

Análise da eficiência operacional de um biodigestor de tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos

Wilkson Sousa dos Santos
Fernanda Peixoto Manéo
Letícia dos Santos Macedo
Cláudia Echevengúá Teixeira
Adilson Vicente da Silva

*Palestra apresentado no
CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL, 33.; FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA
DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2025, Brasília. 18 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



III - 298 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL DE UM BIODIGESTOR DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Autores:

Wilkson Sousa dos Santos
Fernanda Peixoto Manéo
Letícia dos Santos Macedo
Claudia Echevengúá Teixeira
Adilson Vicente da Silva

INTRODUÇÃO

O Desafio dos Resíduos Orgânicos no Brasil

- 75 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos foram gerados no Brasil no ano de 2023 (SINISA, 2024):
 - 45 % representa a Fração Orgânica 34 milhões de toneladas;
 - Apenas 0,3 % foi encaminhado para compostagem.
- A FORSU tem um potencial de produção de biogás de 50-100 m³/t (Silva, 2022):
 - 34 milhões de FORSU representam 1 a 3 milhões de m³ de biogás que poderia ser reaproveitado na forma de energia elétrica.
- Potencial de geração energética do biogás é de 0,471 m³/kWh (Coldebella, 202x)
 - 34 milhões de FORSU representam 3 milhões de kWh.

INTRODUÇÃO

O Desafio dos Resíduos Orgânicos no Brasil

- O Planar incentiva a instalação de biodigestores nos municípios, com o reaproveitamento do biogás na forma de energia elétrica ou de biometano, para abastecimento dos caminhões de coleta de resíduos municipais (MMA, 2025)
- Os resíduos são a segunda maior fonte de emissões de metano no Brasil (SEGG, 2022);
- A utilização do biometano como combustível pode reduzir em até 90% as emissões de poluentes na comparação com a gasolina, (SEGG, 2022).
- Os aterros sanitários apresentam 31 % de emissões fugitivas (perda de metano para a atmosfera) (Candiani, 2022)
- Sistemas de tratamento anaeróbio apresentam 3 % de emissões fugitivas de metano (Andrade, 2015)

