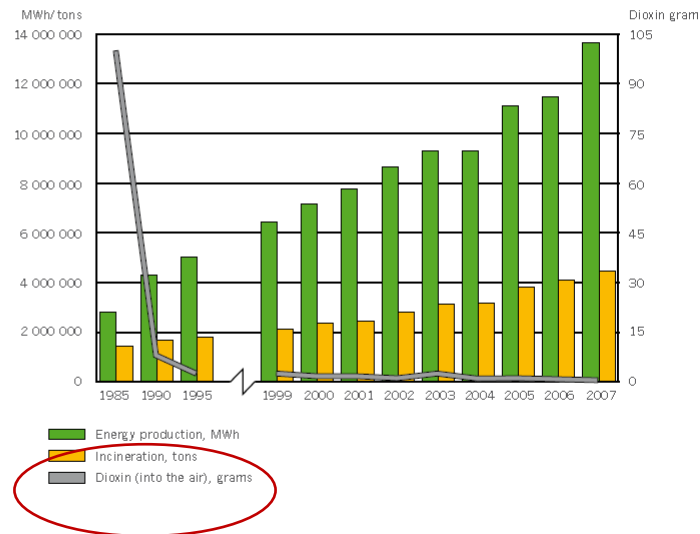
### FACTS: LESS EMISSIONS – MORE ENERGY

- The waste sector will reduce its emissions of greenhouse gases by 76 per cent during the years 1990-2020, according to the Climate Committee's forecast.
- Waste incineration in Sweden produced as much energy in 2007 as 1.1 million m<sup>3</sup> of oil, which reduces CO<sub>2</sub> emissions by 2.2 million tons per year, as much as 680,000 petrol-powered cars emit in a year.
- Despite waste incineration increasing, emissions have fallen. For example, emissions of heavy metals from waste incineration into the air have fallen by almost 99 per cent since 1985. In addition, the total emissions of dioxins from all of the country's waste incineration plants have fallen from around 100 g to less than 1 gram during the same period.

### REDUCTION IN EMISSIONS

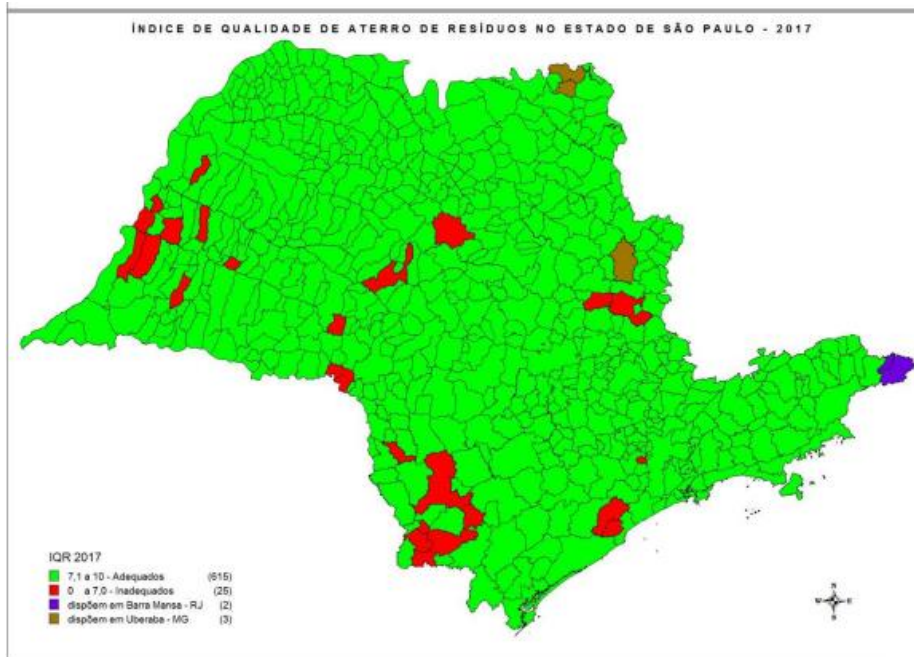
	1985	2007	Change
Dust (ton/year)	420	24	-94.3%
HCl (ton/year)	8,400	60	-99.3%
SOx (ton/year)	3,400	196	-94.2%
NOx (ton/year)	3,400	2,101	-38.2%
Hg (kg/year)	3,300	36	-98.9%
Cd (kg/year)	400	6	-98.5%
Pb (kg/year)	25,000	51	-99.8%
Energy production (MWh)	2,800,000	1,2151,270	334.0%
Processed waste (ton)	1,432,100	4,470,690	212.2%

INCINERATION, ENERGY PRODUCTION AND DIOXIN INTO THE AIR FROM WASTE INCINERATION 1985-2006

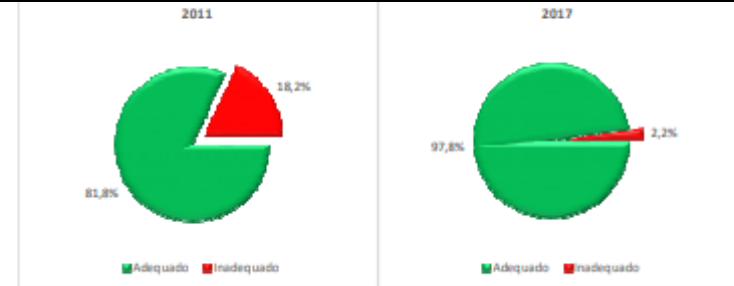


Avfall Sverige – Swedish Waste Management  
[http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/forbranning\\_eng.pdf](http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/forbranning_eng.pdf)

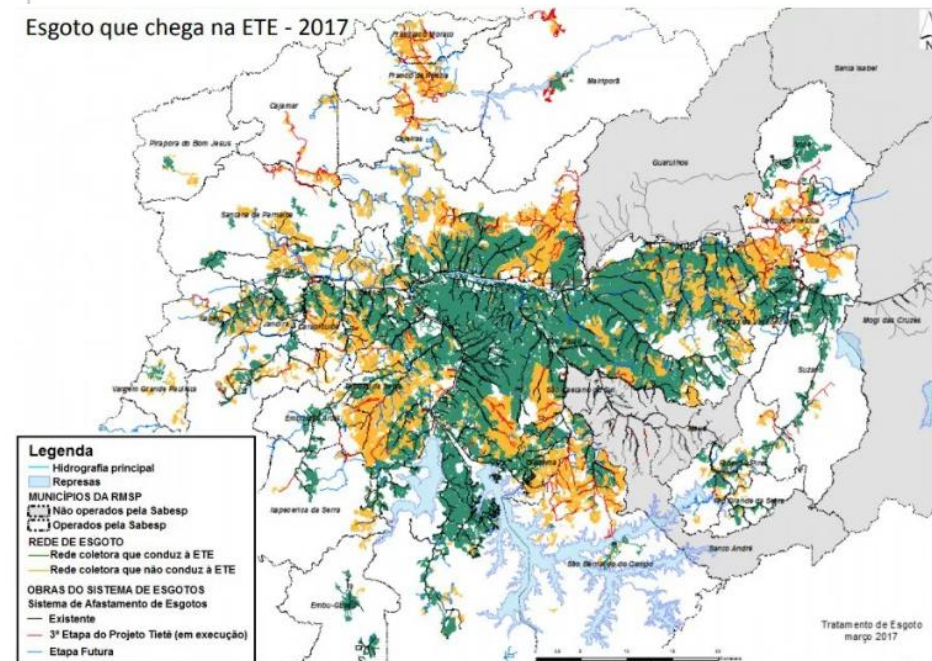
# RSU NO ESTADO DE SÃO PAULO



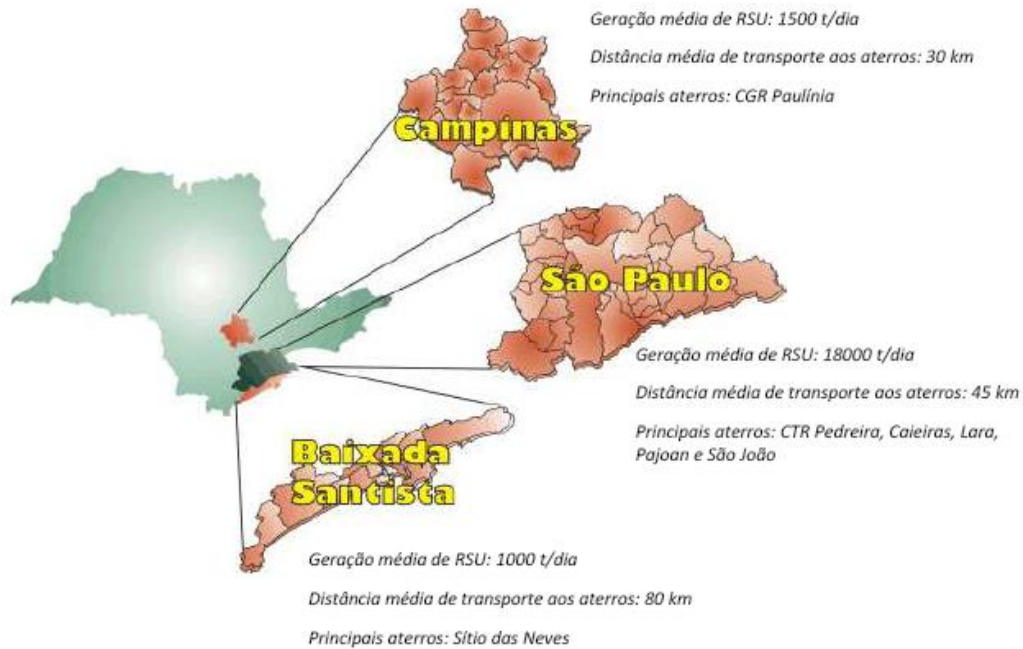
### Municipalities and Percentage of inhabitants with adequate/inadequate MSW disposal in São Paulo State



### Esgoto que chega na ETE - 2017



# Cenário Estado de São Paulo



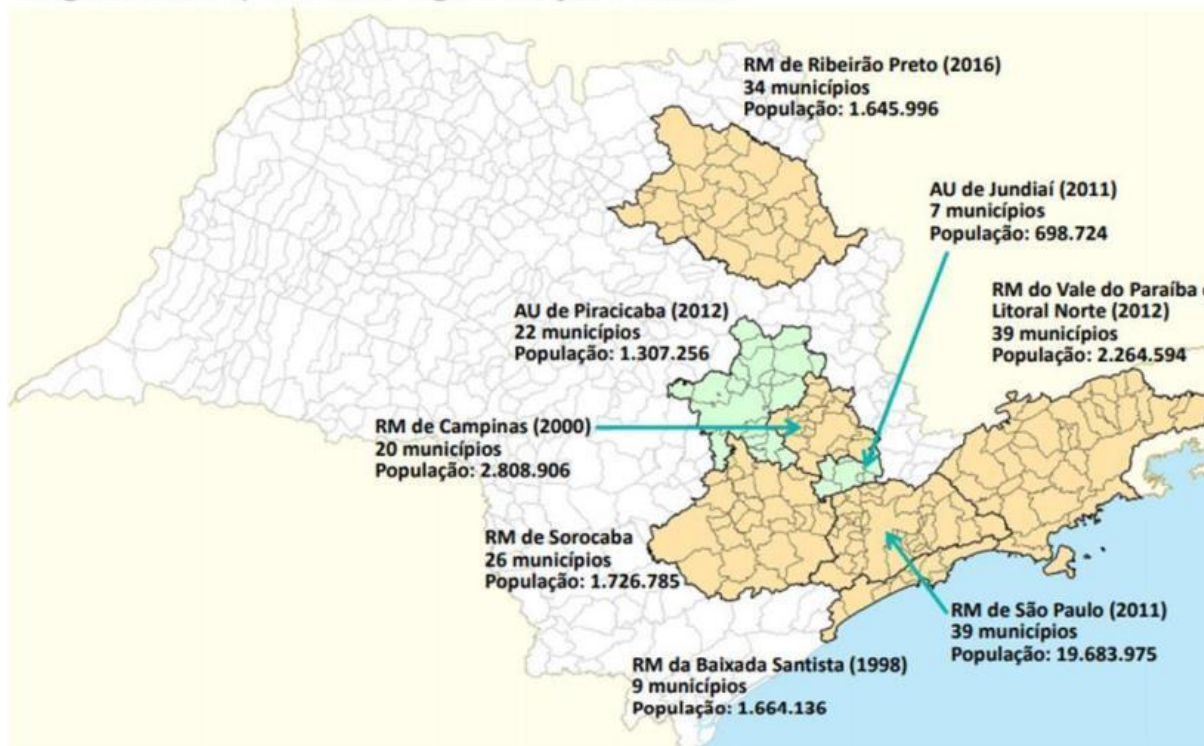
EMAE, 2010



## “Baixada Santista”- “Litoral Norte”



## Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas



## RSU – Projeto Parceria São Paulo – Baviera

### GT - SSE/EMAE - Estudo de viabilidade econômica, e modelagem para a implantação da URE

Característica	Valor	Unidade
Capacidade de processamento de RSU <sup>(1)</sup>	1.200	ton/dia
Poder Calorífico Inferior do RSU	1.900	kcal/kg
Redução de volume do RSU	90	%
Potência elétrica instalada	26	MW
Potência média disponível para venda	18,3	MW <sub>médios</sub>
Área total da Central de Tratamento	40.000	m <sup>2</sup>
Padrão de emissões atmosféricas	Resolução SMA-079/2009	
Custo Total UTTR <sup>(2)</sup>	R\$ 324 milhões	

(1) Modulação com 2 unidades de 600 t/d

(2) Sem incluir custo terreno

Fonte: EMAE, 2010

Electricity production cost: BRL 300/MWh – EUR 85/MWh –  
0.85cents/kWh

## RSU – Projeto Parceria São Paulo – Baviera

Resolução SMA 079 de Nov/2009  
Limites de emissão  
Baseados nos limites em uso na C.E.

