

Biodigestão de resíduos

Fernanda Peixoto Manéo

Palestra apresentada na UNIP, Santos. 37 slides

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

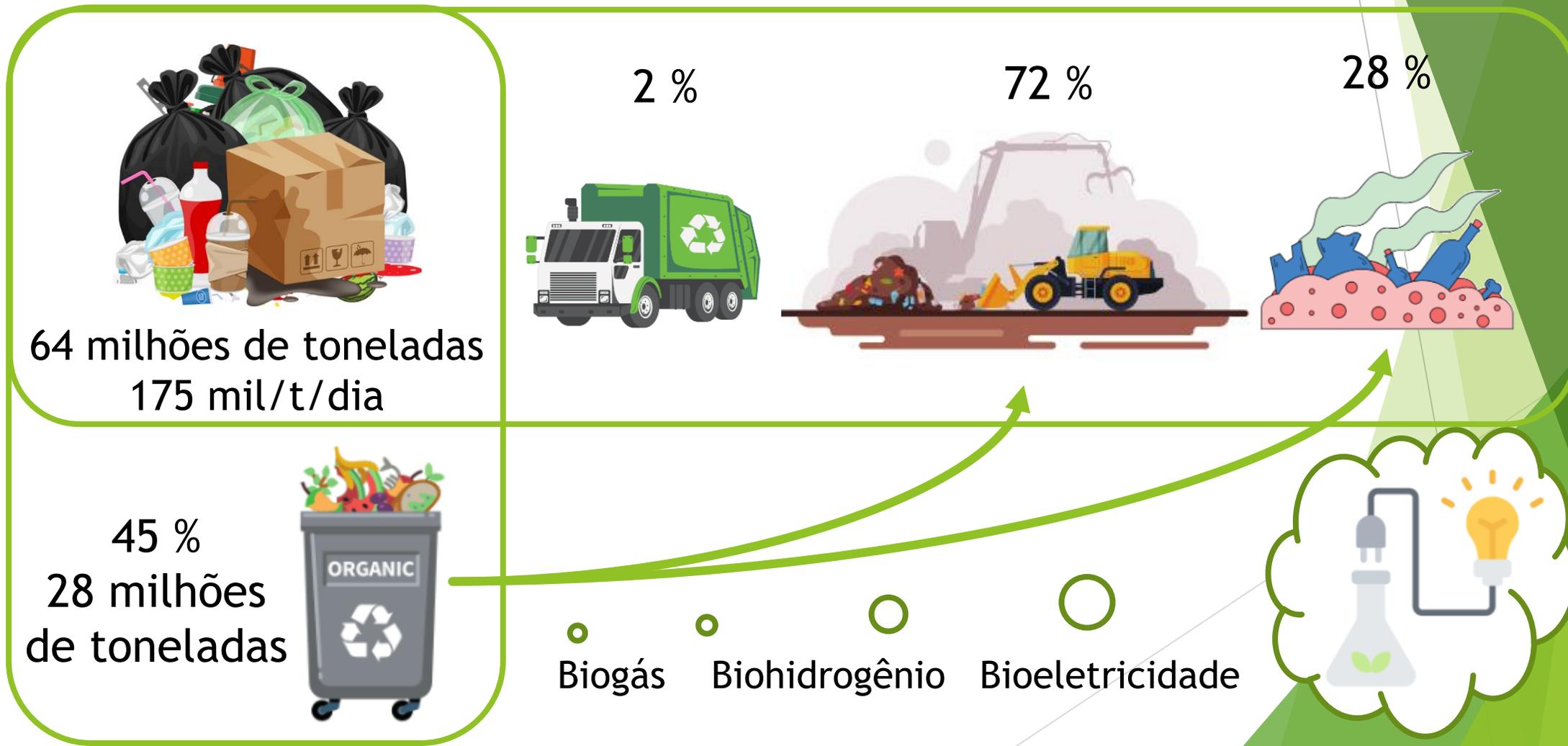
www.ipt.br

BIODIGESTÃO DE RESÍDUOS

Fernanda Peixoto Manéo

INTRODUÇÃO

Geração de resíduos no Brasil, em 2022



INTRODUÇÃO

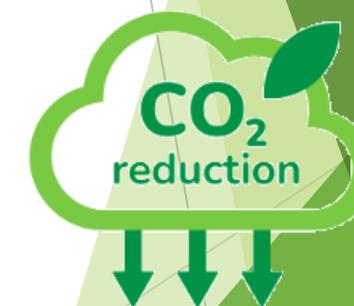
Políticas Públicas



- ▶ Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 2010; regulamentada pelo Decreto nº 10.936, de 2022)
 - ▶ Erradicação dos lixões;
 - ▶ Favorecimento da redução, reutilização e reciclagem de resíduos;
 - ▶ Disposição apenas de rejeitos em aterros.



- ▶ Política Nacional de Transição Energética, (Lei 14.134 de 2021; regulamentada pelo Decreto 12.153/2024)
 - ▶ **Mitigar as emissões de gases do efeito estufa (zerar até 2050)**
 - ▶ levantar R\$ 2 trilhões em investimentos em 10 anos, para investimentos em novos projetos renováveis de eletricidade, combustíveis de baixo carbono e exploração de minerais estratégicos como o lítio.



- ▶ Novas tecnologias
- ▶ Engenheiros qualificados
- ▶ Profissionais qualificados



“...são 3 milhões de empregos para brasileiras e brasileiros. É energia eólica, solar, hídrica, biomassa, biodiesel, etanol, diesel verde, captura e estocagem de carbono, combustível sustentável de aviação, hidrogênio verde. É o renascimento da indústria do Brasil em bases sustentáveis.” Silveira, 2024

INTRODUÇÃO

Alemanha



48 milhões de toneladas
133 mil/t/dia

45 %



17 %



38 %



0 %



- ▶ Ano de 1972: Primeira Lei sobre resíduos (38 anos antes que no Brasil)
- ▶ Proibição do encaminhamento de resíduos para aterros;
- ▶ Multa caso o descarte não seja feito segregado.

INTRODUÇÃO

Alemanha

- ▶ Tecnologias avançadas de tratamento de resíduos



INTRODUÇÃO

Equipamentos importados da Alemanha

- Composição dos resíduos da Alemanha diferente da composição dos resíduos do Brasil



INTRODUÇÃO

Brasil encontrando seu caminho

- ▶ Empresas Brasileiras desenvolvendo tecnologias com base nas existentes
- ▶ Profissionais brasileiros se especializando
- ▶ Aterros com reaproveitamento de parte do biogás - o excedente continua sendo queimado no flare;
- ▶ Sistemas de separação semi-mecanizada com reaproveitamento dos recicláveis e, em alguns casos, de orgânicos em biodigestores.
- ▶ Necessidade de ampliação de biodigestores para tratamento centralizado de orgânicos, deixando os aterros para tratamento descentralizado, e apenas de rejeito.
- ▶ Biodigestores geram, além do biogás, composto orgânicos que pode ser reaproveitado como biofertilizante.