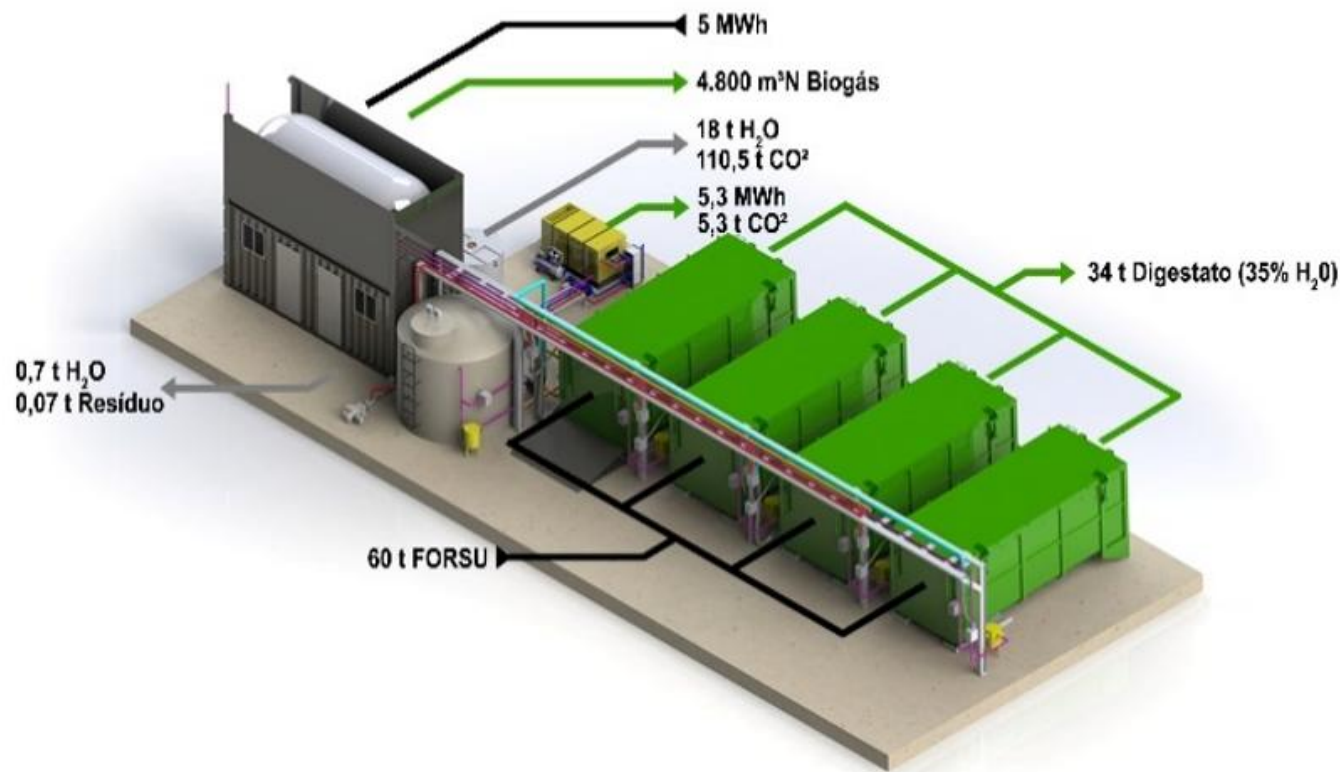
INTRODUÇÃO

Já existem hoje algumas iniciativas de biodigestão da FORSU, com reaproveitamento energético, e uma delas está instalada no município de Bertioga, litoral sul do estado de São Paulo, e fez parte desse estudo



INTRODUÇÃO

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



Eficiência do processo (previsão mensal de FORSU)
Redução de massa do FORSU (digestato) 43%
Digestato 0,57 ton
Geração de energia elétrica excedente 0,0022 MW.h
Biogás (metano 57% v/v) 80 m³N
Resíduos sólidos (purificação do biogás) 0,001 ton
Efluentes líquidos <0.1 ton

Legenda

Entrada —
Saída —
Rejeitos —

OBJETIVO

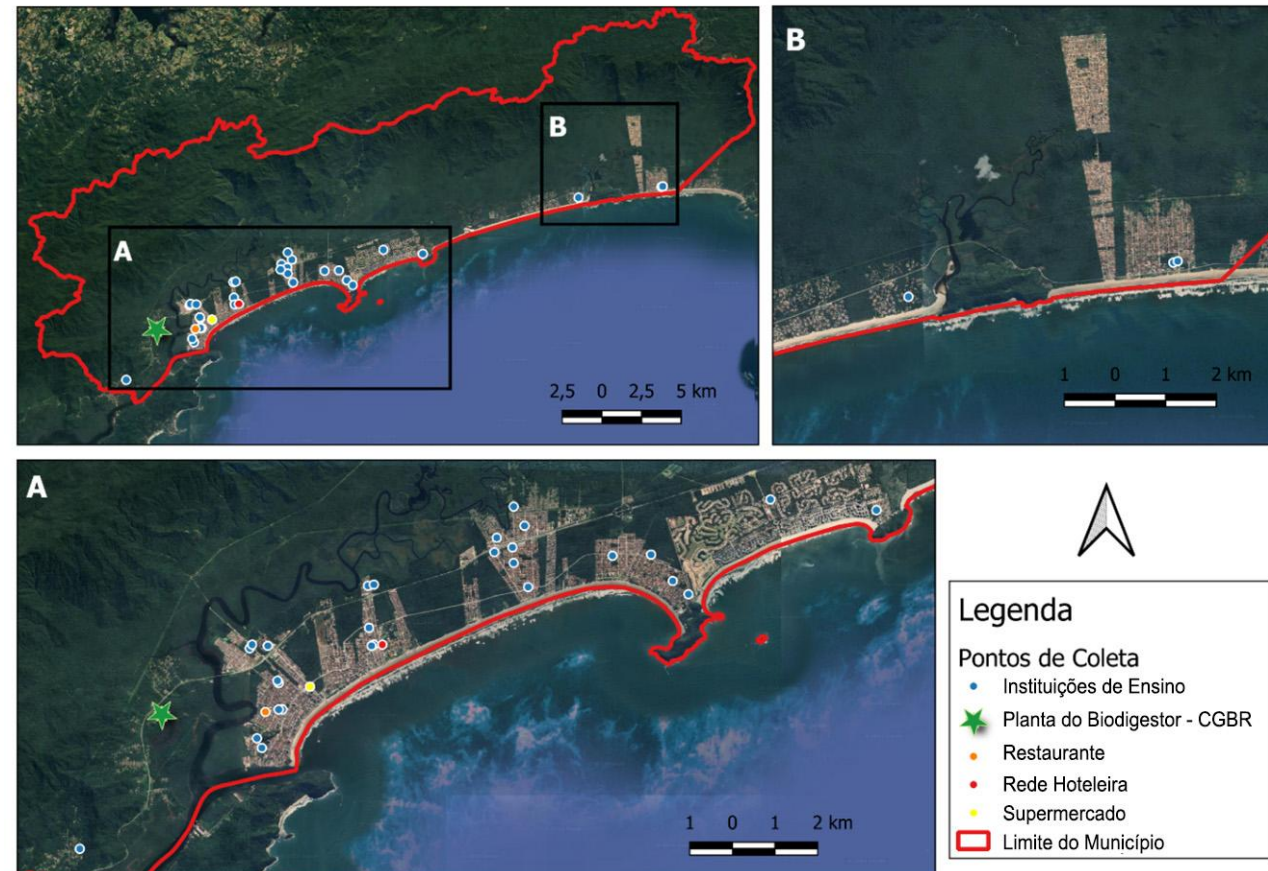
Avaliação da Eficiência de um Biodigestor em Bertioga-SP