	COT	CO	HCl	HF	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	MP	Dioxinas <i>Dioxins</i>
Limites Legais - Indústria <i>Legal limits - Industry</i>	50	-	30	3	350	350	20	0,1
Limites Legais - URE <i>Legal limits - WTE plant</i>	10	50	10	1	50	200	10	0,1
Emissões Usuais - URE <i>Usual limits - WTE plant</i>	1	10	1	0,1	1,5	150	1	0,005

Tabela 4 - Limites de Emissão e Emissões Usuais na Alemanha  
*Table 4 - Limits of emission and usual emissions in Germany*

## São Bernardo do Campo queima lixo para gerar energia

19 de Julho de 2013 • Atualizado às 14h46

 Curtir 201
  Compartilhar
  Tweetar 19
  +1 0



A incineração será capaz de suprir a metade da demanda de energia de São Bernardo.

A cidade de São Bernardo do Campo receberá a primeira instalação de aproveitamento da incineração de lixo entre o final de 2015 e o início de 2016. O projeto conta com o orçamento de R\$ 600 milhões, valor disponível para colocar a usina em prática.

O lixo é queimado e o vapor gerado é usado para movimentar as turbinas. Nesse processo, a incineração será capaz de suprir a metade da demanda de energia de São Bernardo, cidade que possui cerca de 17 mil habitantes. A usina vai gerar até 22 megawatts/hora.

Estima-se que sejam produzidas 11 bilhões de toneladas de lixo diariamente no mundo, e, por conta disso, o Brasil produz cerca de 20 bilhões de toneladas por ano.

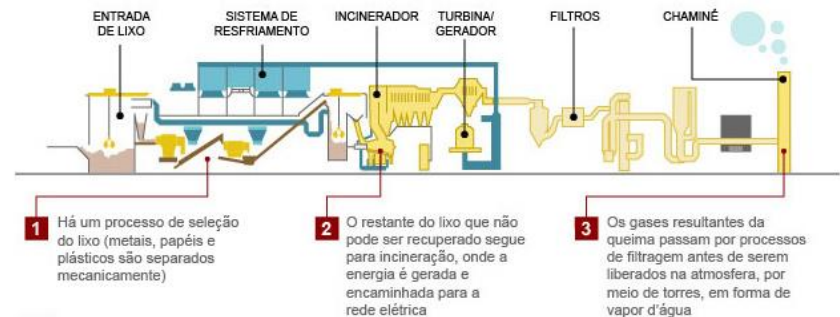
<http://ciclovivo.com.br/noticia/sao-bernardo-do-campo-queima-lixo-para-gerar-energia>

<http://jornalggn.com.br/blog/luisnassif/a-termoeletrica-a-lixo-de-sao-bernardo-do-campo>

# Cancelado



### Usina de incineração





## URE Barueri

825 t/d RSU (Barueri, Santa do Parnaíba, Carapicuíba)

20 MW

Mercado Livre

Licença de Instalação

### PPP - Parceria Público Privada

A Foxx URE Barueri é resultado da Parceria Público-Privada (PPP) entre a Prefeitura de Barueri e a Foxx URE Barueri, empresa brasileira que propõe a recuperação energética a partir do tratamento térmico do lixo. Trata-se de concessão de serviço para tratamento e recuperação energética de resíduos por 30 anos, que tem por objetivos:

- O tratamento do que não foi separado para a coleta seletiva e seus rejeitos;
- A redução e otimização dos custos na gestão de resíduos (médio e longo prazo).

### São responsabilidades da Prefeitura Barueri na PPP:

- Escolha do local onde o empreendimento vai operar;
- Encaminhamento dos resíduos domiciliares que não foram separados para a coleta seletiva e de rejeitos para a Unidade de Recuperação Energética (URE).

Barueri separa para reciclagem 2,9% de seus resíduos, apesar de atender 100% da cidade com coleta seletiva.

### São responsabilidades da FOXX URE Barueri na PPP:

- Obtenção das licenças ambientais para o empreendimento;
- Tratamento térmico dos resíduos e disposição final dos rejeitos do tratamento;
- Somar esforços ao município na gestão dos resíduos sólidos urbanos.



[http://www.movieco.org.br/detalhe\\_biblioteca/34/incineracao\\_de\\_residuos\\_\(caso\\_ure\\_barueri\\_usina\\_de\\_recuperacao\\_de\\_energia\)](http://www.movieco.org.br/detalhe_biblioteca/34/incineracao_de_residuos_(caso_ure_barueri_usina_de_recuperacao_de_energia))

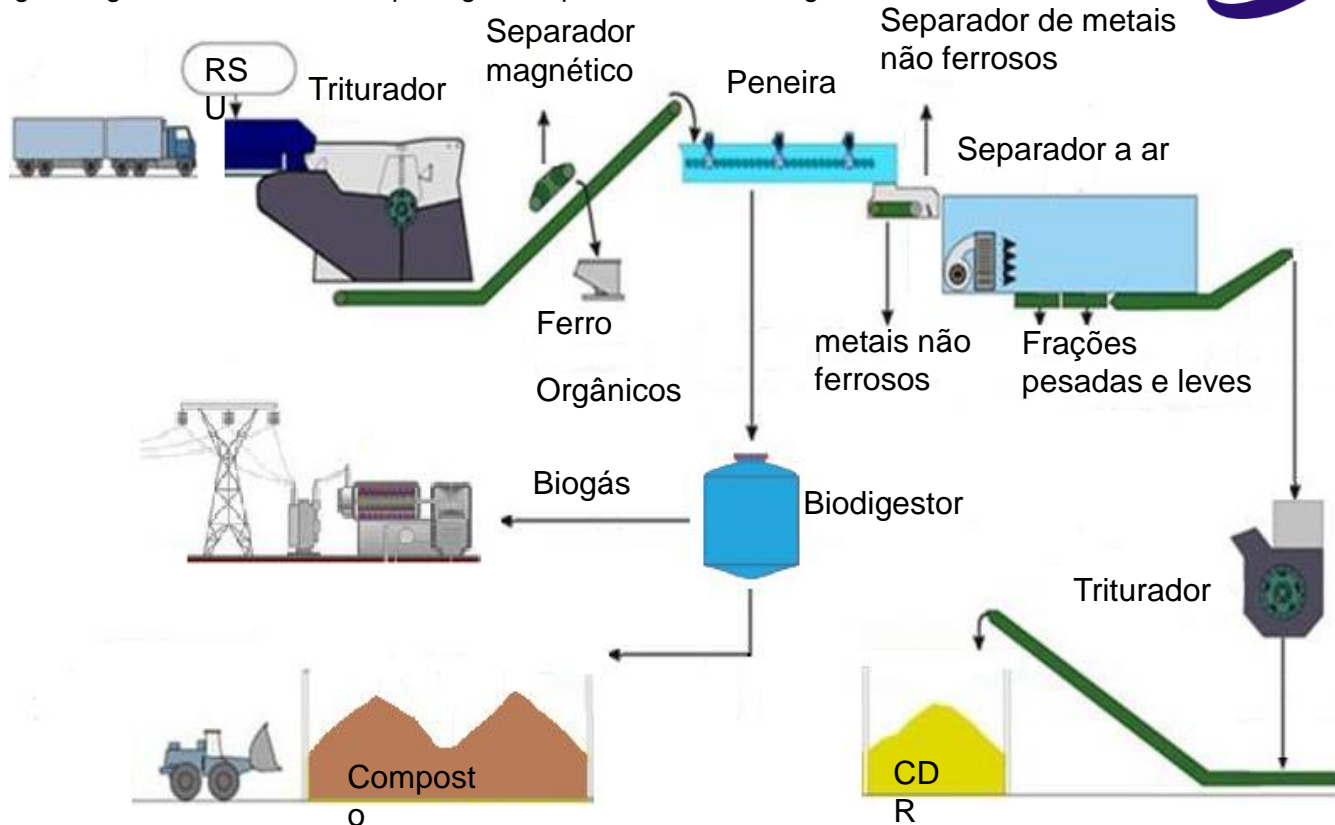
<http://haztec.com.br/solucoes-ambientais-completas/index.php/solucoes/idades-de-recuperacao-energetica>



# Digestão Anaeróbia/ Biodigestão/ Tratamento Mecânico Biológico

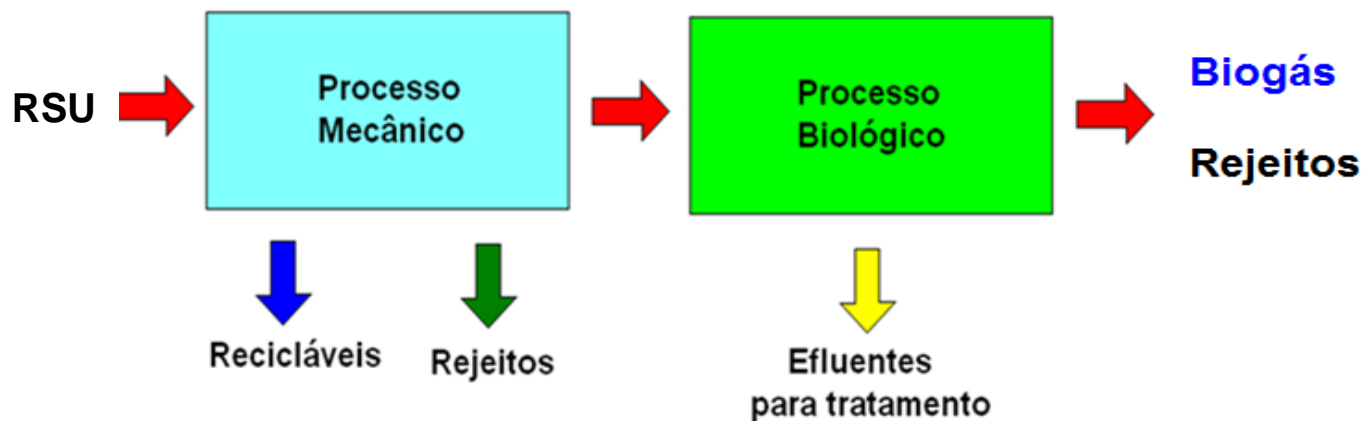
## Tratamento Mecânico Biológico - TMB

É uma forma integrada de tratar RSU que engloba a triagem, separação, trituração, secagem, digestão anaeróbia, compostagem e aproveitamento energético.



## Fluxograma de um processo de TMB

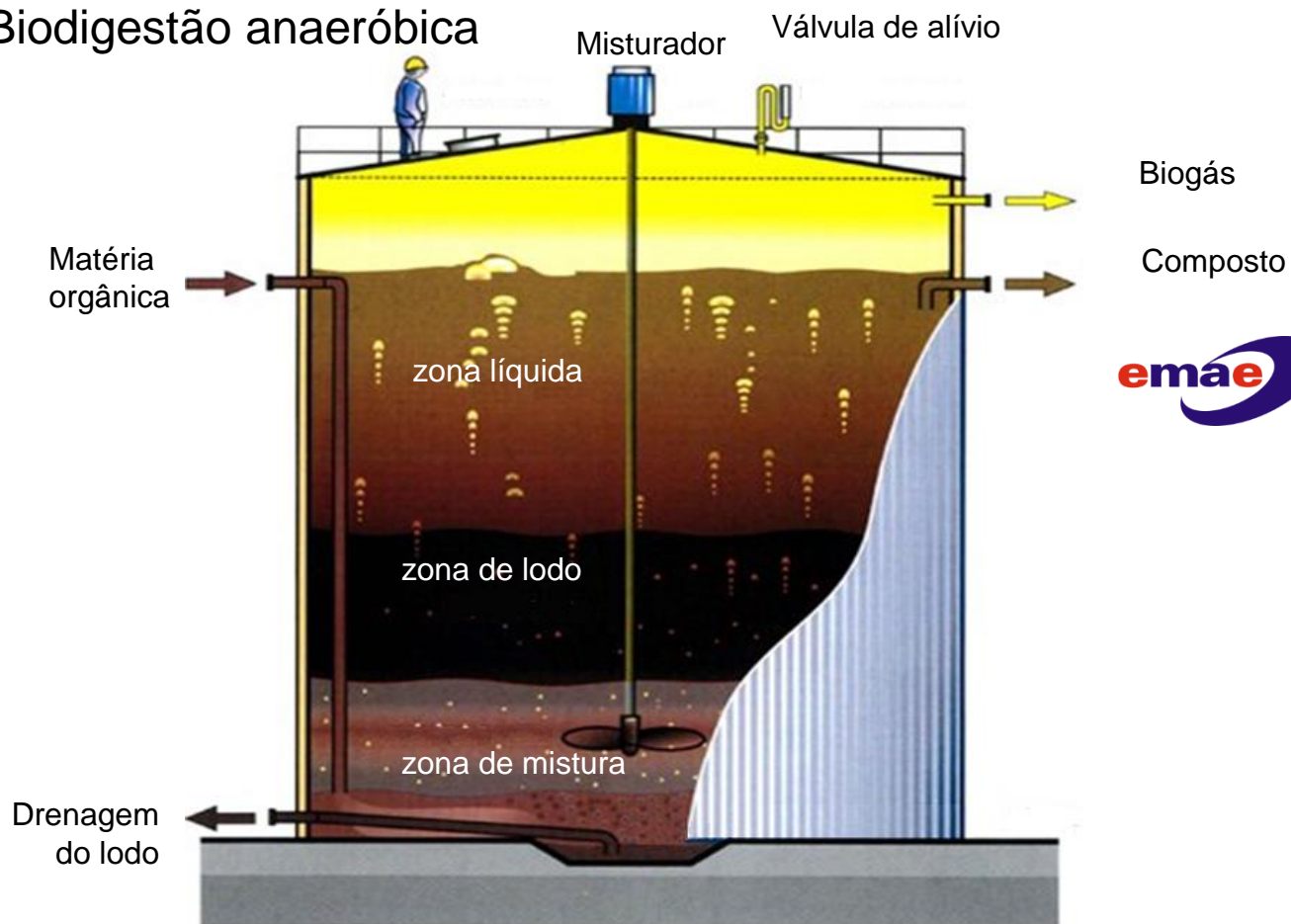
A tecnologia de TMB pode ser utilizada em diferentes tipos de configurações, dependendo do processo empregado e da utilização e otimização dos seus fluxos de saída.