Biodigestores

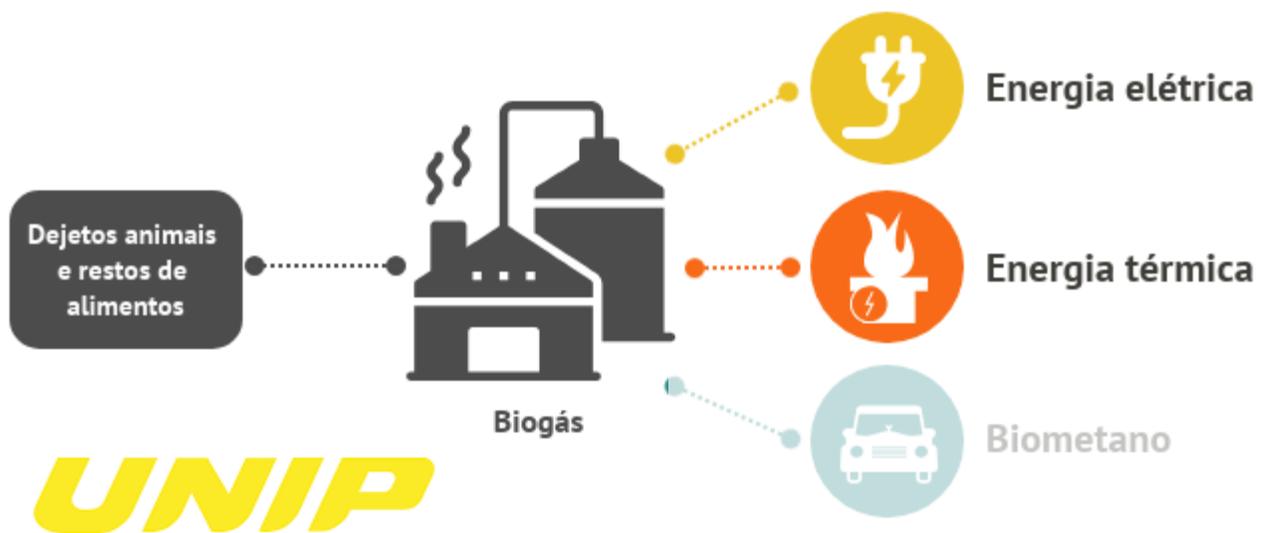
- ▶ Processo inventado em 1806 na Inglaterra
- ▶ No Brasil iniciou em 1996 e hoje existem 936 unidades de tratamento de efluentes, resíduos agropecuários, de resíduos industriais e de resíduos domiciliares;
- ▶ Equipamento fechado, sem a presença de ar, que decompõe a matéria orgânica com a ação de microorganismos anaeróbios.
- ▶ Microorganismos metanogênicos geram o metano



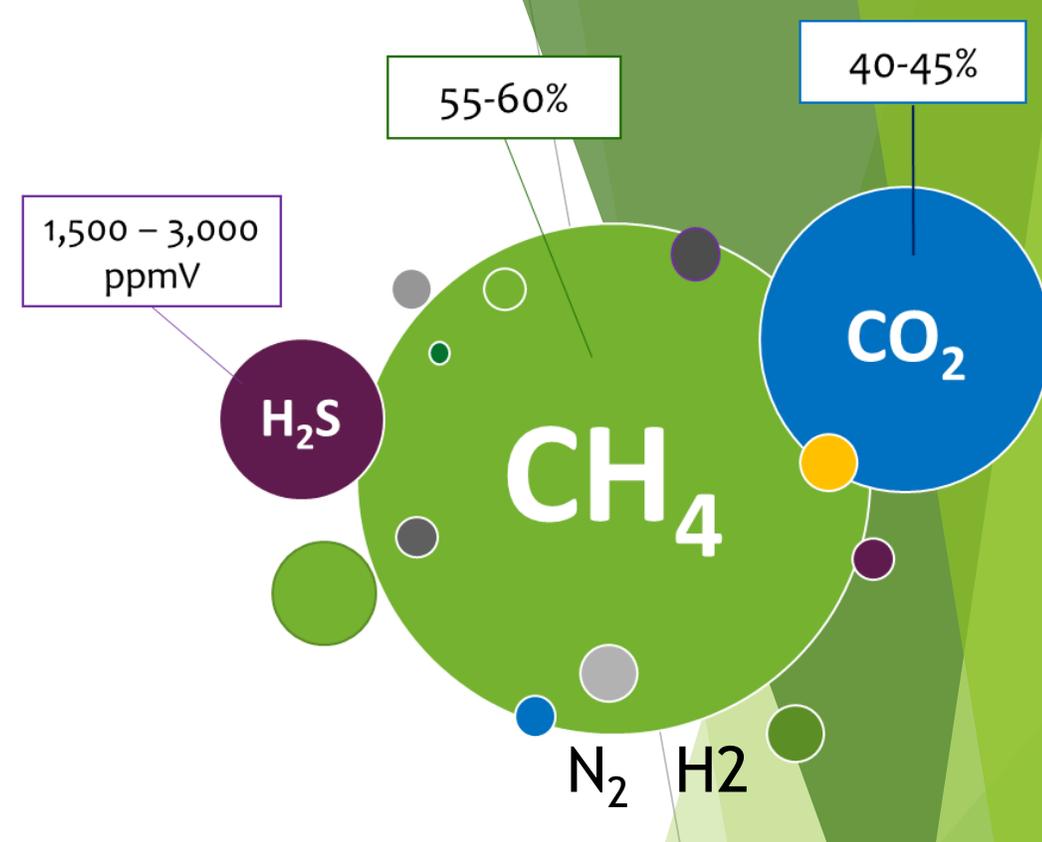
Biogás



► 1 m³ de biogás gera 1,25 a 2,50 kwh



UNIP

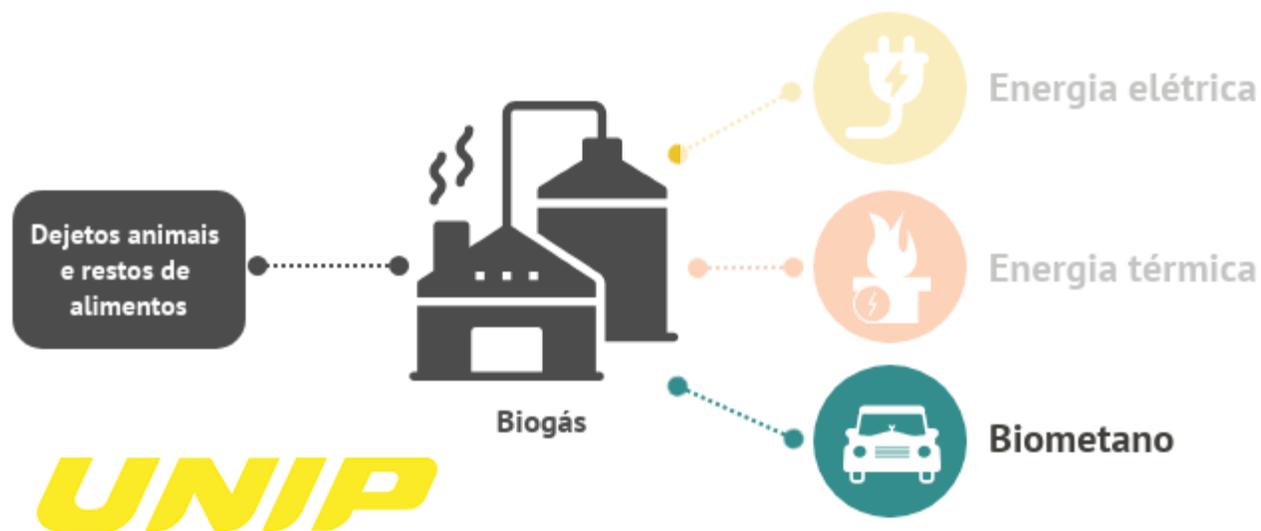


| Material | Geração de biogás (m ³ /kg) |
|--------------------------|--|
| Esterco animal | 0,02 a 0,05 |
| Resíduos alimentares | 0,20 a 1,00 |
| Culturas energéticas | 0,03 a 0,05 |
| Lodos de esgoto | 0,25 a 0,30 |
| Resíduos agroindustriais | 0,02 a 0,05 |

Biometano



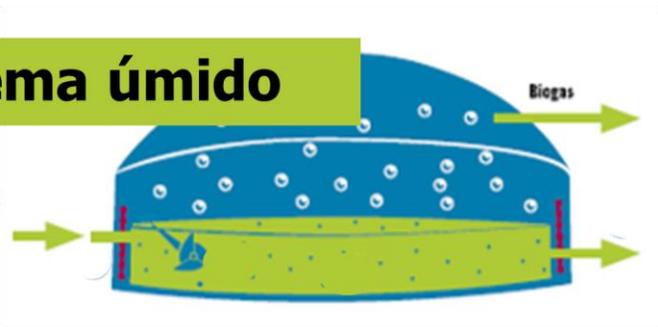
- ▶ Obtido à partir da purificação do biogás, com a retirada do gás carbônico, vapor d'água e sulfeto de hidrogênio, sobrando cerca de 96,5 % de metano;
- ▶ Tem maior poder de combustão que o biogás;
- ▶ Utilizado como Gás Natural Veicular - GNV.