Determinar a composição do material tratado em cada ciclo de operação;
Avaliar a qualidade do biogás gerado em cada ciclo de operação;
Avaliar o impacto do material tratado na eficiência do processo e
Avaliar o volume de biogás gerado por tonelada de resíduo tratado.

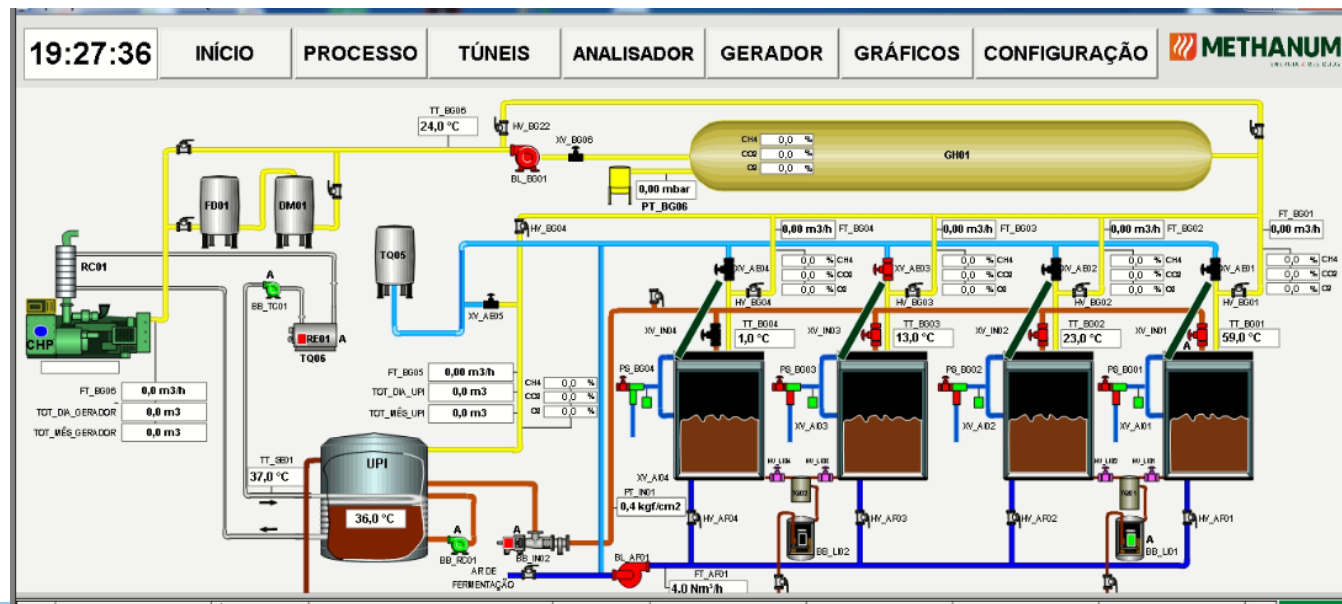
METODOLOGIA

Coleta seletiva de orgânicos

- Realizada pela prefeitura de Bertioga
- Resíduos coletados em grandes geradores, já segregados na fonte:
 - 32 escolas municipais;
 - 1 supermercado;
 - 1 restaurante e
 - 1 rede hoteleira do município (Sesc-Bertioga)
- Material estruturante: resíduo de poda ou o digestato



METODOLOGIA



- 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 dias $\pm$ 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 dias $\pm$ 1
- Fase - 7 – Renovação atmosférica – Duração estimada: 5 dias $\pm$ 3
- Fase - 8 – Descarga de Biomassa – Duração estimada: 1 dias $\pm$ 1

METODOLOGIA

Ensaio realizado

- Determinação da composição física e gravimétrica dos resíduos gerados em cada um dos grandes geradores.
Conforme: NBR/ABNT 10.007/2004; ASTM, D523/2016, IPT/CEMPRE, 2018
- Composição do biogás monitorada diariamente por analisadores que medem o volume e as concentrações de CH₄, CO₂ e O₂.