## Detalhes de uma planta de TMB

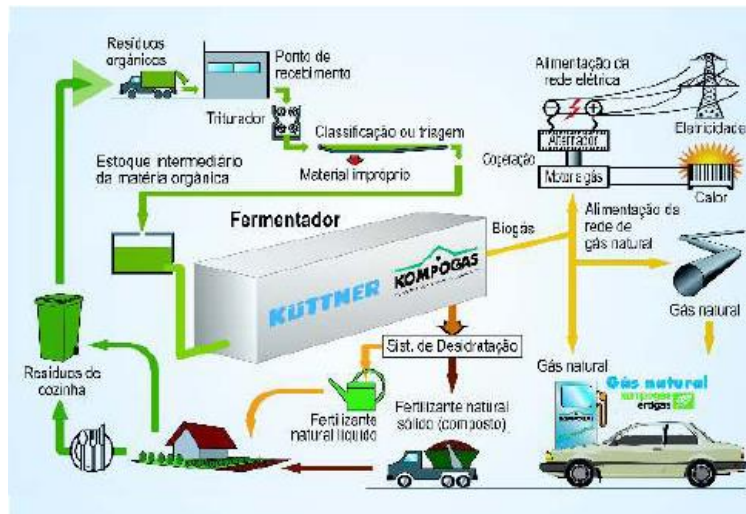


## Biodigestão anaeróbica





## Digestão Anaeróbia





## Plantas de TMB



## Plantas de TMB instaladas na Europa

Características	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010
Plantas inst.	15	44	52	73
Plantas / ano	3	8,8	10,4	14,6
Capacidade total inst. (t)	194.000	1.117.500	2.077.950	2.246.450
Cap. inst. / ano (t/ano)	38.800	223.500	415.590	449.290
Cap. média das plantas (t)	12.933	25.398	39.961	30.773

Fonte: (Adaptado de BAERE; MATTHEEUWS, 2010)

# Gaseificação de RSU

(Gaseificação – combustão incompleta)

# Task33 Database

Gasification of Biomass and Waste

IEA Bioenergy

> Exit Database

Filter Projects

Projects

Map

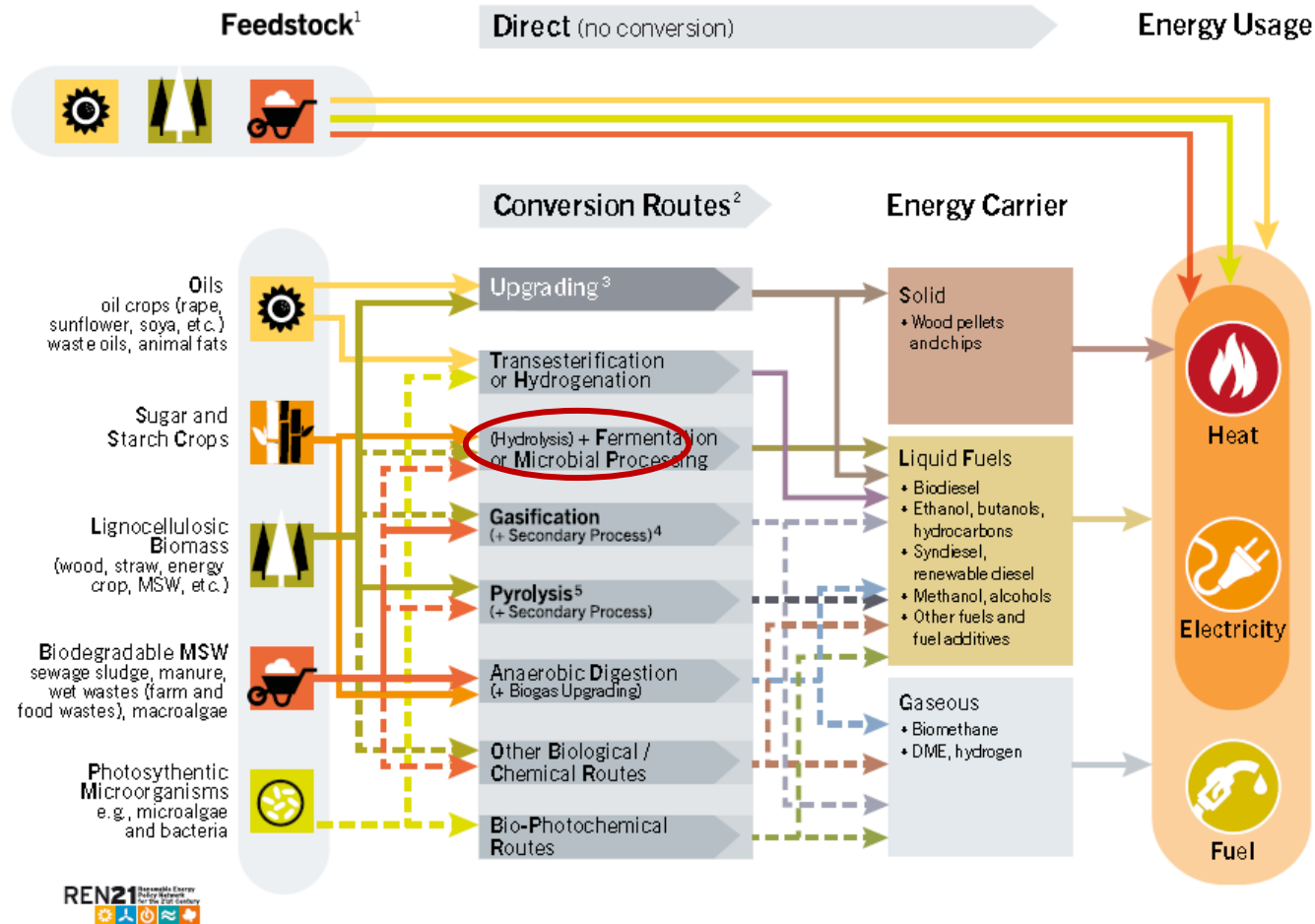
Search Owner/Name/Input

Submit

Owner	Name	Country	
Aerni Pratteln	CHP Pratteln	Switzerland	<a href="#">Info</a>
AEW Energie AG	Pelletvergasser AEW Rheinfelden	Switzerland	<a href="#">Info</a>
Agnion Technologies GmbH	CHP Agnion Biomasse Heizkraftwerk Pfaffenhofen	Germany	<a href="#">Info</a>
ARBRE Energy Limited (AEL)	IGCC ARBRE Energy Eggborough	United Kingdom	<a href="#">Info</a>
Autogasnord	-	Italy	<a href="#">Info</a>
Azienda agricola Camardo	-	Italy	<a href="#">Info</a>
Azienda Agricola Isca di Calvello	Urbas Calvello	Italy	<a href="#">Info</a>
Azienda Agricola San Vittore	-	Italy	<a href="#">Info</a>
Azienda Tessile Parmense	GAS 1000	Italy	<a href="#">Info</a>
Babcock&Wilcox Volund	CHP B&W Harboore	Denmark	<a href="#">Info</a>



Figure 6. Bioenergy Conversion Pathways



Source:  
See Endn  
for this se

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

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

# Geração de eletricidade a partir de RSU (em municípios menores)

Quantidade de RSU	Potencial de geração de eletricidade
1200 t/d (grandes municípios)	20 MW (incineração)
60 t/d (município de 60 000 pessoas)	1 MW (gaseificação)
5 t/d (município de 5 000 pessoas)	75 kW aprox (gaseificação)

Tabela 21 - Classificação quanto ao porte do município em relação ao número da população residente - Brasil – 2000.

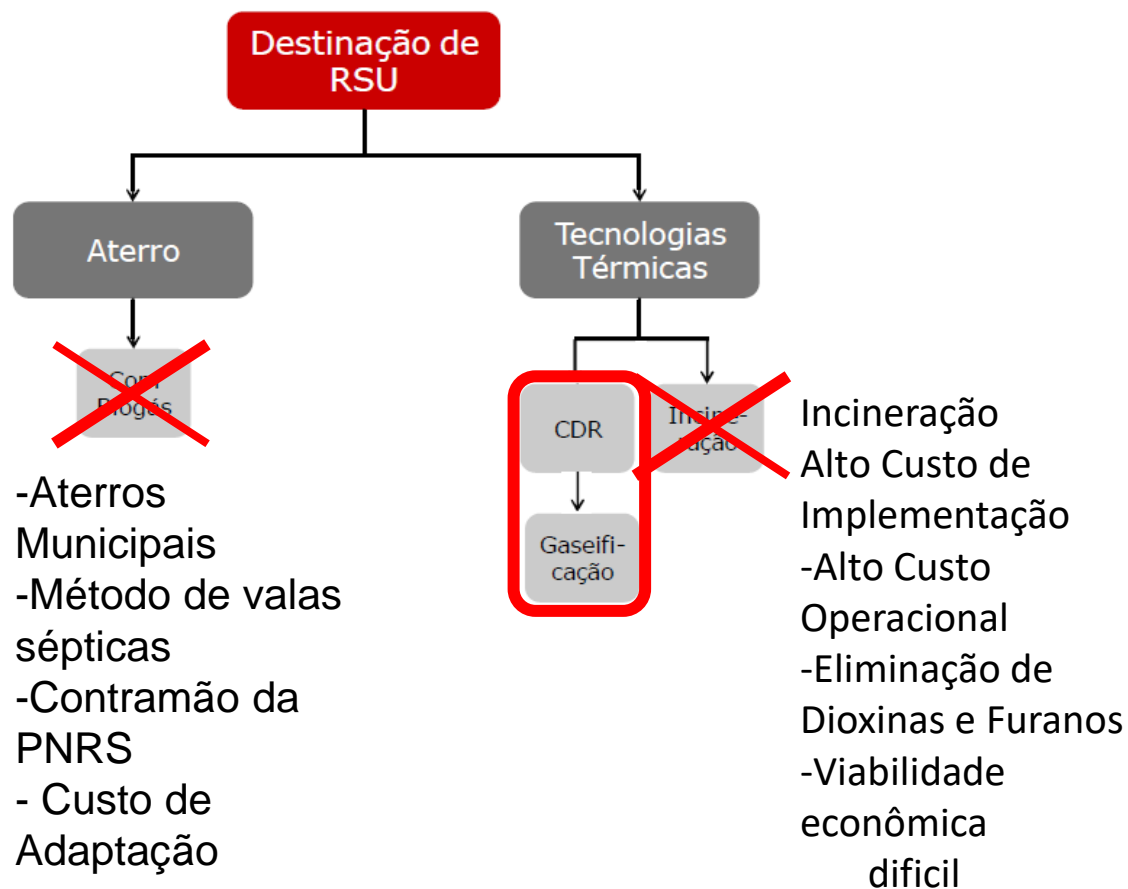
Incineração – > 10 MW  
 Gaseificação:  
 Leito fluidizado > 200 kW  
 Leito fixo < 200 kW

Classificação de acordo com o tamanho da população		Número de municípios	Relação ao Total
Pequeno Porte I	até 20 000	4.074	73,26%
Pequeno Porte II	De 20 001 até 50 000	963	17,32%
Medio Porte	De 50 001 até 100 000	299	5,38%
Grande Porte	Mais de 100 001	225	4,05%
<b>Total</b>		<b>5.561</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base no IBGE, 2000.