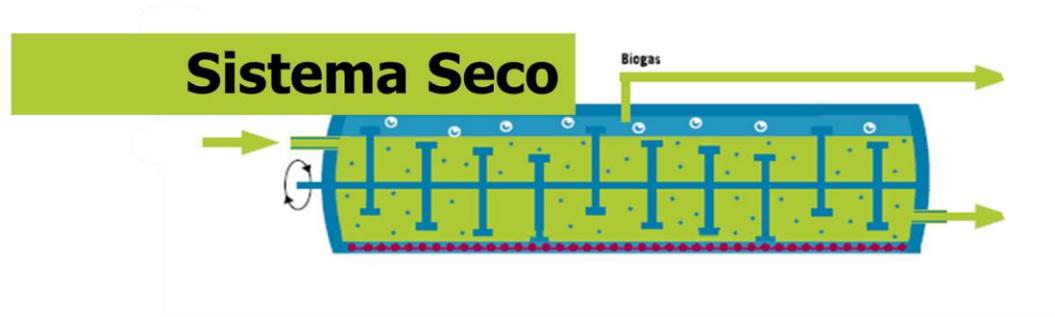


Sistemas existentes

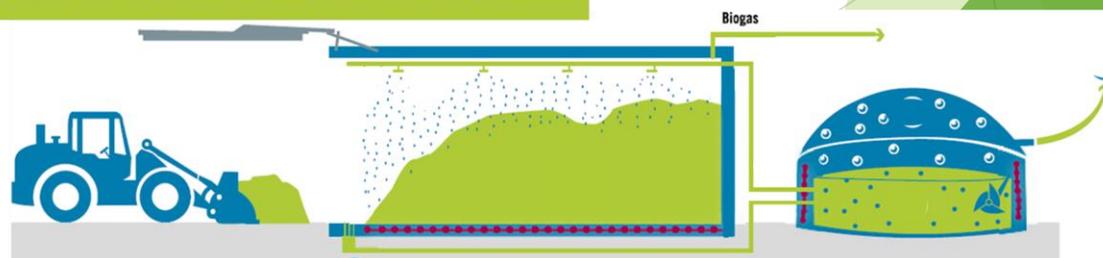
Sistema úmido



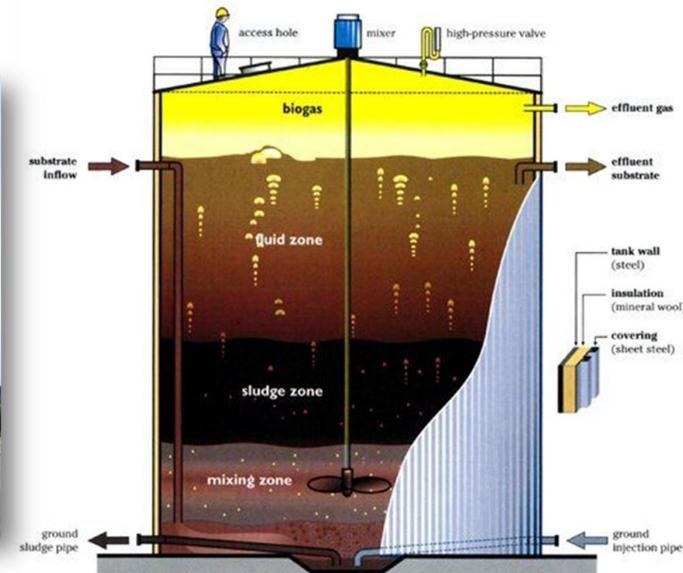
Sistema Seco



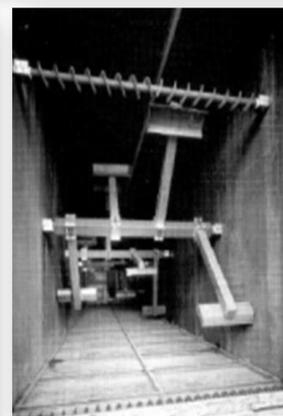
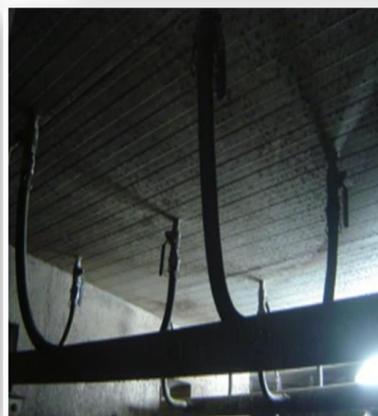
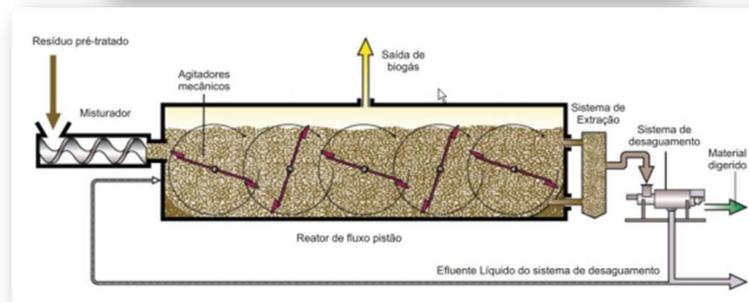
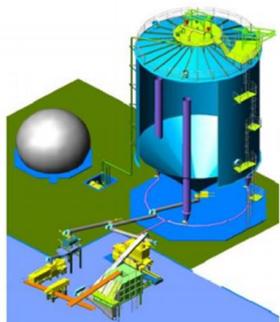
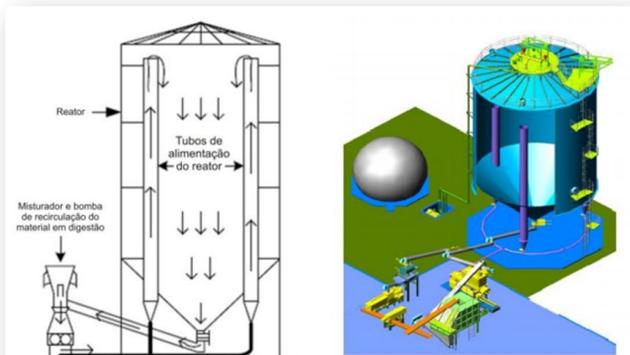
Sistema Extra-Seco