Classes de resíduo	Descrição
Casca de banana	-
Coco	Inteiro ou pedaços de casca
Outras frutas	Diversas
Ovo	Inteiro e/ou casca
Peixe	Espinha e carne
Carne (frango, porco carne vermelha)	Diversas
Legumes e verduras	Inteiras
Resto de preparação de alimentos	Cascas de legumes e verduras
Resto de alimento processado	Sobras de alimentos de pratos e panelas
Outros orgânicos (especificar)	-

METODOLOGIA

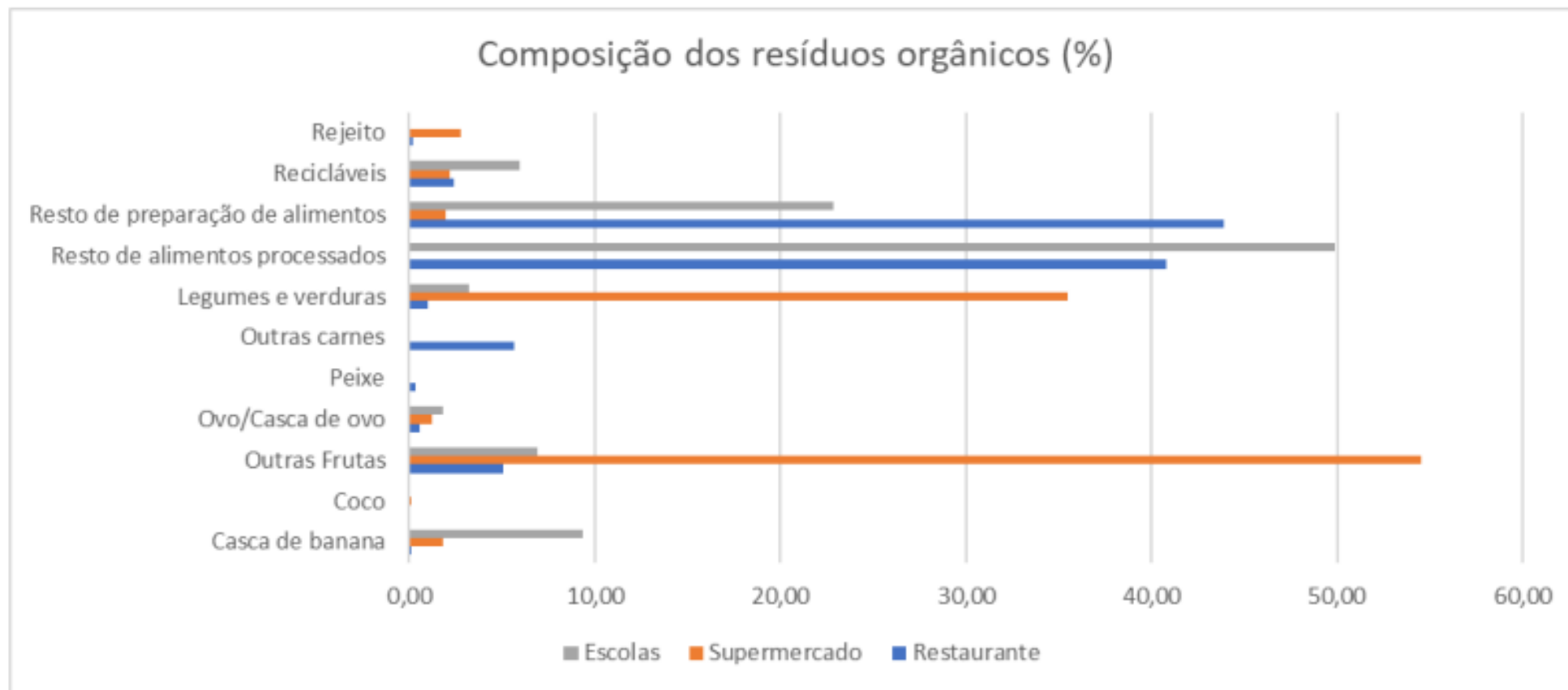
Ciclos e fases de operação

➤ Realização de 3 ciclos de operação em 2023 e 5 em 2024.