# Aproveitamento energético em pequenos e médios municípios

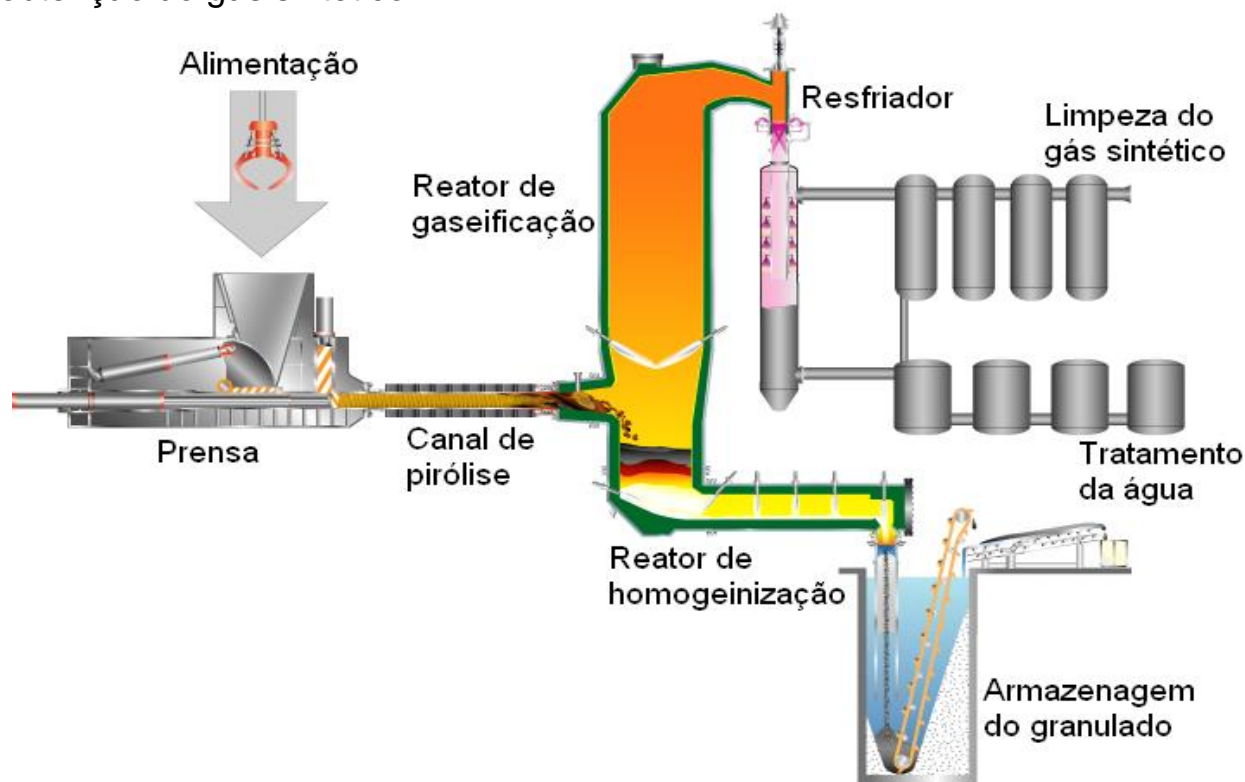


## COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU

Tecnologia	Vantagens	Dificuldades
<b>Aterro Sanitário</b>	Tecnologia conhecida/dominada (motores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldades para encontrar áreas disponíveis (motivos ambientais e sociais)</li> <li>• Motores – elevadas emissões de NOx (necessidade de equipamentos “low NOx”)</li> <li>• Micro turbinas pouco utilizadas no Brasil</li> </ul>
<b>Incineração</b>	Redução no volume de resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há planta instalada com potência inferior a 10 MW no mundo</li> <li>• Uma única planta em construção (Barueri)</li> <li>• Custos elevados</li> </ul>
<b>Tratamento Mecânico Biológico</b>	Redução no volume de resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários Mercado de recicláveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há planta instalada no Brasil</li> <li>• Custos elevados</li> </ul>
<b>Gaseificação</b>	Adequados para pequenos municípios - Unidades de menor porte (200 kW - 10 MW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primeira planta comercial – Furnas/Carbogás – 1 MW</li> </ul>

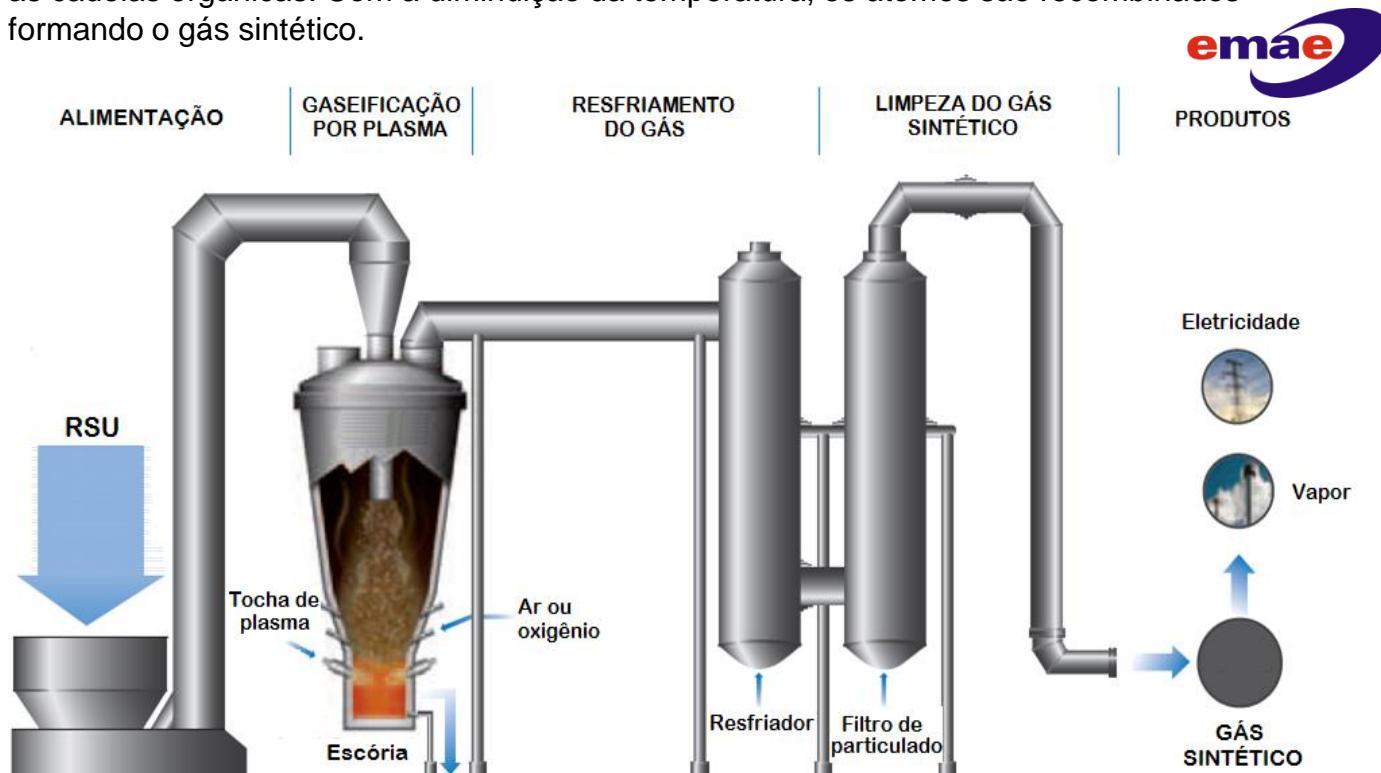
## Gaseificação por pirólise

Decompõe os RSU em baixa temperatura, sem a presença de oxigênio, para obtenção do gás sintético.

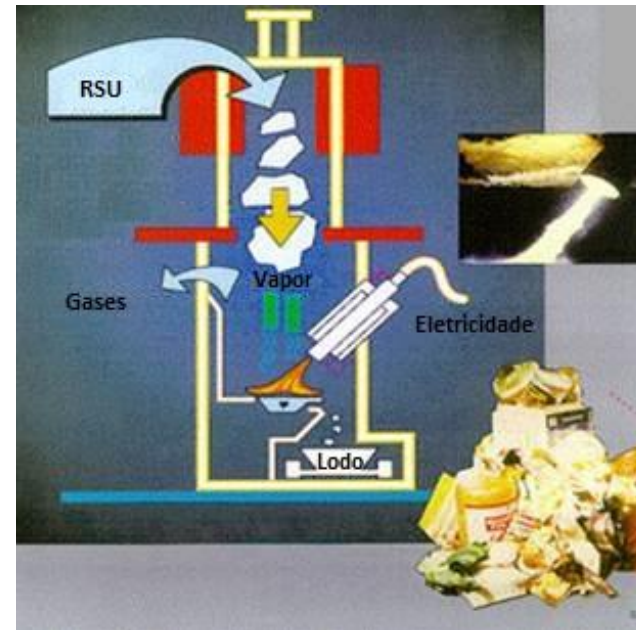
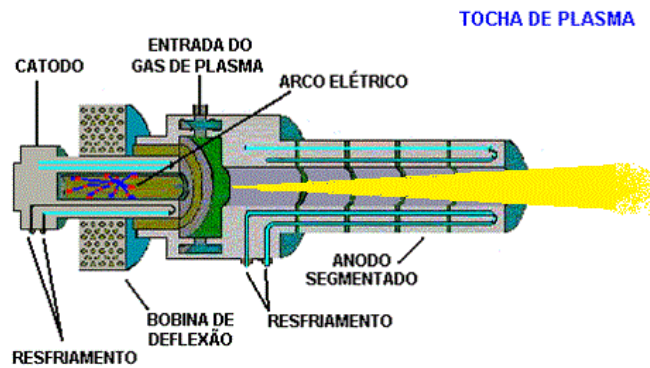


## Gaseificação por plasma

Decompõe os RSU em altas temperaturas, com energia de tocha de plasma, quebrando as cadeias orgânicas. Com a diminuição da temperatura, os átomos são recombinados formando o gás sintético.



## Detalhes da tecnologia de plasma



## *MSW plasma gasification – Morcenx, France – 12 MW*

Construction work on the facility was completed back in 2012, but commissioning has been delayed due to difficulties in achieving satisfactory performance testing. Start-up 2014

### **SUCCESSFUL TESTS AT STRUGGLING PLASMA GASIFICATION WASTE TO ENERGY PROJECT IN FRANCE**

25 June 2014  
By Ben Messenger  
Managing Editor



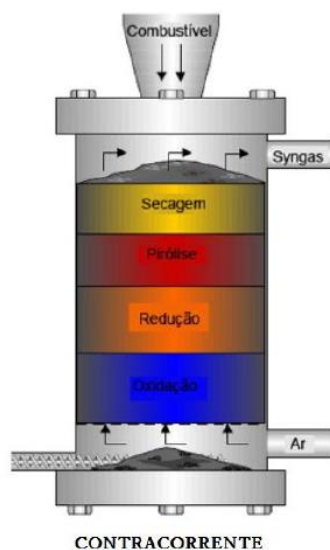
<http://www.waste-management-world.com/articles/2014/06/successful-tests-at-struggling-plasma-gasification-waste-to-energy-project-in-france.html>

[http://www.dovetailinc.org/workshop\\_materials/plasma\\_gasification\\_presentation.pdf](http://www.dovetailinc.org/workshop_materials/plasma_gasification_presentation.pdf)



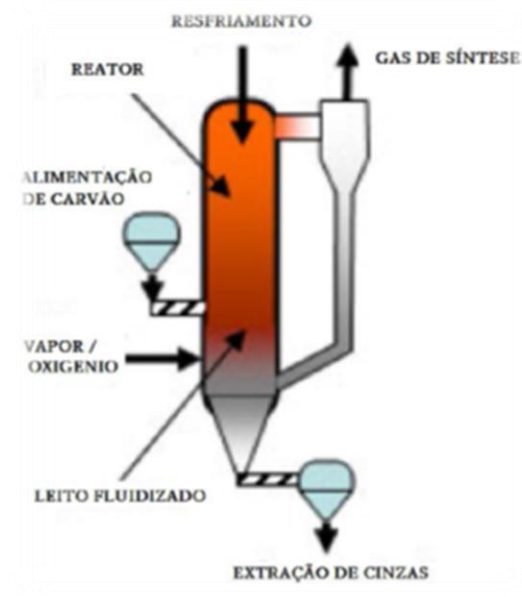
## Gaseificação de RSU

### Gaseificadores de leito fixo Pequeno Porte <200 kW



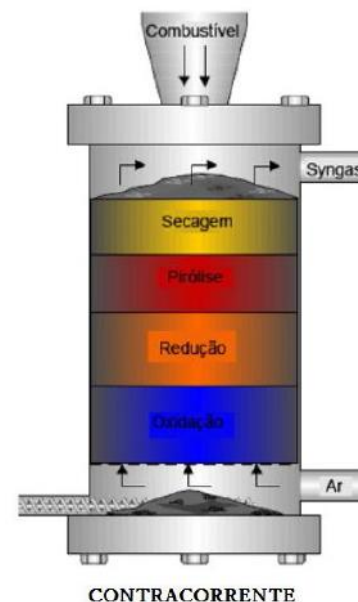
FONTE: Adaptado de Pagliuso. 2009

### Gaseificador leito fluidizado Médio Porte >200 kW



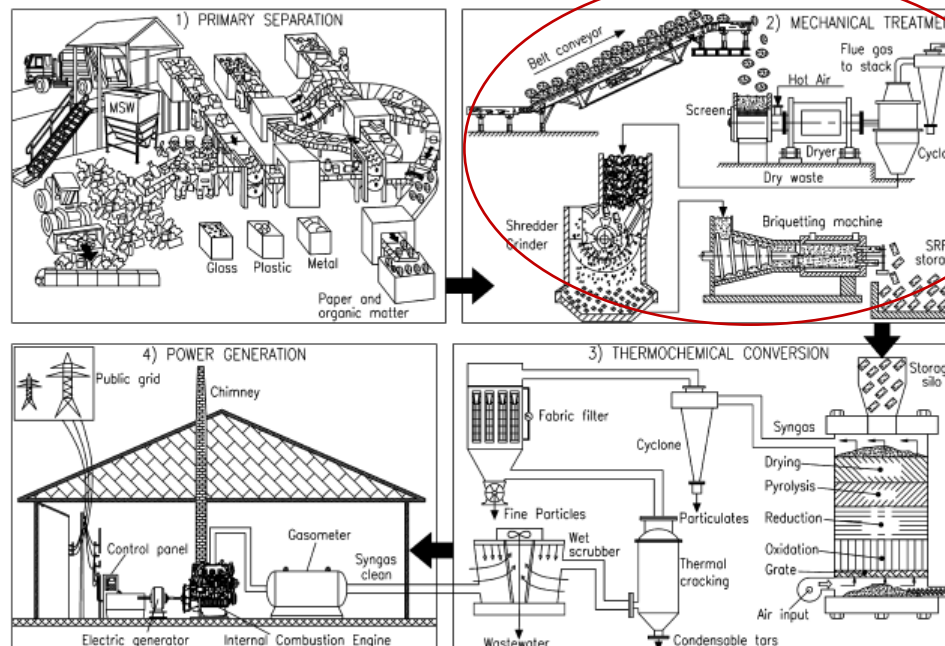
## Gaseificadores de leito fixo para RSU