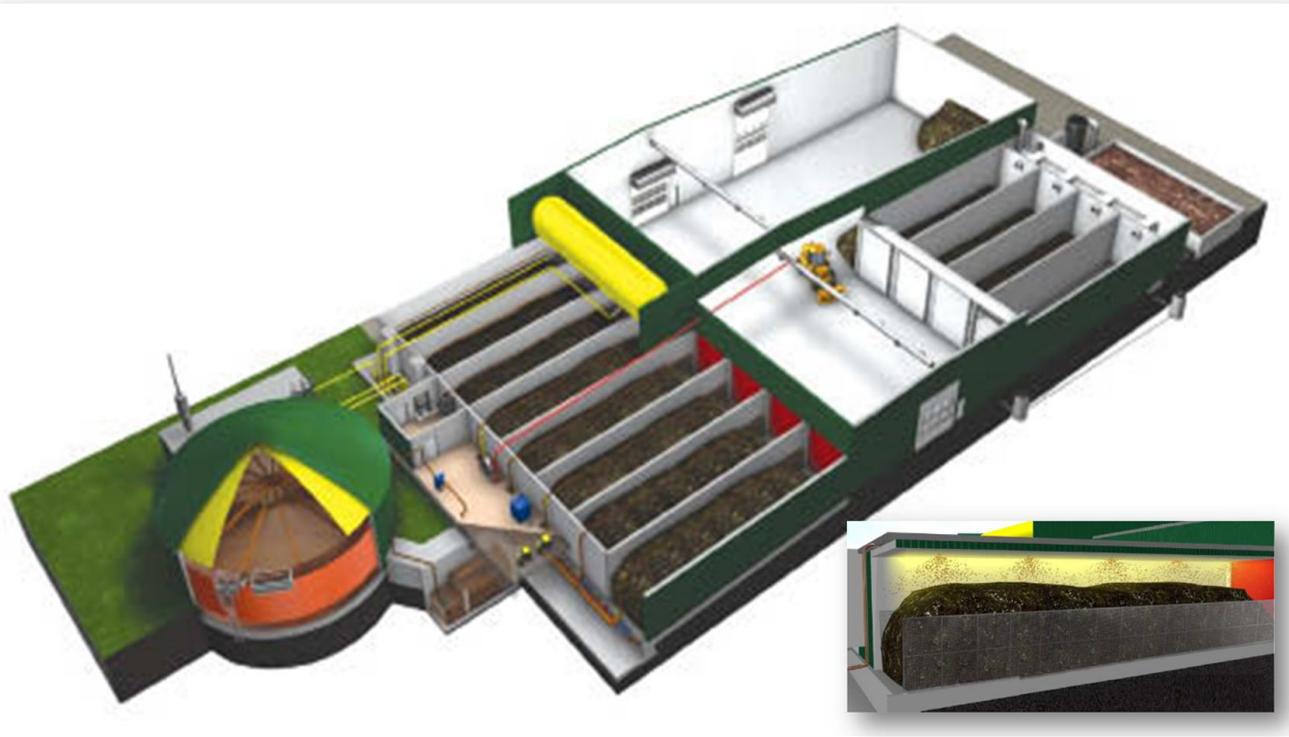
Sistemas úmidos



Sistemas secos

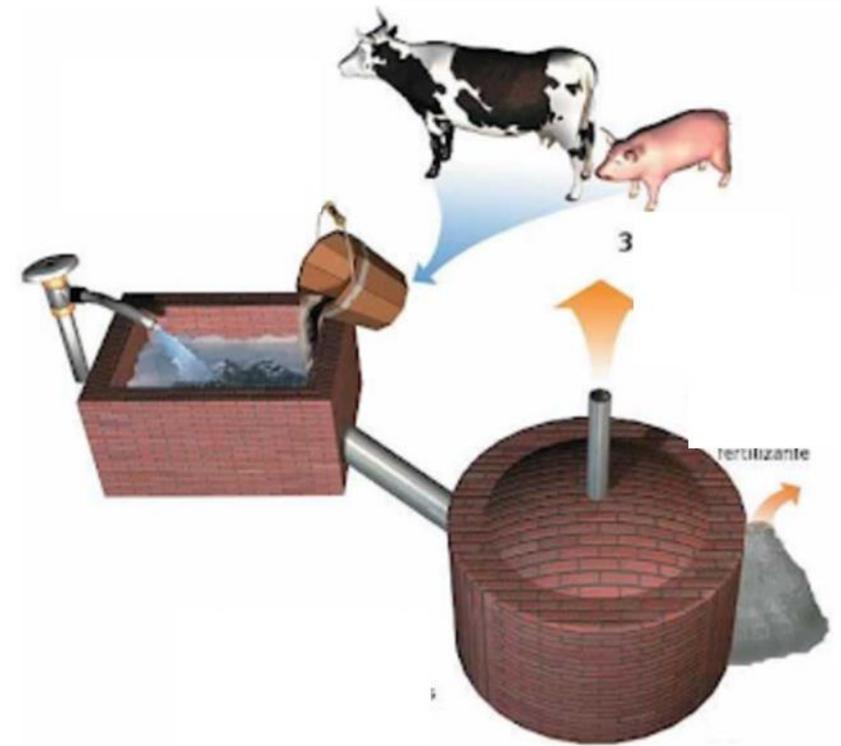
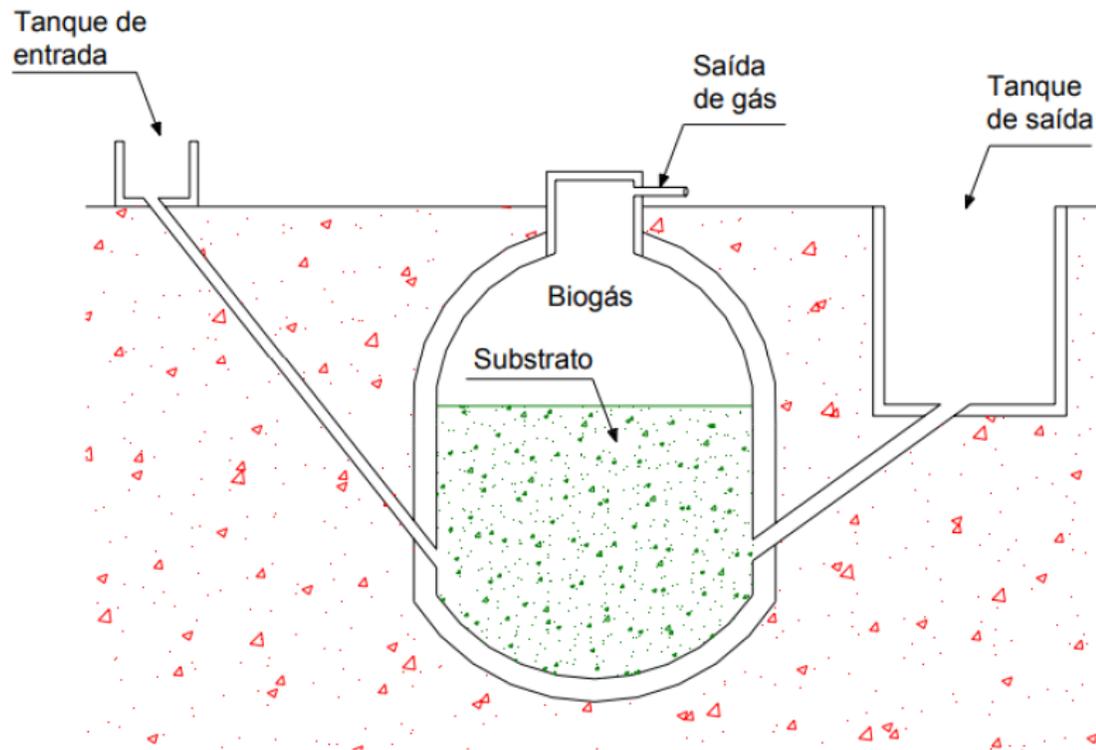


Sistema extra-secos - de “garagem”