Túnel	Ciclo/ Datas de coleta	Armazena mento	Quantidade de dias de cada fase			Total
			Fase aeróbia	Ativação metanogênica	Fase metanogênica	
1	Ciclo 1 22/5 à 31/8/23	101	03	27	1	31
	Ciclo 2 1/9 a 6/10/23	36	02	83	0	85
	Ciclo 3 11/10 a 24/10/23	14	03	27	0	30
	Ciclo 4 19/2 a 4/3/24	15	02	92	3	97
	Ciclo 5 4/3 a 12/6/24	16	02	25	23	48
	Ciclo 6 01/7 a 16/8/24	47	02	5	12	19
2	Ciclo 1 1/9 a 11/10/23	5	04	48	0	52
	Ciclo 2 3/5 a 27/5/24	24	23	41	43	107

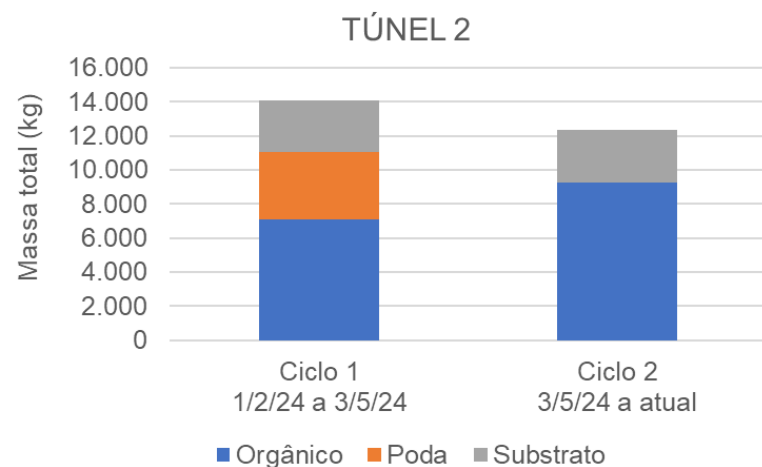
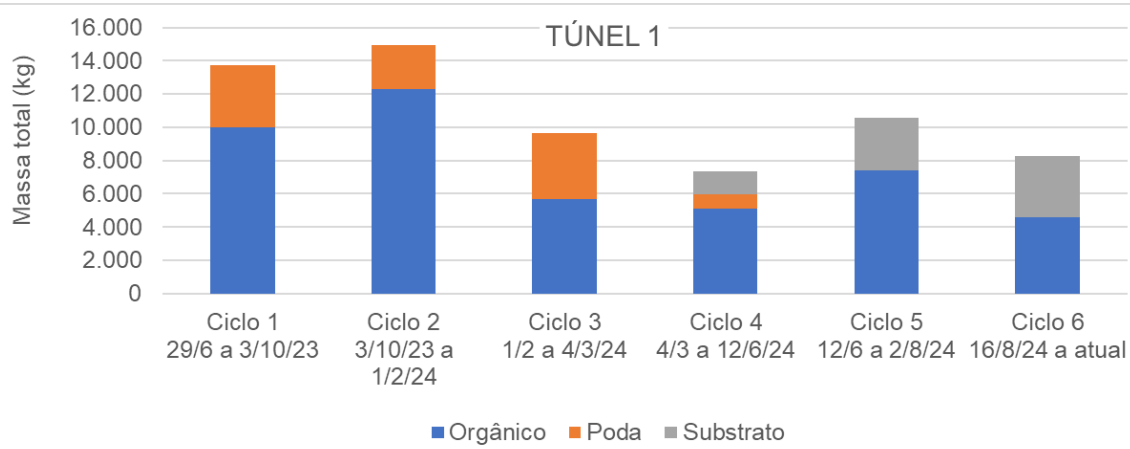
RESULTADOS

Composição dos Resíduos Coletados

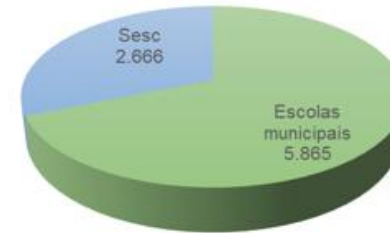


RESULTADOS

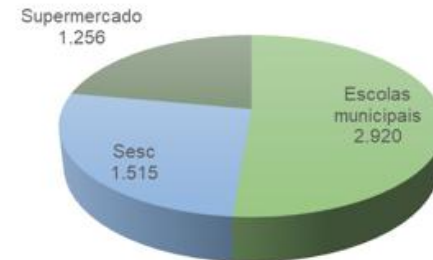
Origem dos resíduos tratados nos ciclos de operação



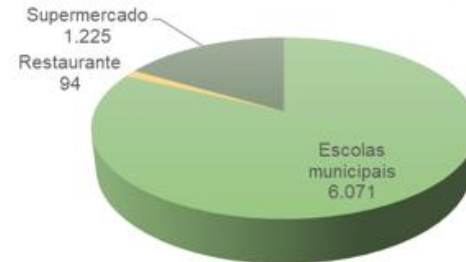
Origem dos resíduos do T1C1 (kg)