- Necessidade de pré-tratamento cuidadoso (secagem e peletização)
- Para potências abaixo de 200 kW
- Limpeza do gás



## Gaseificador de leito fixo para RSU

F.C. Luz et al / Energy Conversion and Management 103 (2015) 321–337

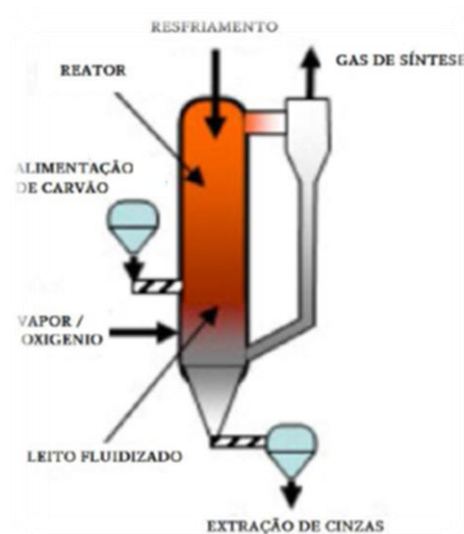


Pre-  
tratamento  
Secagem  
Peletização

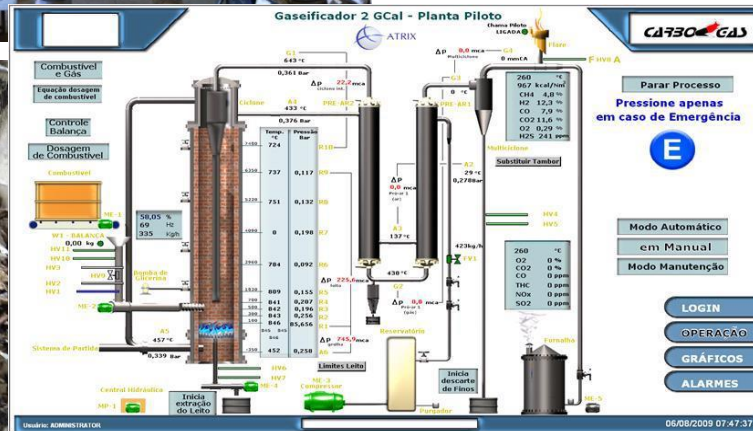
Fig. 1. Process flow sheet of the energy recovery from MSW.

## Gaseificadores de leito fluidizado para RSU

- RSU transformados em CDR
- Flexibilidade na escala (até potências maiores)
- Menor necessidade de limpeza do gás



# Gaseificador de RSU (Maua, 2014)



ESTUDO DE CASO: GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) NO  
VALE DO PARANAPANEMA – PROJETO CIVAP.

Luciano Reis Infiesta - 2015

Orientadora: Suani Teixeira Coelho



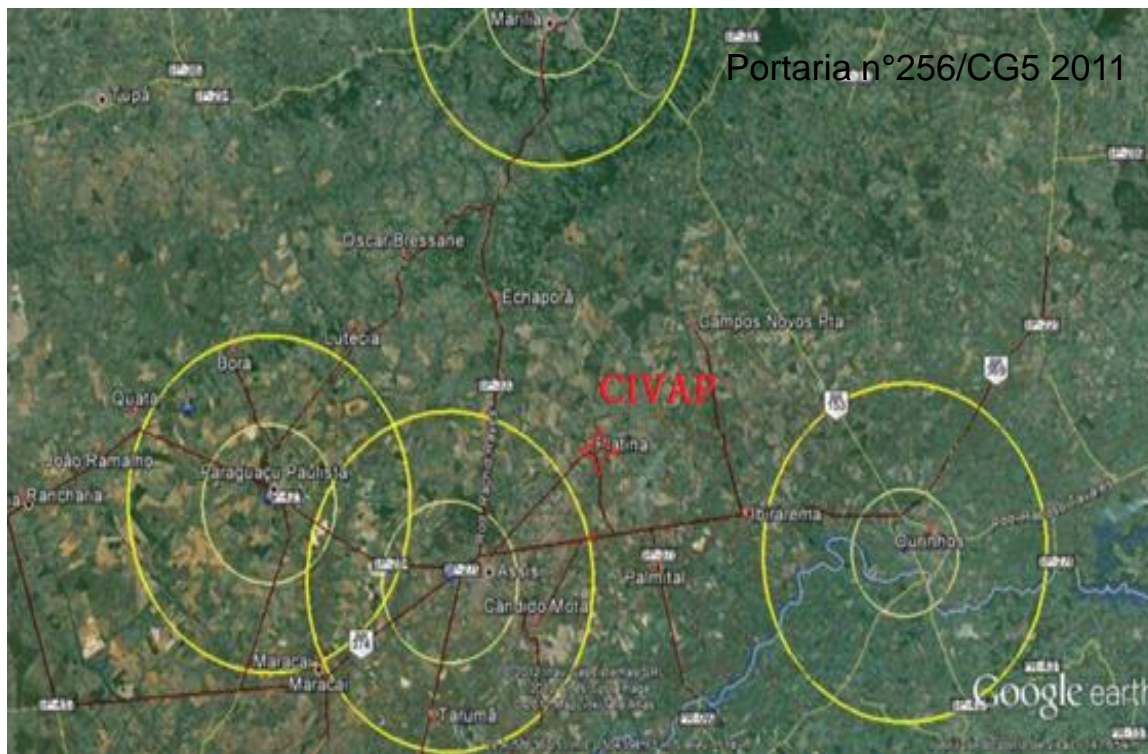
- Planta Piloto Carbogas - SP – 1MWth
- Desde 2000





## CIVAP

### Consórcio Intermunicipal do Vale do Paranapanema



FONTE: Google Maps, 2014

## Linha de CDR Combustível Derivado de Resíduo



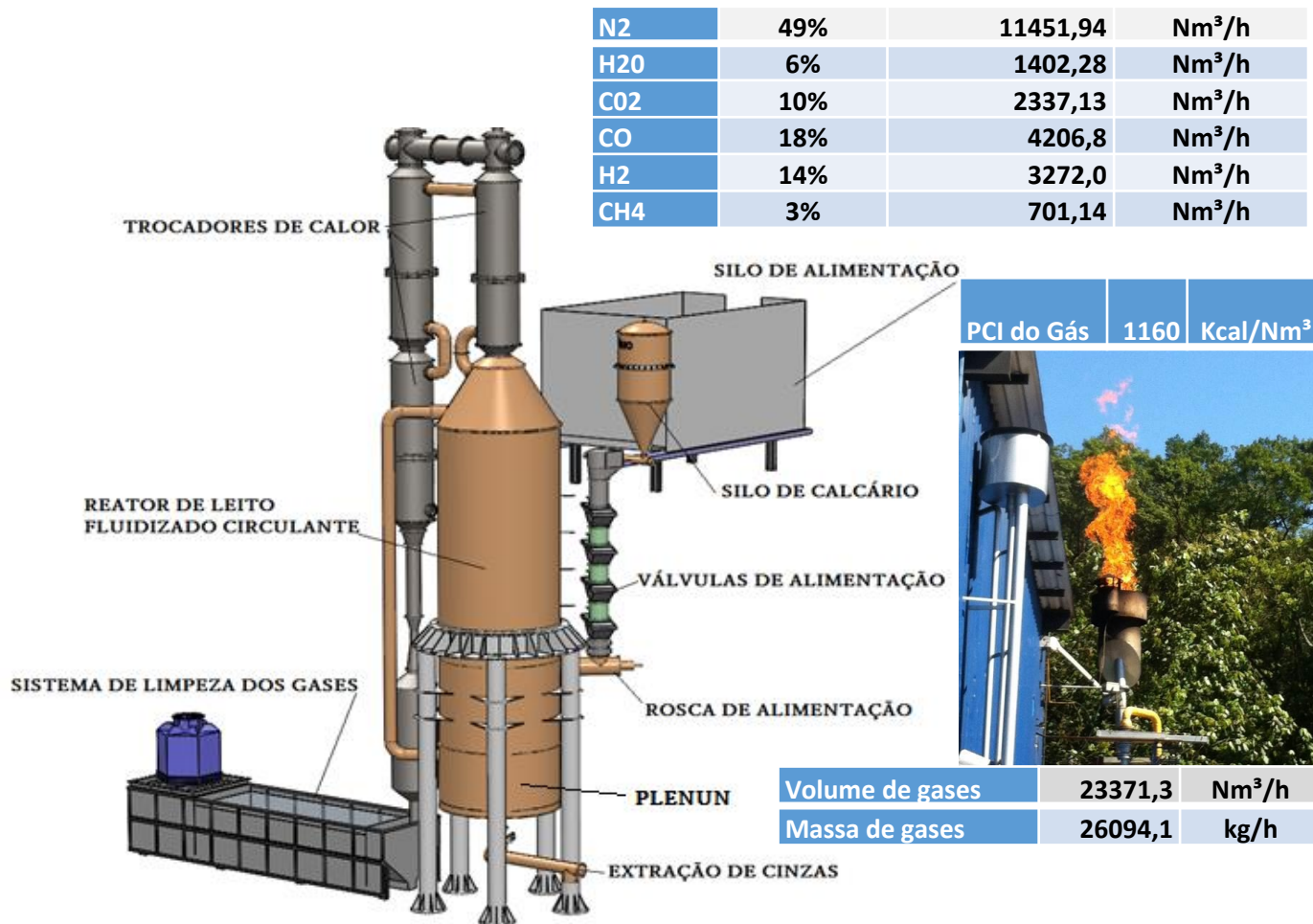
FONTE: Infiesta / Carbogas 2014.

PCI do CDR

4.190

kcal/kg

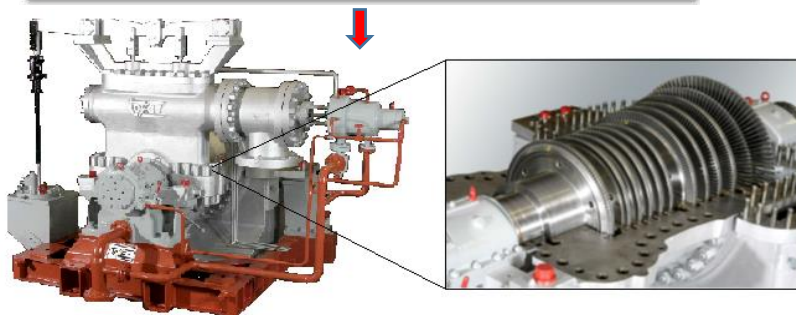
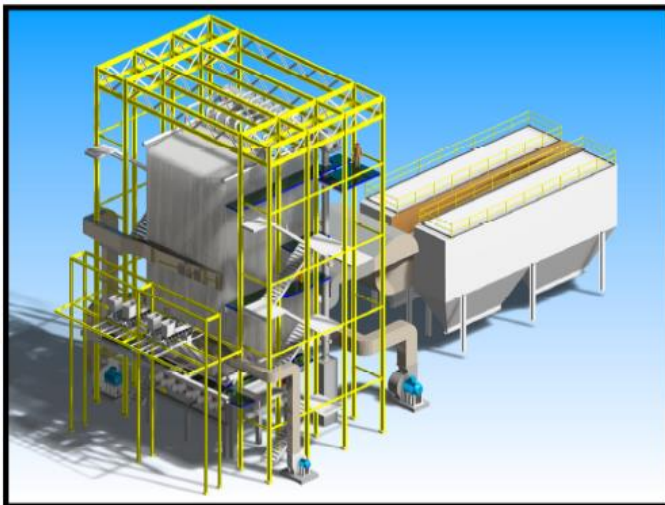
Gaseificar



FONTE: Infiesta/ Carbogas 2014.