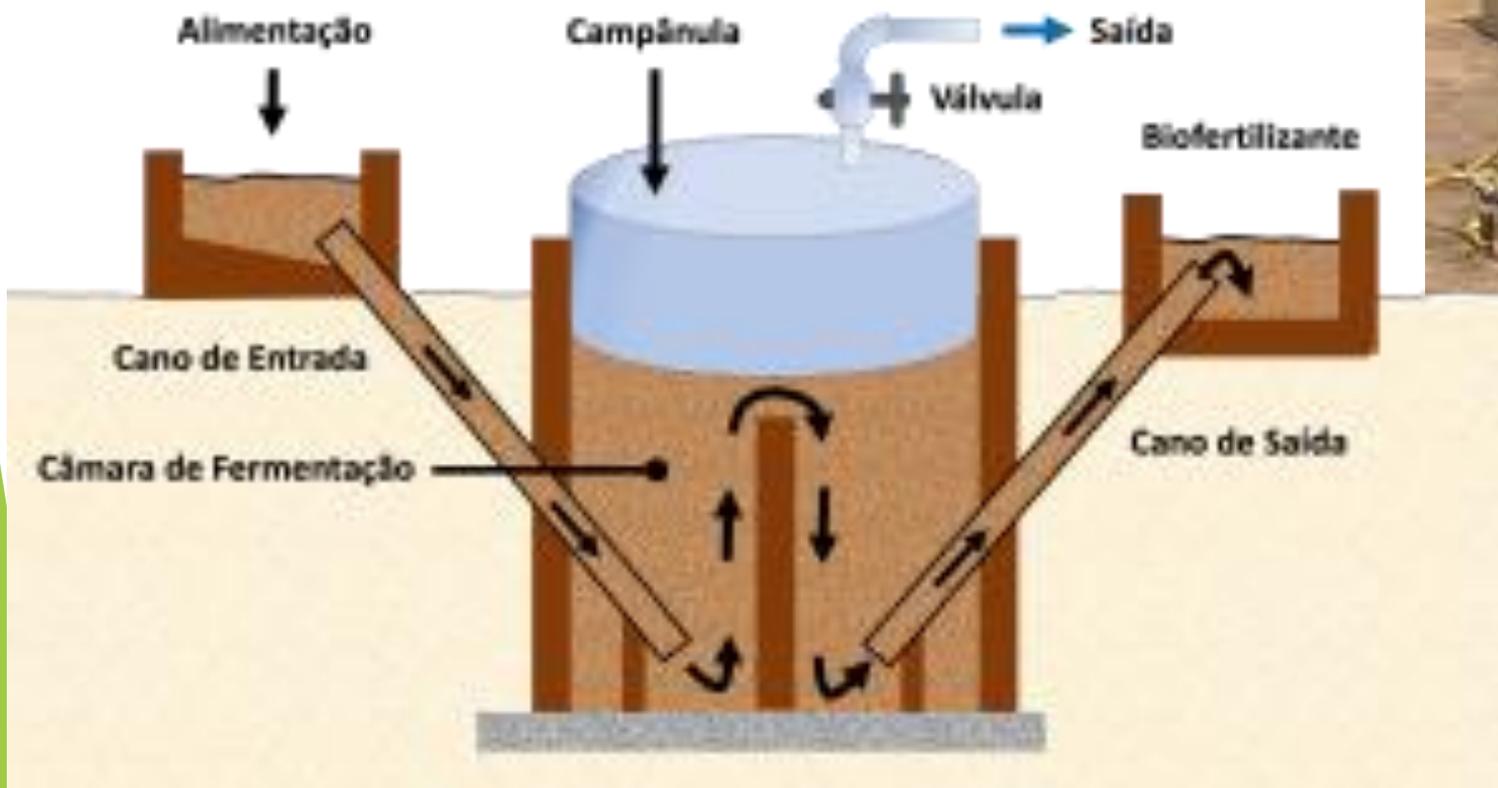
TIPOS DE BIODIGESTORES Rurais - modelo chinês

- ▶ Dejetos e resíduos agropecuários
- ▶ Sistema úmido e de fluxo contínuo



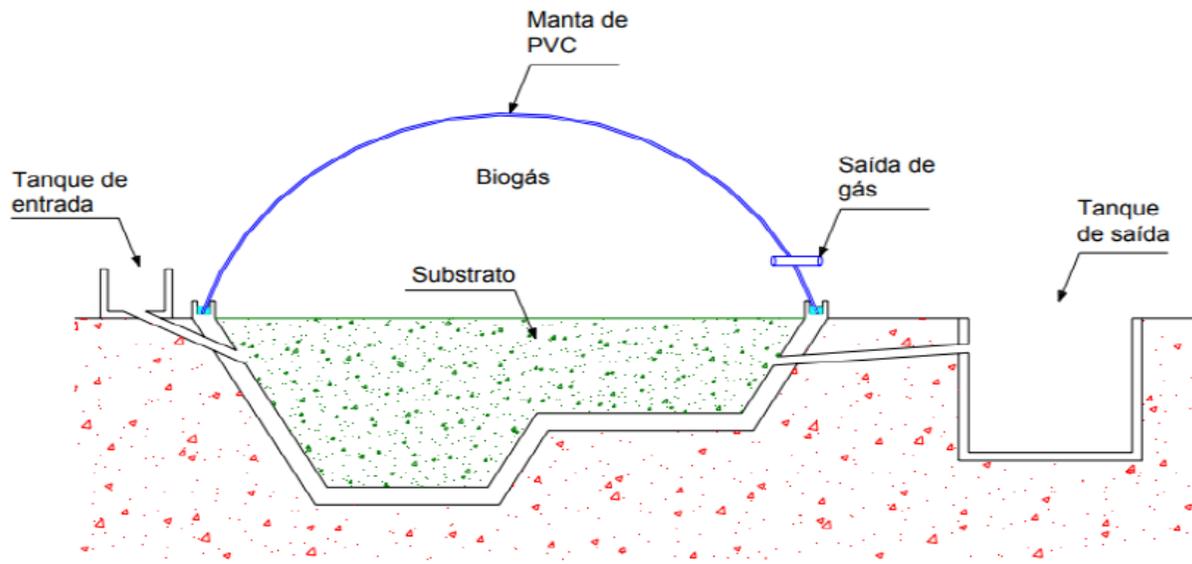
TIPOS DE BIODIGESTORES Rurais - modelo indiano

- ▶ Dejetos e resíduos agropecuários
- ▶ Sistema úmido e de fluxo contínuo



TIPOS DE BIODIGESTORES Rurais - modelo canadense

- ▶ Dejetos e resíduos agropecuários
- ▶ Sistema úmido e de fluxo contínuo



TIPOS DE BIODIGESTORES

Inflável para pequenas propriedades

- ▶ Resíduos domiciliares
- ▶ Sistema extra seco e de batelada
- ▶ Escolas do Rio de Janeiro, Vargem Grande, Porto Alegre, Minas Gerais (9 municípios), São Paulo (Fase de implantação)



BIODIGESTORES DO BRASIL

De tratamento de resíduos orgânicos

- ▶ Sistema seco, de fluxo contínuo;
- ▶ Localizado em São Paulo, no Instituto de Engenharia e Energia da USP.
- ▶ Capacidade de tratamento de 30 t/dia e de geração de biogás de 2.500 m³/dia
- ▶ Trata os resíduos dos restaurantes da USP
- ▶ Energia aproveitada na USP.



Usina Experimental de Biogás IEE-USP

Capacidade: 30 toneladas/dia

Usina Experimental de Biogás do Instituto de Energia e Ambiente - IEE, São Paulo / SP.