Origem dos resíduos do T1C3 (kg)



Origem dos resíduos do T1C5 (kg)



Origem dos resíduos do T2C1 (kg)



Origem dos resíduos do T1C2 (kg)



Origem dos resíduos do T1C4 (kg)



Origem dos resíduos do T1C6 (kg)



Origem dos resíduos do T2C2 (kg)



■ Escolas municipais ■ Sesc ■ Restaurante ■ Supermercado

RESULTADOS

Composição do material tratado nos ciclos de operação

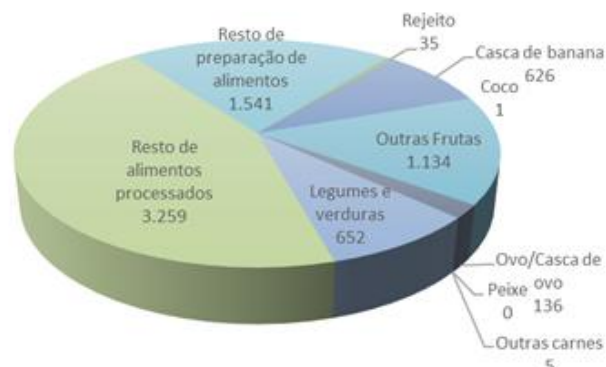
Composição do T1C1 (kg)



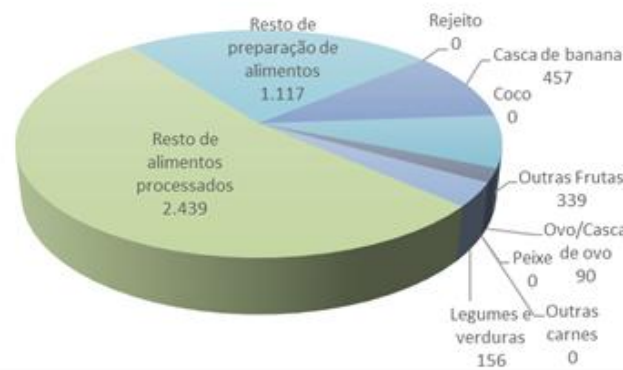
Composição do T1C2 (kg)



Composição do T1C5 (kg)



Composição do T1C6 (kg)



Composição do T1C4 (kg)



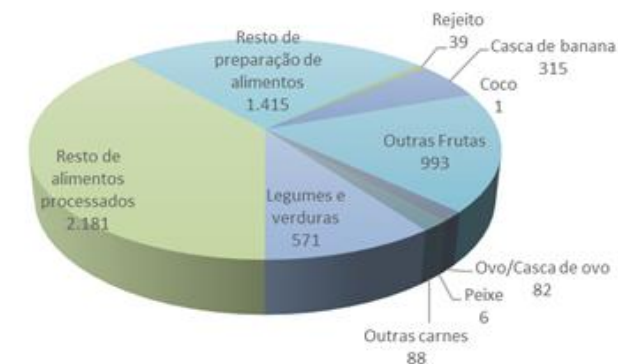
Composição do T2C1 (kg)



Composição do T2C2 (kg)



Composição do T1C3 (kg)



RESULTADOS

Qualidade do biogás conforme material tratado

- Alimentos processados produziram biogás com maiores concentrações de metano
 - Bouallagui, (2005): Potencial de produção de metano das frutas e verduras cruas: 420 l/kg de FORSU;
 - Zhang (2014): Potencial de produção de metanos dos alimentos processados: 530 l/kg de FORSU.