## Caldeira e Turbina a Vapor



Energia de Entrada na Caldeira	<b>113431228,4 kJ/h</b>
Entalpia Água de Entrada na Caldeira - 42 bar (105°C)	<b>440,1 kJ/kg</b>
Entalpia Vapor de Saída na Caldeira - 42 bar (420°C)	<b>3255,80 kJ/kg</b>
Rendimento + Temperatura Gases de Exaustão	<b>87%</b>
Geração de Vapor	<b>35048 kg/h</b>

Dado - Consumo de Vapor na Turbina	<b>21501 kg/h</b>
Dado - Geração de Energia Elétrica na Turbina 2 unid.	<b>5000 kW</b>
Geração de Energia Elétrica Real	<b>8150 kW</b>
Consumo da Própria Planta	<b>1450 kW</b>
Energia Exportável	<b>6700 kW</b>

FONTE: Texas / Mitre 2015.

# APROVEITAMENTO ENERGETICO DE RSU : ESTUDO DE CASO NO MUNICIPIO DE ITANHAEM – PECE/EPUSP

Primeiro Premio OLADE 2015

Luiz Henrique Miranda  
Orientadora: Suani Teixeira  
Coelho

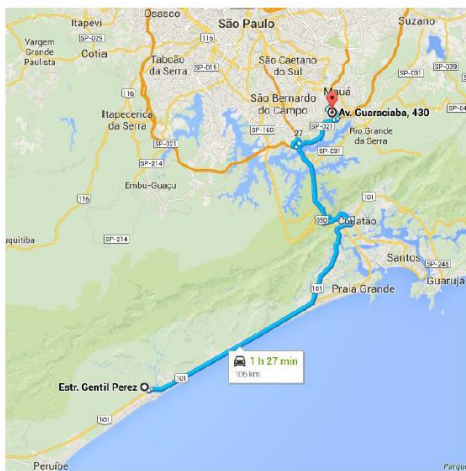


Figura 42 – Trajeto da destinação dos resíduos do município de Itanhaem – SP.

Fonte: Google Maps.

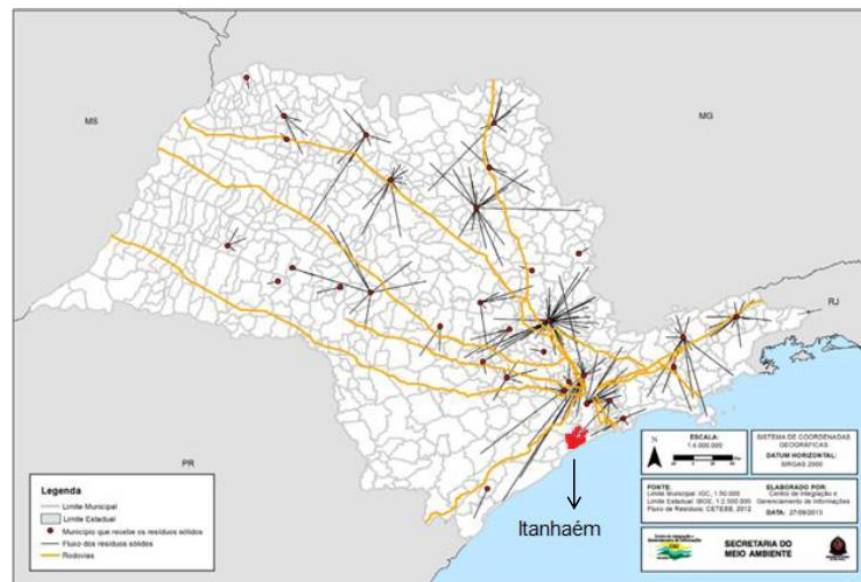


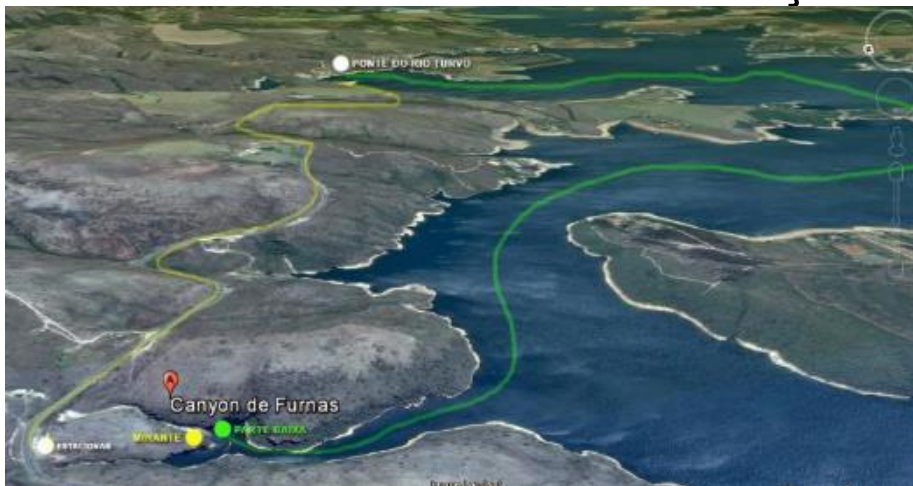
Figura 9 - Mapa de fluxo de resíduos sólidos urbanos no Estado de São Paulo.

Fonte: SMA/CPLA (2013).

## GD com resíduos de biomassa e o saneamento básico

### O caso dos pequenos municípios

- Furnas (Minas Gerais)
- 35 municípios em torno do lago de Furnas
- Lixões
- Risco de contaminação





# GD com resíduos de biomassa e o saneamento básico

## O caso dos pequenos municípios

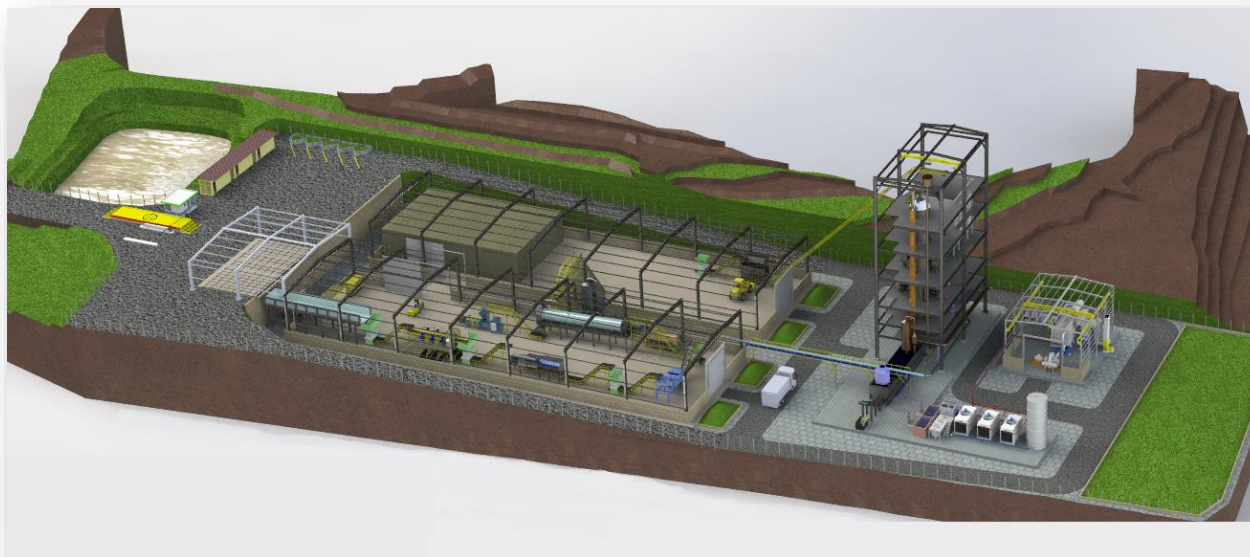
Tabela 21 - Classificação quanto ao porte do município em relação ao número da população residente - Brasil – 2000.

Classificação de acordo com o tamanho da população		Número de municípios	Relação ao Total
Pequeno Porte I	até 20 000	4.074	73,26%
Pequeno Porte II	De 20 001 até 50 000	963	17,32%
Médio Porte	De 50 001 até 100 000	299	5,38%
Grande Porte	Mais de 100 001	225	4,05%
<b>Total</b>		<b>5.561</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor com base no IBGE, 2000.

## PROJETO DE P&D

Aproveitamento energético e geração de energia elétrica de resíduos sólidos urbanos a partir de reator termoquímico.



## 1 – Localização do Empreendimento



Boa Esperança é um município brasileiro do estado de Minas Gerais. Localiza-se a uma latitude  $21^{\circ}05'24''$  sul e a uma longitude  $45^{\circ}33'57''$  oeste, estando a uma altitude de 775 metros. Sua população em 2016 é de 40 412 habitantes, de acordo com a estimativa do IBGE.

Local de Instalação: Boa Esperança-MG;

Processo: Sistema Reator Termoquímico em Leito Fluidizado Circulante;

Capacidade de Geração: 3,54 Gcal/h (4MWth);

Rendimento Teórico: 75%;

Range de Trabalho 70%

Aplicação: Geração de Energia Elétrica

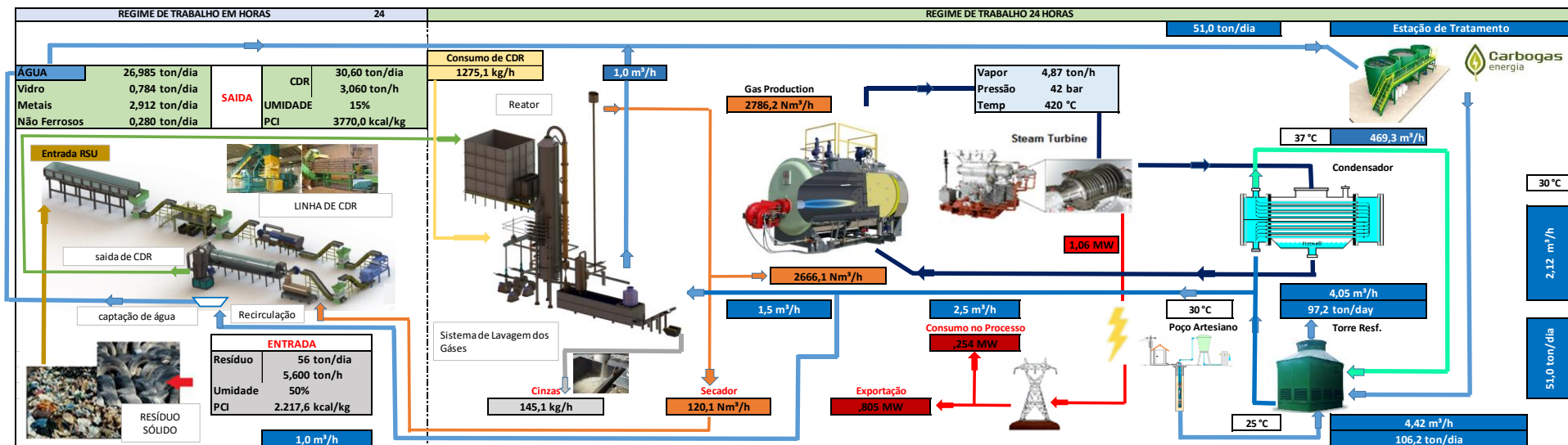
## 2 – Coleta de Amostras e Testes práticos

O teste foi realizado na data de 20/10/2016, na planta piloto termoquímica instalada na empresa Carbogas Ltda em Mauá-SP com o resíduo de Boa Esperança-MG, onde comprovou a viabilidade técnica.

Para o teste, foi utilizado a mistura de resíduo Aterro 50% + Rua 50% com as propriedades físico químicas analisadas previamente. O resíduo foi coletado e processado para obtenção do CDR e posterior gaseificação, visto que esta será a metodologia proposta no projeto.