BIODIGESTORES MUNICIPAIS Jacareí

- ▶ Sistema extra-seco, de batelada
- ▶ Trata resíduos domiciliares orgânicos descartados pela separação mecanizada



BIODIGESTORES MUNICIPAIS

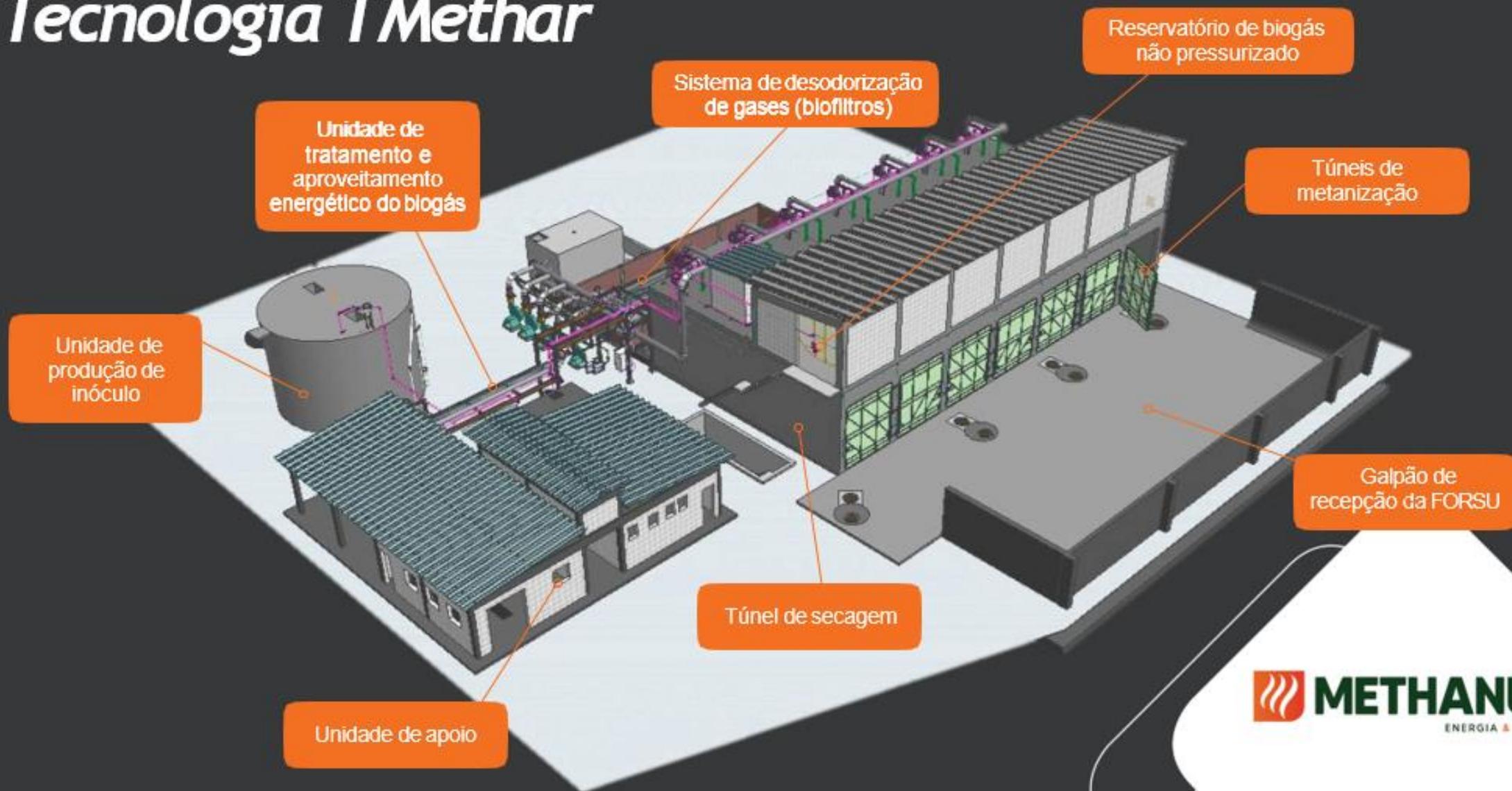
Rio de Janeiro

- ▶ Sistema extra-seco, de batelada
- ▶ Capacidade de 30 t/dia
- ▶ Estação de Transbordo da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb) no bairro do Caju



ENERGIA DO LIXO

Tecnologia TMethar



BIODIGESTORES MUNICIPAIS Bertioga

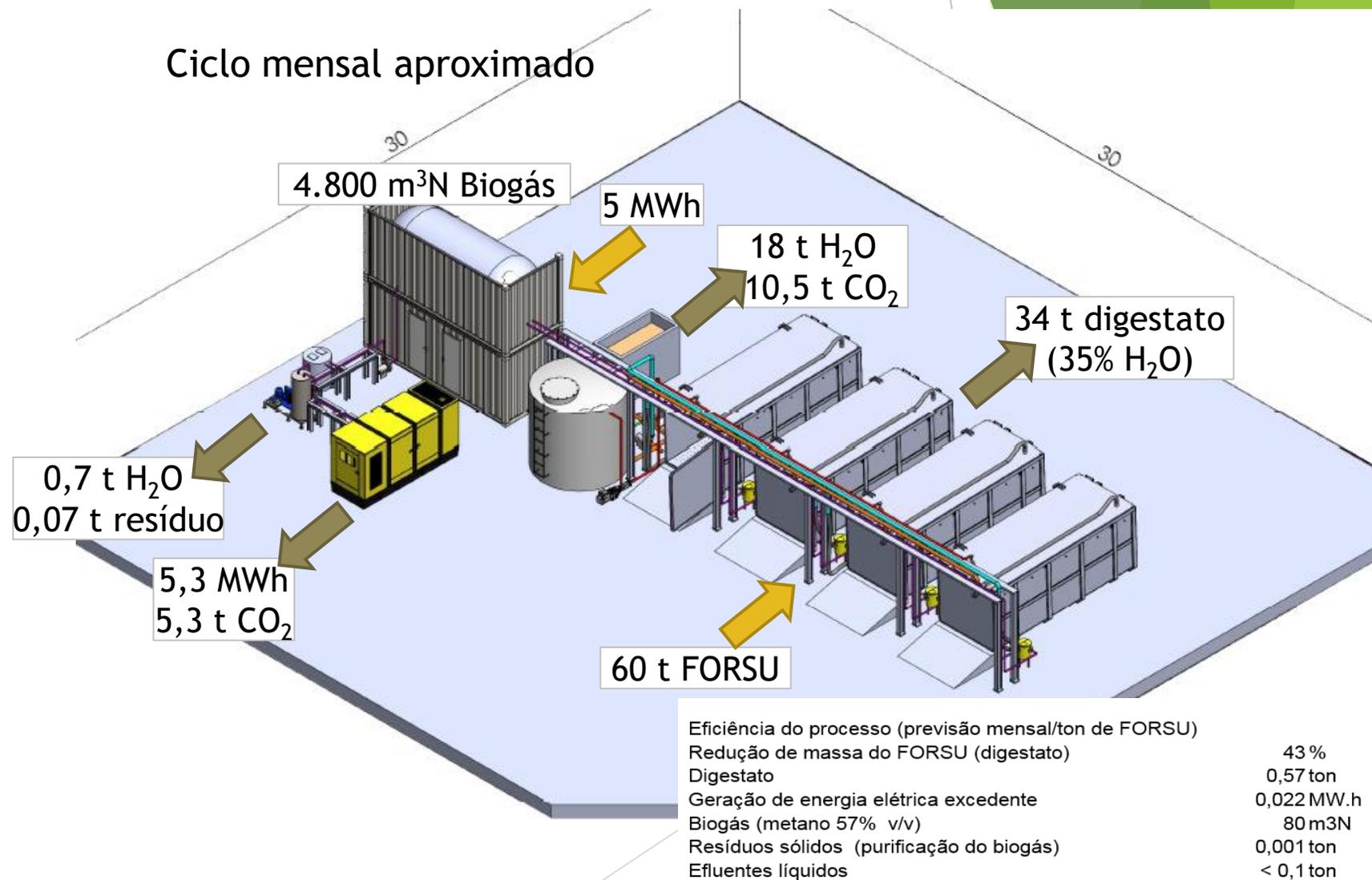
- ▶ Sistema extra-seco, de batelada
- ▶ Capacidade de 2 t/dia
- ▶ Centro de Gerenciamento e Beneficiamento de Resíduos de Bertioga (Transbordo)