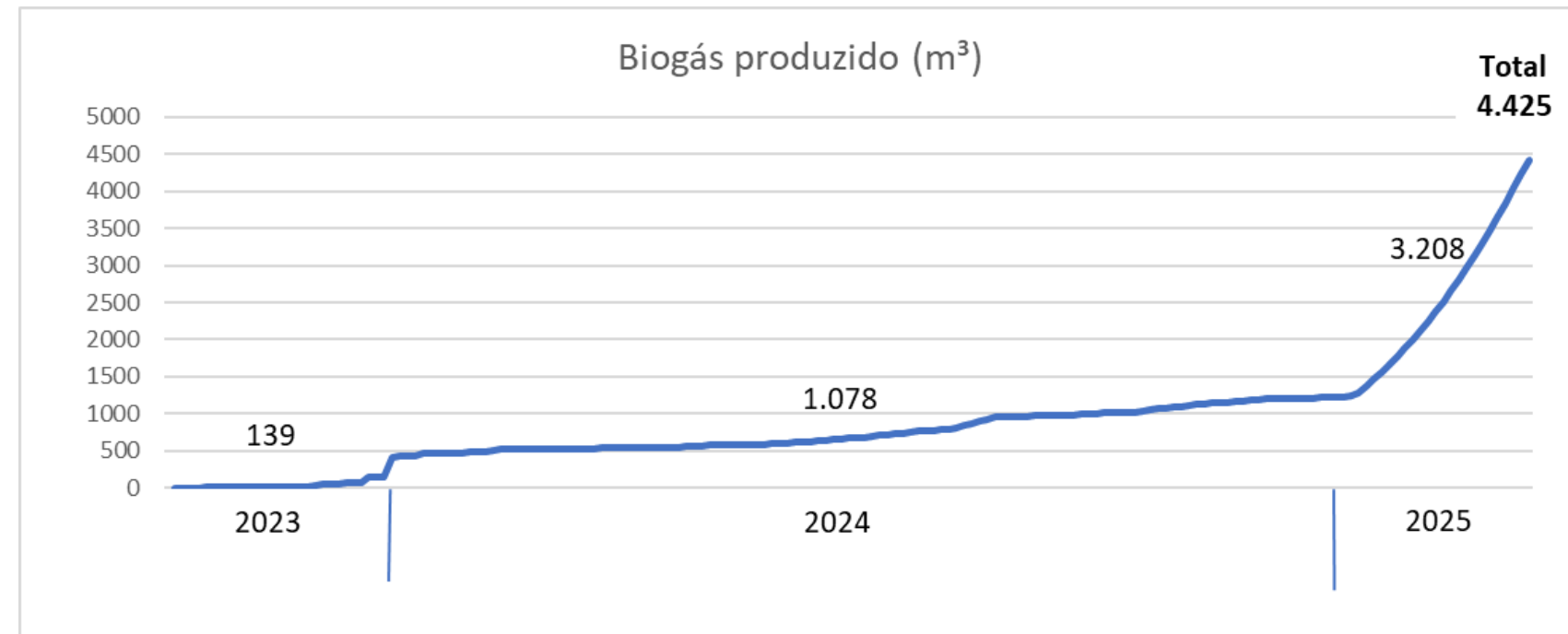
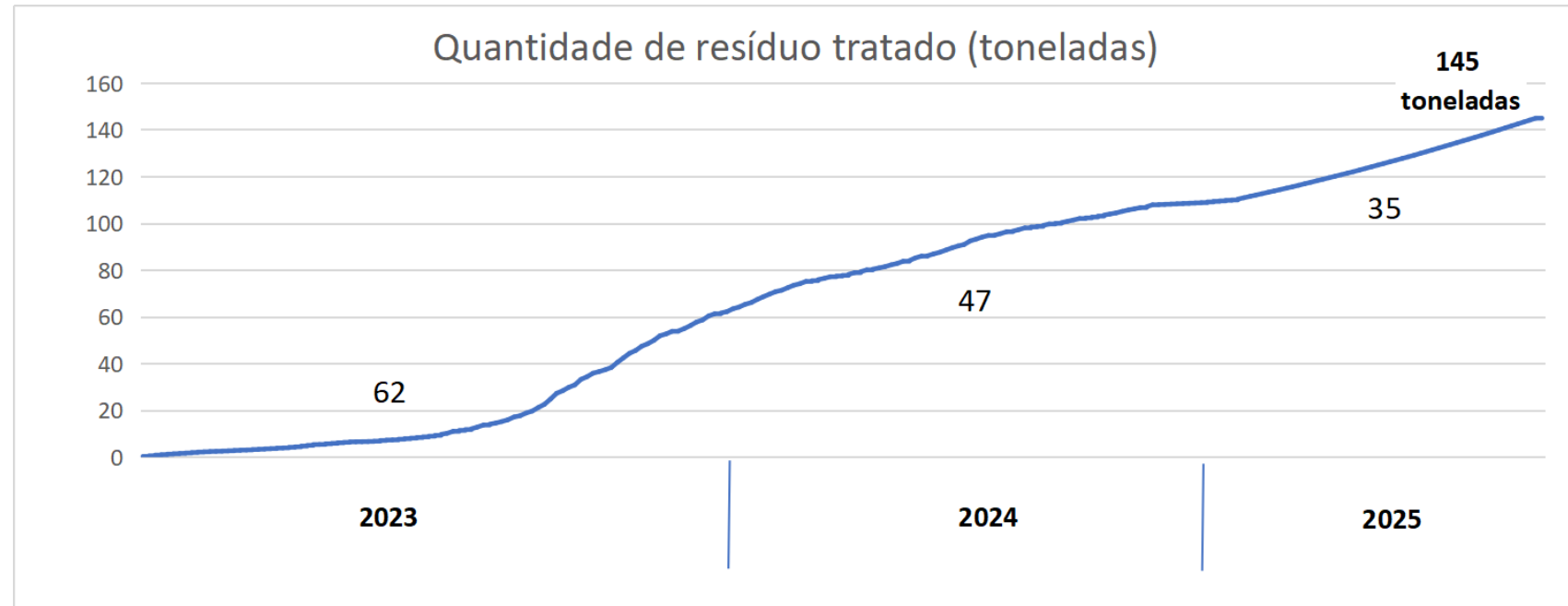
Unidades de produção e armazenamento de biogás	Massa de Forsu tratada (t)	Composição do material tratado (%)		Biogás: Maior valor atingido de concentração de CH ₄ (%)
		Alimento processado	Alimentos crus	
Túnel 1 Ciclo 1	9,98	53	47	54,0
Túnel 2 Ciclo 1	7,11	30	69	0,30
Túnel 1 Ciclo 2	12,31	32	67	0,50
Túnel 2 Ciclo 2	9,24	47	53	63,0
Túnel 1 Ciclo 3	5,69	40	59	23,3
Túnel 1 Ciclo 4	5,12	37	60	36,9
Túnel 1 Ciclo 5	7,39	44	55	45,2
Túnel 1 Ciclo 6	4,60	53	47	44,7
UPI	-	-	-	88,8
Gasômetro	-	-	-	74,4
Total	61,44	-	-	-