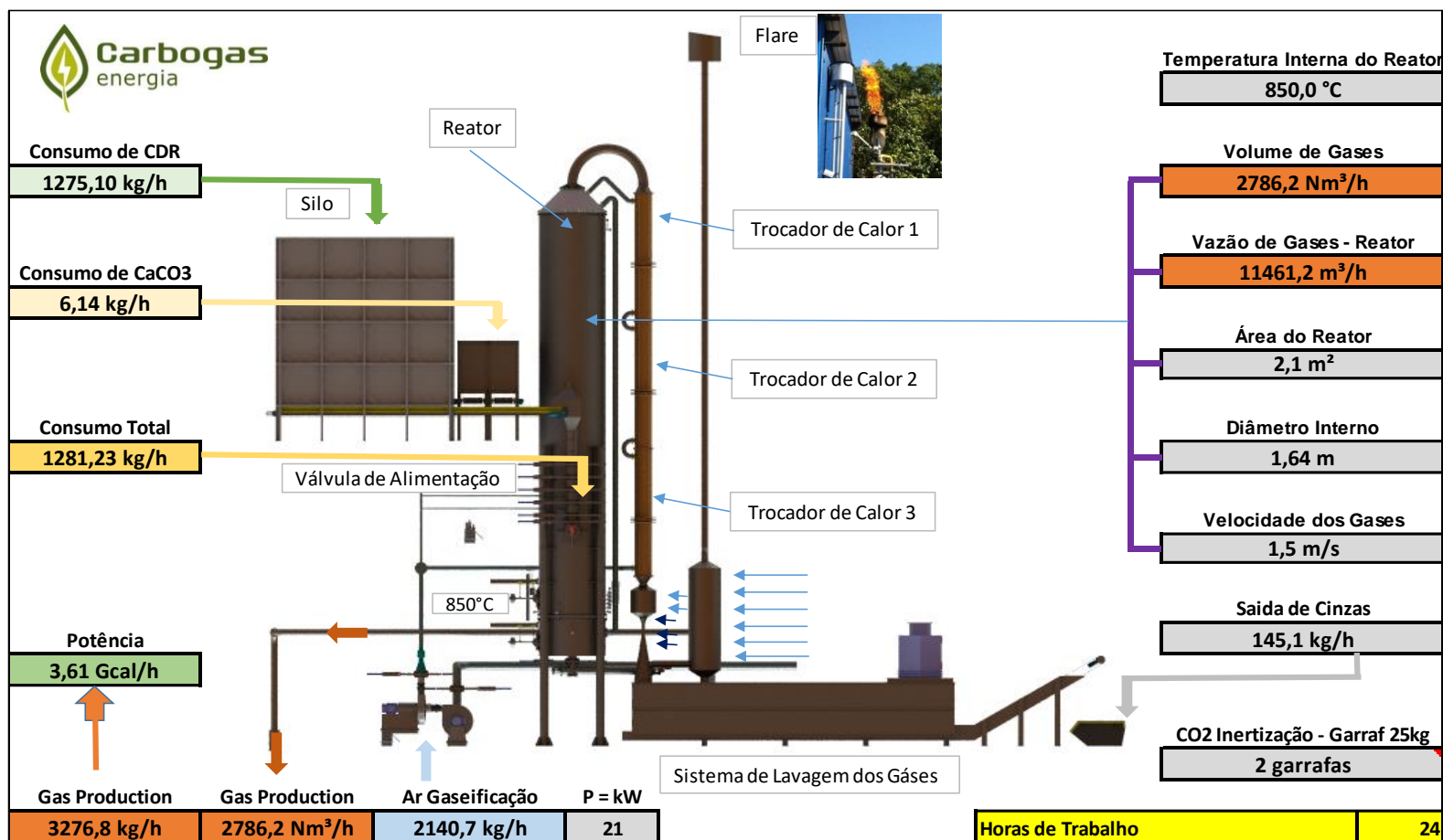
### Technical figures

- MSW: 55 ton/day
- Net power generated: 1.06 MW
- Power surplus to export: 0,805 MW
- Area: 7,800 m<sup>2</sup>

- MSW LHV: 2,217 kcal/kg
- RDF LHV: 3,770 kcal/kg
- Syngas LHV: 1,294 kcal/Nm<sup>3</sup>

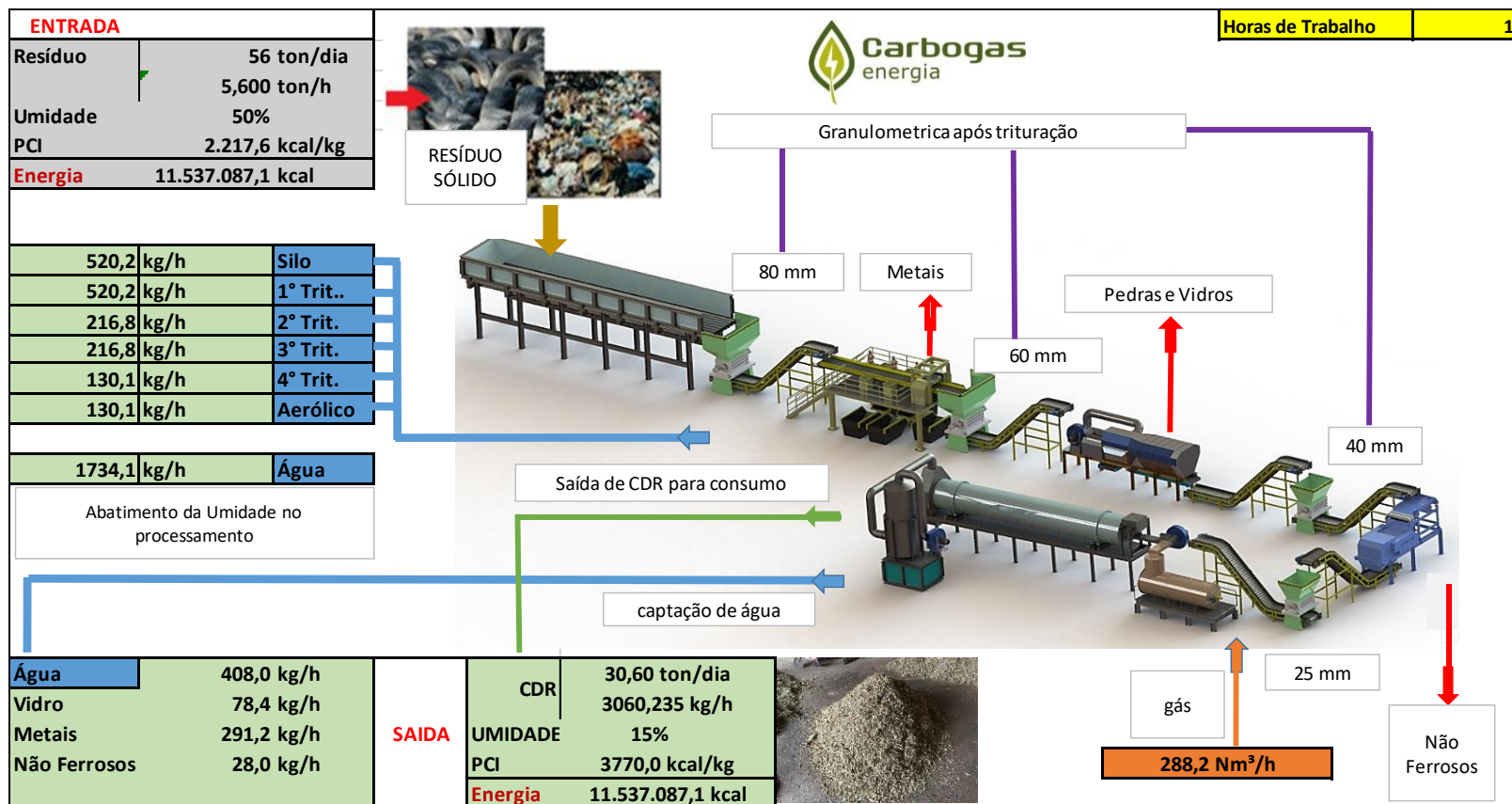


# Fluxograma – Gaseificação

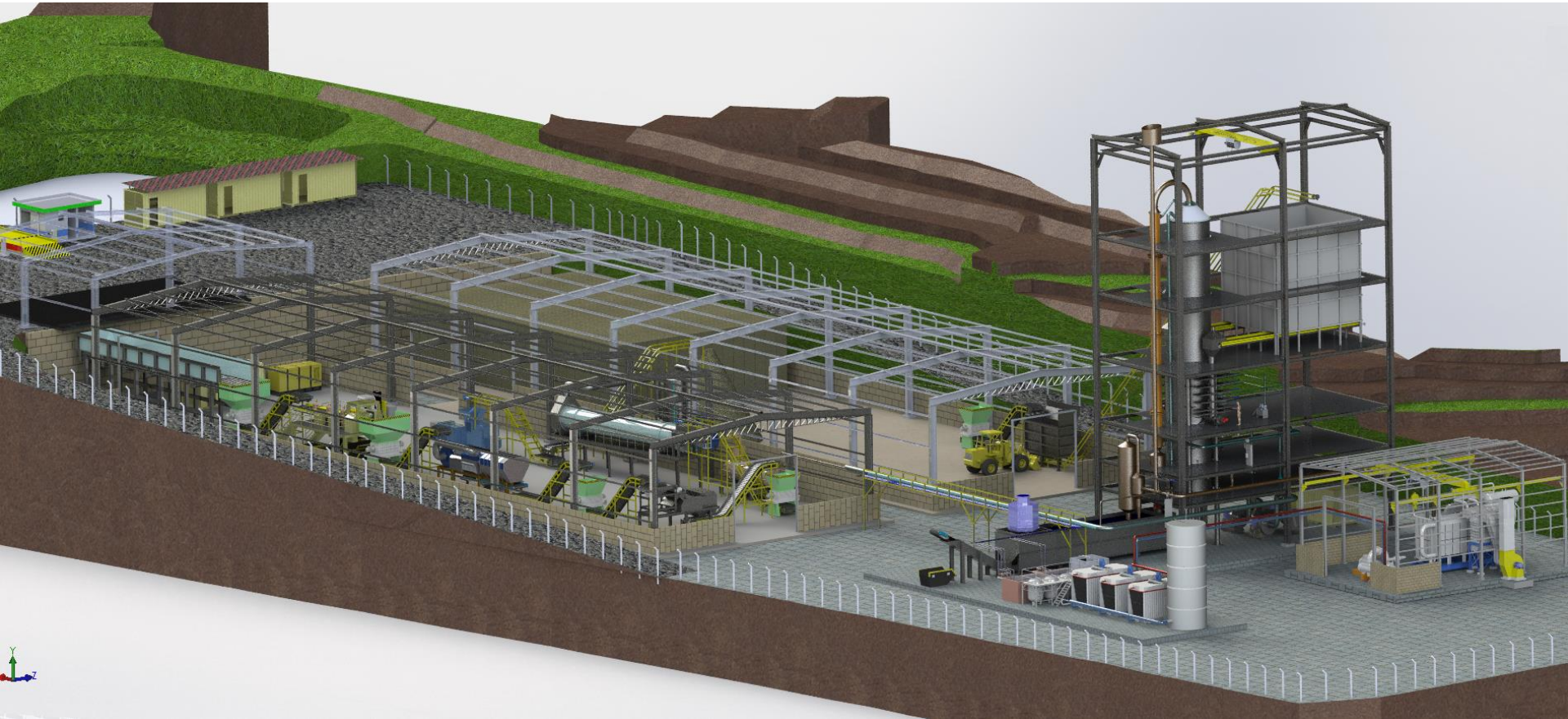




## Fluxograma – Linha de CDR



## 9 - PROJETO P&D - BOA ESPERANÇA.



# GD com resíduos de biomassa e o saneamento básico

## O caso dos pequenos municípios

- Furnas Electric Co. (Minas Gerais State)
- Aproveitamento energético - RSU – Município de Boa Esperança – 40.4012 hab.
  - 1 MWe
  - Tecnologia brasileira (CARBOGAS) – gaseificador de leito fluidizado
- Potencial de GD (32 municípios): 27 MW



**“Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) Comparativa  
entre Tecnologias de Aproveitamento  
Energético de Resíduos Sólidos”**

**PROJETO P&D – CENBIO/IEE/USP - EMAE – ANEEL  
(Out 2011 – Mar2013)**

**Coordenação J. Goldemberg  
Coordenação executiva Suani T Coelho**



- Objetivo principal: elaborar estudo comparativo por meio da ACV do potencial de geração de energia elétrica proveniente do aproveitamento energético de tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos (de origem domiciliar, poda, varrição, comercial e industrial não perigoso), incluindo lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto.
- Objetivos secundários: analisar os aspectos econômicos, mercadológicos e sociais



Região Baixada Santista  
1200 t/d  
90% RSU e 10% lodo

Cenário I sem reciclagem

Cenário II – com  
reciclagem

Incineração



Aterro



<http://www.iee.usp.br/gbio/?q=avalia%C3%A7%C3%A3o-de-ciclo-de-vida-acv-comparativa-entre-tecnologias-de-aproveitamento-energ%C3%A9tico-de>

# Por que Cenário II?

- Atuação de cooperativas de catadores que fariam a separação dos resíduos passíveis de reciclagem.  
Atendimento:
- Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305, de 2/8/10): necessidade da inclusão dos catadores no gerenciamento integrado de RSU e à exigência de implantação de infraestrutura para coleta seletiva;
- Artigo 24 da Resolução CONAMA 316/2002: obrigatoriedade de um programa de segregação de resíduos para reciclagem ou reaproveitamento quando da implantação de sistema de incineração de RSU.