BIODIGESTORES MUNICIPAIS

Bertioga

- ▶ Capacidade de tratamento de: até 60 t/mês (70 % FORSU + 30 % poda)
- ▶ Geração de biogás: 4800 Nm³
- ▶ 5 MWh (CHP)
- ▶ Geração de composto: 30 t/mês



Ciclos de operação



- **Fase - 1 – Interciclo** – Duração estimada: 0 dias \pm 3
- **Fase - 2 – Carga de substrato** – Duração estimada: 3 dias \pm 2
- **Fase - 3 – Fase Aeróbia** – Duração estimada: 1 dia \pm 1
- **Fase - 4 – Ativação metanogênica** – Duração estimada: 3 dias \pm 2
- **Fase - 5 – Fase Metanogênica** – Duração estimada: 21 dias \pm 5
- **Fase - 6 – Decaimento Metanogênico** – Duração estimada: 1 dia \pm 1
- **Fase - 7 – Renovação atmosférica** – Duração estimada: 5 dias \pm 3
- **Fase - 8 – Descarga de Biomassa** – Duração estimada: 1 dia \pm 1



Controle operacional

19:27:36

INÍCIO

PROCESSO

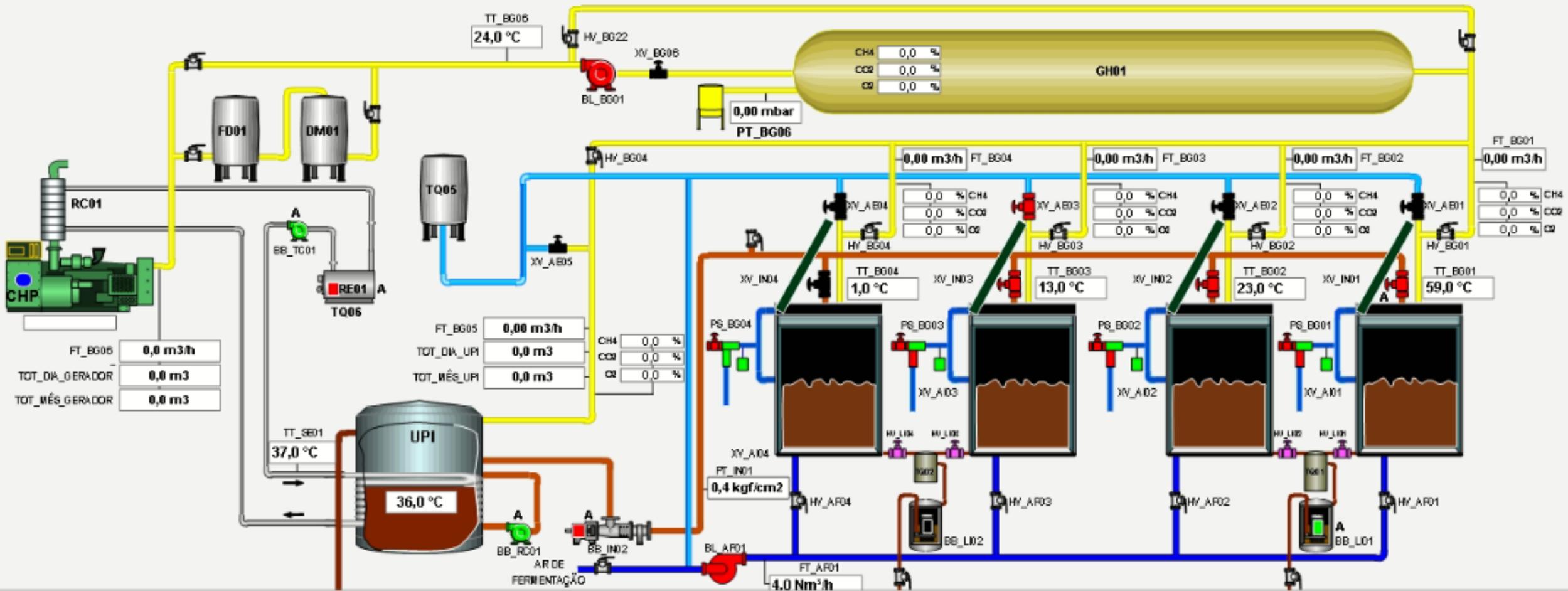
TÚNEIS

ANALISADOR

GERADOR

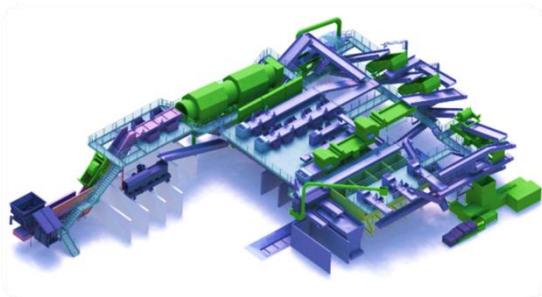
GRÁFICOS

CONFIGURAÇÃO



RSU-Energia

- ▶ Seleção de uma área para a proposição e aplicação de diferentes sistemas, aplicados de forma integrada, de gestão, coleta e tratamento de resíduos domiciliares.



- I Segregação na fonte
- II Triagem mecanizada
- III Digestão Anaeróbia
- IV Tratamento térmico

UNIP



**Recicláveis, Orgânicos e Rejeito
± 3 t/dia**



**Orgânicos e Rejeito
0,5 t/h**



**Orgânicos
2 t/dia**



**Rejeito
5 kg/h**



RSU-Energia

Módulo 1

Segregação
na fonte

Recicláveis
&
Orgânicos
Rejeitos
± 3 t/dia

UNIP

Capacidade diária:
1,0 tonelada



Capacidade diária:
3,6 toneladas



Capacidade diária:
4,4 toneladas



Legenda

- Comércios
 - Condomínio
 - Escolas
 - Residências
 - Hospital
- Contêineres
- Orgânicos
 - Recicláveis
 - Rejeitos