RESULTADOS

Desempenho Energético do Biodigestor

- Produção de biogás do biodigestor
 - Ano de 2023:
2 m³/t
 - Ano de 2024:
23 m³/t
 - Ano de 2025:
92 m³/t

Produção média dos biodigestores:
50 à 100 m³/t (Silva, 2022)



CONCLUSÕES

- Foram tratados 145 toneladas de resíduos desde 2023, em 08 ciclos de operação, sendo 5 no Túnel 1 e 3 no túnel 2;
- A determinação da composição física e gravimétrica indicou a predominância de alimentos processados nos resíduos gerados nas escolas e restaurante e de alimentos crus nos resíduos de mercado;
- Com a determinação da composição dos resíduos gerados nos estabelecimentos coletado, foi possível estimar a composição do material tratado nos túneis, que indicaram que os restos de alimentos processados produzem biogás de melhora qualidade do que os produzidos pelos resíduos alimentares crus;
- O biodigestor vem aumentando seu potencial de produção de biogás no decorrer dos anos, iniciando com uma produção de 2 m³/tonelada de resíduos tratados em 2023, 23 m³/t em 2024 e atingindo 92 m³/t em 2025, indicando um amadurecimento do processo e da equipe de operação.

REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 10007:2004. Amostragem de Resíduos Sólidos, ABNT, Brasil; 2004(d).

ANDRADE, R.R; et.al. Mitigação das emissões de carbono pelo processo de biodigestão anaeróbia dos resíduos da suinocultura. XLIV Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 2015.

BOUALLAGUI, H.; TOUHAMI, Y.; BEN CHEIKH, R.; HAMDI, M. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Process Biochemistry, v. 40, p. 989-995, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.03.007>.

BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Orgânicos – PLANARO. Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Qualidade Ambiental. Brasília: República Federativa do Brasil, 2025

CANDIANI, G; et al. Emissões fugitivas de metano em aterros. Revistas USP. 2022

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) - Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos (PLANARO). 27p. Brasília, DF, 2025.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Desafios e oportunidades para redução das emissões de metano no Brasil. Observatório do Clima, out. 2022. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/03/SEEG-METANO.pdf>>. Acesso em: set. 2024.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS. Manejo dos Resíduos Sólidos. Brasil, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/rs>> Acessado em setembro de 2024.

SILVA, E. C. G., & DE LUCAS JUNIOR, J. (2022). Co-digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e dejetos de bovino leiteiro: obtenção e projeção dos resultados em um estudo de caso no município de penápolis-sp. *Energia na agricultura*, 37(1), 1–8. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2022v37n1p1-8>

STANDARD TEST METHOD; ASTM D 5231 - Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste. 2016.

ZHANG, C.; SU, H.; BAEYENS, J.; TAN, T. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 38, p. 383-392, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.038>.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental

Obrigada!

Wilkson Sousa dos Santos
Fernanda Peixoto Manéo
Letícia dos Santos Macedo
Claudia Echevengué Teixeira
Adilson Vicente da Silva

wilkson.s.santos@outlook.com
fpeixoto@ipt.br
leticiasm@ipt.br
cteixeira@ipt.br
adilson.vicentedasilva@yahoo.com.br