Material	Fração destinada à reciclagem <sup>1</sup>	Premissa
Metais ferrosos <sup>2</sup>	90%	Facilidade de separação (sistemas magnéticos)
Metais não ferrosos <sup>2</sup>		
PET <sup>3</sup>	50%	Tem alto valor no mercado de recicláveis
Papelão <sup>4</sup>	30%	Cenário pessimista da PNRS (grande demanda no mercado)
Vidros <sup>5</sup>		Cenário pessimista da PNRS (facilidade de segregação)
Matérias orgânicas	25%	Cenário pessimista da PNRS (frutas e verduras encaminhadas para compostagem)
Madeiras e podas		Cenário pessimista da PNRS (encaminhadas para compostagem)
PEAD <sup>6</sup>	10%	Tem grande demanda no mercado, mas são de difícil separação
PEBD <sup>6</sup>		
Poliestireno <sup>6</sup>	5%	Misturados e contaminados - difícil separação e perda da reciclabilidade
Polipropileno <sup>6</sup>		
PVC <sup>6</sup>		
Embalagem Longa vida <sup>4</sup>		
Papéis de imprimir <sup>4</sup>	0%	Misturados e contaminados - perdem valor de mercado
Areias e pedras		Sem valor de mercado
Fraldas		
Trapos		
Areias e pedras		
Fraldas		
Lodo		

Tabela 1. Critérios para a Elaboração do Cenário II

Material	Fração destinada à reciclagem <sup>1</sup>	Premissa <sup>7</sup>	Grupos
Metais ferrosos <sup>2</sup>	-90%	Separados por sistemas magnéticos	I
Metais não ferrosos <sup>2</sup>	-90%		
Plástico - PET <sup>3</sup>	-50%	Tem alto valor no mercado de recicláveis	II
Papelão <sup>4</sup>	-30%	Cenário pessimista da PNRS - tem grande demanda no mercado	III
Vidros <sup>5</sup>	-30%	Cenário pessimista da PNRS - facilidade de segregação -	
Matérias orgânicas	-25%	Cenário pessimista da PNRS - frutas e verduras encaminhadas para compostagem	IV
Madeiras e podas	-25%	Cenário pessimista da PNRS - encaminhadas para compostagem	
Plástico (polietileno de alta densidade) PEAD <sup>6</sup>	-10%	Tem grande demanda no mercado, mas são de difícil separação	V
Plástico (polietileno de Baixa densidade) - PEBD <sup>6</sup>	-10%		
Plásticos - PS poliestireno <sup>6</sup>	-5%	Misturados e contaminados - difícil separação e perda da reciclabilidade	VI
Plásticos- PP polipropileno <sup>6</sup>	-5%		
Plástico -pvc <sup>6</sup>	-5%		
Embalagem Longa vida <sup>4</sup>	-5%		
Papéis de imprimir <sup>4</sup>	0%	Misturados e contaminados - perdem valor de mercado	VII
Areias e pedras	0%	Sem valor de mercado	VIII
Plástico filme e isopor	0%		
Couro e trapos	0%		
Borracha	0%		
Fraldas	0%		
Lodo	0%		

<sup>1</sup> Valores estimados, a partir das características de cada material reciclável descritas pelas respectivas associações das indústrias.

Fontes: <sup>2</sup> ABAL (2011), <sup>2</sup> ABEAÇO (2011), <sup>2</sup> ABRALATAS (2011), <sup>3</sup> ABIPET (2011), <sup>4</sup> BRACELPA (2011),

<sup>5</sup> ABIVIDROS (2011), <sup>6</sup> ABIPLAST (2011), <sup>7</sup> ABRE (2011), <sup>7</sup> CEMPRES (2011)

Tabela 1. Composição Gravimétrica do Mix em Base Úmida – Cenário I

Componentes	Composição base úmida	Conversão para quantidade absoluta (t/dia)
Papéis	4,77%	57,24
Papelões	4,14%	49,68
PS (poliestireno)	0,36%	4,32
PP (polipropileno)	0,81%	9,72
PET (politereftalato de etileno)	1,44%	17,28
PEAD (polietileno de alta densidade)	3,78%	45,36
PEBD (polietileno de baixa densidade)	4,68%	56,16
PVC (cloreto de polivinila)	1,98%	23,76
Plástico "filme" e isopor	5,40%	64,8
Embalagens Longa Vida	1,17%	14,04
Borracha	0,27%	3,24
Madeiras e podas	3,69%	44,28
Metais ferrosos	1,17%	14,04
Metais não ferrosos	0,63%	7,56
Vidros	1,26%	15,12
Couro	0,27%	3,24
Trapos	3,15%	37,8
Areias e pedras	2,43%	29,16
Matérias Orgânicas	45,09%	541,08
Fraldas descartáveis	3,51%	42,12
Lodo	10,00%	120
<b>TOTAIS</b>	<b>100</b>	<b>1.200</b>

Fonte: PROEMA, 2011

Tabela 1. Composição Gravimétrica do Mix em Base Úmida – Cenário II

Componentes	Composição base úmida (%)	Conversão para quantidade absoluta (t/dia)
Papéis	5,76	57,24
Papelões	3,50	34,78
PS (poliestireno)	0,41	4,10
PP (polipropileno)	0,93	9,23
PET (politereftalato de etileno)	0,87	8,64
PEAD (polietileno de alta densidade)	4,11	40,82
PEBD (polietileno de baixa densidade)	5,09	50,54
PVC (cloreto de polivinila)	2,27	22,57
Plástico "filme" e isopor	6,52	64,8
Embalagens Longa Vida	1,34	13,34
Borracha	0,33	3,24
Madeiras e podas	3,35	33,21
Metais ferrosos	0,14	1,40
Metais não ferrosos	0,08	0,76
Vidros	1,06	10,58
Couro	0,33	3,24
Trapos	3,80	37,80
Areias e pedras	2,94	29,16
Matérias Orgânicas	40,85	405,81
Fraldas descartáveis	4,24	42,12
Lodo	12,08	120
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>993,38</b>

Fonte: Elaboração própria

Tabela 1. Estimativa do PCS e PCI e Umidade para os Cenários

Cenário	PCS	PCI	Umidade (%)
Cenário I	12,55 MJ/kg = 3002 kcal/kg	11,37 MJ/kg = 2733 kcal/kg	53,6
Cenário II	13,24 MJ/kg = 3167 kcal/kg	12,01 MJ/kg = 2887 kcal/kg	53,8

Fonte: Elaboração própria

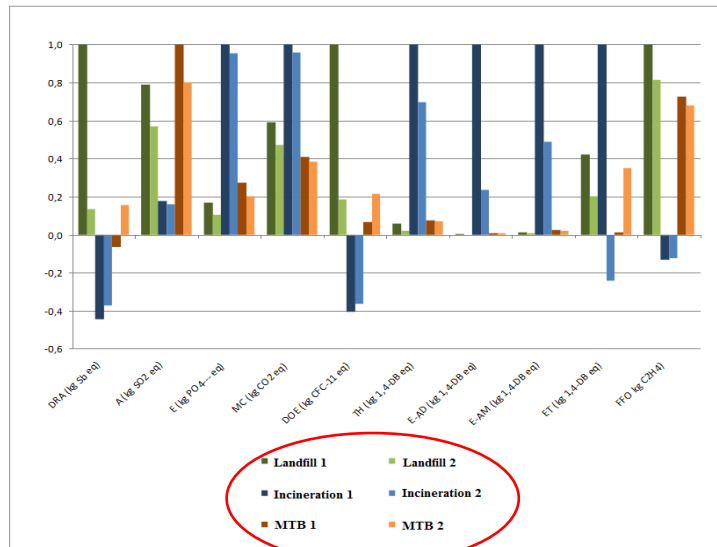
“Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) Comparativa entre Tecnologias de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos”

PROJETO P&D – CENBIO/IEE/USP - EMAE – ANEEL

Cenários para eletricidade gerada para cada tecnologia (90% RSU + 10% Lodo de ETE)

	<b>cenario 1 (MW)</b> <b>438.000 t/ano</b>	<b>cenario 2 (MW)</b> <b>375.000 t/ano</b>
<b>Aterro</b>	3.9	3.1
<b>Incineração</b>	27.5	24.5
<b>TMB total*</b>	9.6	7.5

- Incluindo a geração no aterro após o TMB: C1- 3 MW ; C2- 2.8 MW
- cenário 1 – sem reciclagem; cenário 2 – reciclagem baseada nas perspectivas de mercado



Comparison of environmental impacts from LCA for the three technologies (landfill, incineration and MTB), including the (avoided) environmental impacts of the electricity produced by each one and released to the national interlinked grid

PECORA et al. COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS PARA A DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO. III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, Maringá, 2012

COELHO et al, COMPARISON OF MUNICIPAL SOLID WASTE TECHNOLOGIES THROUGH LCA METHODOLOGY AS A TOOL FOR ADEQUATE POLICIES 22nd European Bioenergy Conference, Hamburgo, June 2014.



“Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) Comparativa entre Tecnologias de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos”  
Riscos na Saúde (prof Nelson Gouveia – FMUSP)

- Os valores de **risco de câncer** estimados não diferiram significativamente entre TMB e Aterro, sendo ambos maiores que os riscos estimados para o incinerador;
- Deve-se considerar que os valores de risco foram estimados com base em considerações hipotéticas podendo diferir significativamente de uma situação real, dependendo das características do local e das instalações;
- Também deve ser destacado que não foram considerados outros caminhos de exposição como ingestão de água e vegetais, que também são relevantes, especialmente quando os incineradores são implantados em regiões periurbanas, onde coexistem atividades urbanas e rurais.

**USP** 1934 2014

**COMPARISON OF MUNICIPAL SOLID WASTE TECHNOLOGIES THROUGH LCA METHODOLOGY AS A TOOL FOR ADEQUATE POLICIES**

Ruyne Cavilha, Gil Andojo de Silva, Colégio Lima Costa, Vanessa Fregue Selles, Manuel Moreira Ruiz Zappia, Alan Nabuco, Celso Alberto de Silva, and Roberto Lucarelli  
Institute of Energy and Environment, University of São Paulo Av Professor Luciano Duque 1224, 05508-000 - São Paulo - Brazil

**Abstract**

In Brazil, all municipalities are responsible for collection and disposal of municipal solid waste (MSW). They have been facing problems due to the increased amount generated and the concentration of population in urban centers, in addition to the ban, starting 2014, and the provision in landfills of any waste that is capable of reuse or recycling. Thus, studies on the environmental performance of technologies to slow the use of MSW (sustainable biomass residues) for power production are becoming important. The objective of this paper is to compare the environmental performance of the three commercially available routes for electricity generation from MSW and sewage sludge through life cycle assessment methodology: landfill, incineration and mechanical-biological treatment (MBT).

**Introduction**

In Brazil, the adequate disposal of municipal solid waste (MSW) is still a huge problem. There are more than 5000 municipalities (1) (ABRELPE 2011), with less than 10,000 inhabitants with inadequate disposal (42% of the residues collected have no adequate disposal in landfills) and no technical/economic conditions to solve it. Figure 1 ahead illustrates this waste transportation from the coast to the still existing available landfills.

**Methods & Materials**

Environmental, social, economic and health impacts of the chosen technologies were analyzed. In this paper we present the results of the environmental analysis developed through the methodology of Life Cycle Assessment (LCA). In this study a plant processing 1,200 metric (t) tons of solid waste per day was considered for each one of the three technologies, being 50% of MSW and 50 % of sludge from sewage treatment plants (which is an important problem for disposal in Brazil) considering in many cases this sludge cannot have other uses since it does not comply with existing environmental legislation). Two scenarios were considered, one processing the solid waste without recycling and the second considering recycling of materials with economic value (to be separated by the cotobooks).

**Results**

The results for the potential of electricity production using each technology are shown in table 1. As expected, the electricity production in scenario 2 is lower than in scenario 1 and the technology with the highest potential is incineration.

Table 1: Potential for electricity conversion in scenarios 1 (without recycling) and 2 (with recycling) using landfill, incineration and MBT (3).

	Scenario 1 (MW)	Scenario 2 (MW)
Landfill	3.9	3.1
Incineration	27.5	24.5
MBT	9.6	7.5

The study achieved quantitative results in ten categories of environmental impacts: Depletion of Abiotic Resources (DRA), Acidification (A), Eutrophication (E), Climate Change (CC), human Toxicity (HT), Freshwater Toxicity (E4), Sea Water Ecotoxicity (E-4M), Terrestrial Toxicity (ET), Formation of Photochemical Oxidants (FFO), Stratospheric Ozone Depletion (DOE).

**Conclusion**

None of the technologies analyzed had the best performance for all indicators. It is possible to check that in four categories (DRA, DOE, ET and HT) for incineration and in one category (DRA) in MBT it was observed negative impacts (what corresponds to a positive result for such technologies), meaning that from the LCA, the energy generated by technology presents even impacts than those produced by the waste treatment.

This study shows that there are no higher environmental impacts from incineration when compared with MBT and landfill.

**Acknowledgements**

This paper is based on the results of the R&D Project CBN/C/EMAE / ANEEL-0393-00611, Oct 2011 – March 2013. The authors are grateful to EMAE (São Paulo State Water and Power Company) and to all participants in the project, as well as the students involved for their helpful cooperation, as well as to ANEEL for the funding of the project.

22nd European Bioenergy Conference, Hamburg, June, 2014

<http://www.etaflorence.it/proceedings/>

## **ESTUDO DE CASO**

# **Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo**

Coordenador: Geraldo Francisco Burani

Equipe Executora: Suani Teixeira Coelho, Cristiane Lima Cortez, Renata Grisoli, Fabio Gavioli.

Financiador: Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e AES Eletropaulo

Parceiro: AES Eletropaulo e Projeto Pomar

Período: 2006 a 2008

<http://143.107.4.241/projetos/poda/poda.htm>

## Motivação





## Estudo de Caso: AES Eletropaulo

- 24 municípios
- 4.526 km<sup>2</sup>
- 1,7 mil km de linhas de subtransmissão
- 42,4 mil km de rede de distribuição aérea e subterrânea