RSU-Energia

Módulo 2 Triagem mecanizada

Capacidade de
processamento:
0,5 t/h



RSU-Energia

Módulo 3

Digestão anaeróbia

Redução estimada da fração orgânica

43 %

10 t/túnel



Módulo 4

Tratamento térmico

Capacidade de processamento

5 kg/h



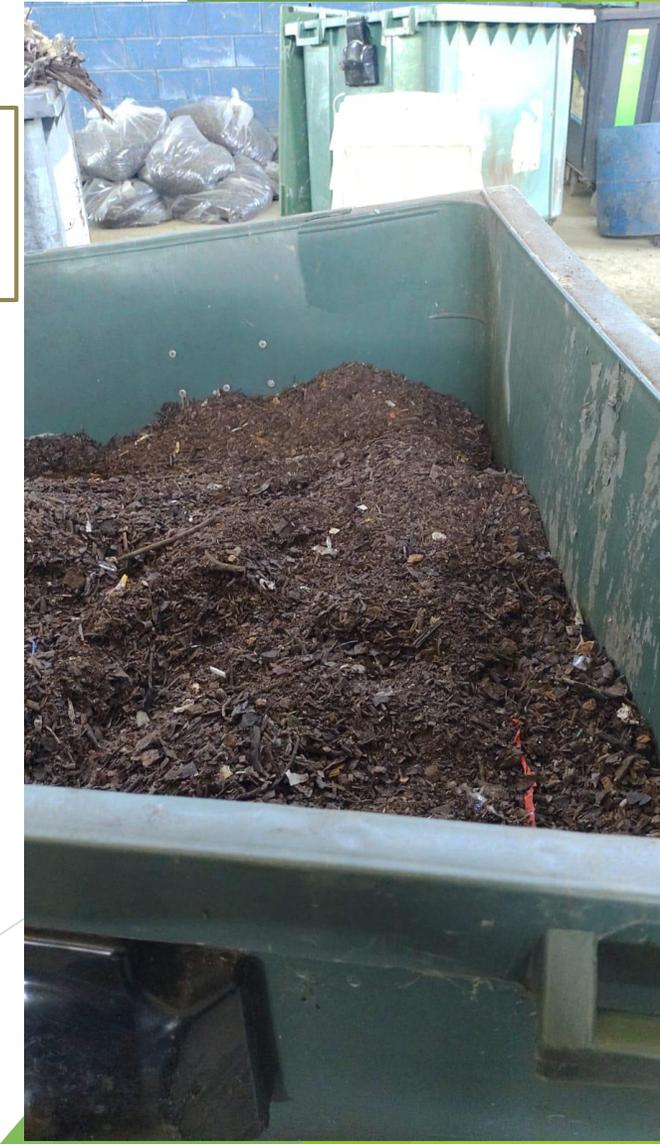
UNIP

Material não segregado na fonte

PENEIRAMENTO em malha 20 mm

Passante ainda com contaminação de inertes

Retido na peneira



DESAFIOS

- ▶ Composição dos resíduos e impacto na qualidade do biogás
- ▶ Composição dos resíduos e impactos na qualidade do composto orgânico
- ▶ Entupimento dos aspersores
- ▶ Manutenções diversas
- ▶ Fornecedores especializados
- ▶ Mão de obra especializada
 - ▶ Engenheiros mecânicos, de automação, agrônomo, elétrico e biólogo

| Ciclos de operação | Material utilizado | Desafios detectados | Impactos | Consequência | Resolução |
|--------------------|--|---|---|--|--|
| 1 | FORSU: Área amostral Material estruturante: Inertes | Compactação do substrato | impactando a percolação do inóculo | Baixa qualidade do biogás | Adição de resíduo de poda como material estruturante |
| 2 | FORSU: Área amostral, Material estruturante: poda triturada no transbordo | Morosidade no abastecimento dos túneis | Material em processo de degradação antes do início das fases de metanização | Baixa qualidade do biogás; Digestato com proliferação de moscas. | Aquisição de poda já triturada fornecida por associação de BRP |
| 3 | FORSU: Área amostral, Material estruturante: poda de associação de BRP | Sistema de segregação mecanizada passou a apresentar problemas e a segregação passou a ser manual | Morosidade no processo | Baixa qualidade do biogás; Digestato com proliferação de moscas. | Aquisição de FORSU de grande gerador, já segregado na fonte, na forma de complementação |
| 4 | FORSU: Área amostral e de grande gerador Material estruturante: poda de associação de BRP | Com o aumento da quantidade de túneis entrando em ciclo de operação, pequenas partículas de poda passaram a acumular no lixiviado/inóculo e causar entupimento dos aspersores de inóculo. | Interrupções no processo de metanização com a abertura dos túneis para a realização do desentupimento dos aspersores | Baixa qualidade do biogás | Adição de sistema de retenção de partículas por meio de malha de peneira instalada na saída do lixiviado dos túneis |
| 5 | FORSU: Área amostral e de grande gerador Material estruturante: poda de associação de BRP | Processo interrompido pela COVID-19 e em fase manutenções preparação para a reativação da operação | Desgaste, ressecamento, deformação de equipamentos e materiais que constituem o biodigestor; inatividade microbiana do inóculo. | Necessidade de manutenções diversas e abastecimento da UPI com efluente de estação de tratamento, já em andamento, para ser utilizado como partida da operação | Avaliação dos erros e acertos, preparação para reiniciar com maior maturidade, prospecção de novos parceiros e novos projetos para continuidade da operação. |

Operação desde maio/2023

108 toneladas



Biodigestato
41 tons

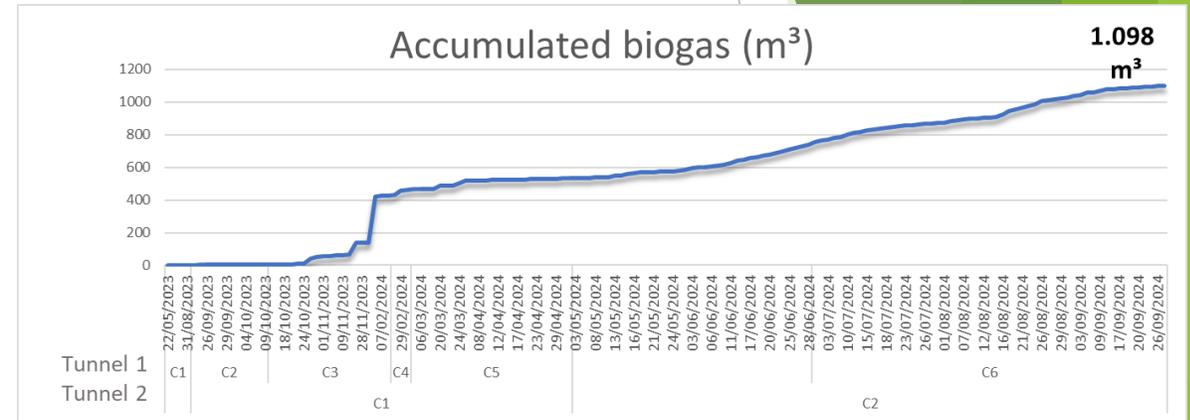


18 m³ Biogás
47 % Metano
25 % Gás carbônico

1.062 m³ Biogás
72 % Metano
22 % Gás carbônico



Composição do biogás

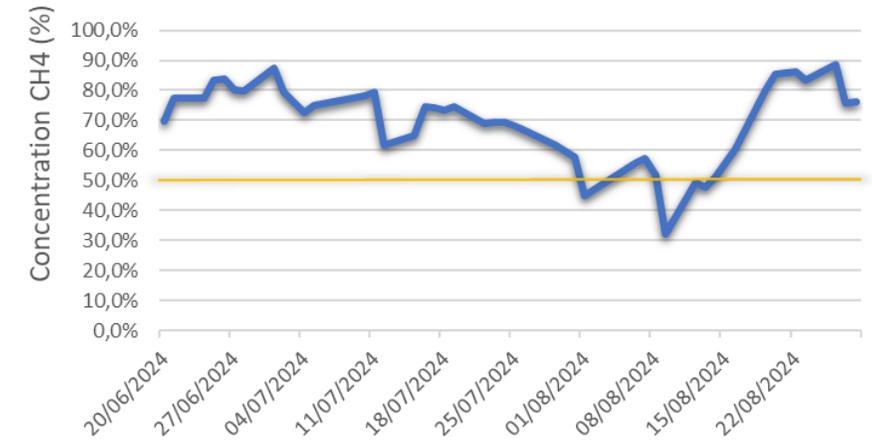


Média de geração de biogás
2 m³ / dia / túnel

Média de geração por dia
4 m³ / dia



Biogas in the gasometer



Próximos passos

- ▶ Fortalecimento da coleta seletiva de orgânicos do município (primeiro da região);
- ▶ Biodigestor em ciclo de operação constante;
- ▶ Aumento da capacidade de tratamento (obtenção de novos túneis);
- ▶ Estudos de aplicação do composto orgânico e obtenção de autorização junto à Cetesb;
- ▶ Disponibilização de dados e experiências para estudos de aplicação em outros municípios

Obrigada!

Fernanda Peixoto Manéo
E-mail: fpeixoto@ipt.br

UNIP