IEE USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

FENASAN
Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos

USP

MESA REDONDA 17

Valorização de Resíduos no Saneamento Rural: Biogás, Sustentabilidade e Inclusão Energética

Quinta-feira, 22/10/2026 | 14h00 às 15h30 | Cantareira 5

Coordenação



Eliana Kitahara
G9 Saneamento Rural



Alisson Gomes de Moraes
AESabesp

Moderador(a)



Carina Couto
ARSESP

Palestrante(s)



Alisson Gomes de Moraes
AESabesp



Josiani Napolitano
Abiogás



Ildo Luís Sauer
IEE USP

IEE USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

FENASAN
Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos

USP

MESA REDONDA 17

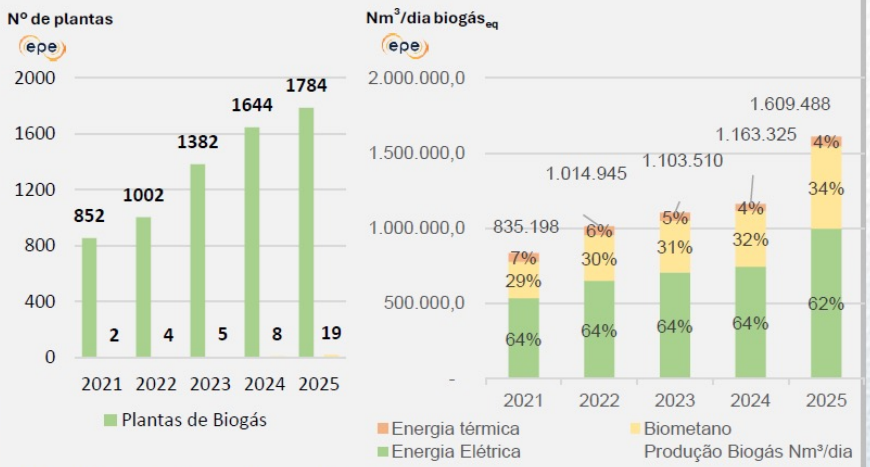
Valorização de Resíduos no Saneamento Rural: Biogás, Sustentabilidade e Inclusão Energética

Quinta-feira, 22/10/2026 | 14h00 às 15h30 | Cantareira 5

PANORAMA NACIONAL

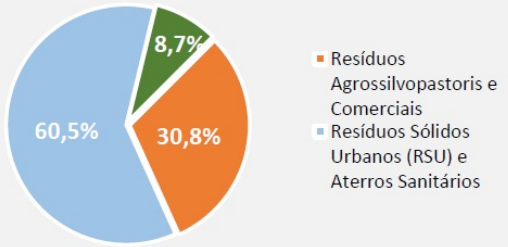
BIOMETANO: PANORAMA DE OFERTA ATUAL

Panorama da oferta de biogás e biometano



- Participação de muitas unidades rurais de pequeno porte e poucas unidades urbanas de grande porte
- Dejetos animais e resíduos agrícolas representam 79% das plantas → 19% biogás
- RSU e efluentes de esgoto representam 10% das unidades → 64% do biogás

Distribuição de substrato para produção de biometano



- A estrutura da oferta brasileira é assimétrica
- Expansão a partir de bases produtivas consolidadas
- Aproveitamento do potencial agropecuário e agroindustrial dependerá de soluções capazes de superar a fragmentação espacial dos substratos e os custos de agregação logística

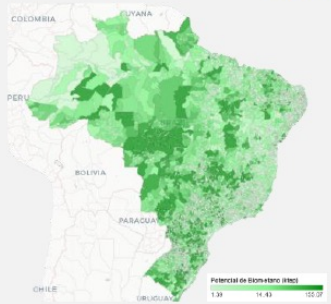
BIOMETANO: POTENCIAL BRASILEIRO DOS RESÍDUOS

Potencial de produção de biometano a partir de resíduos via monodigestão mesofílica

Divisao	Coproduto	Coproduto Energético (mil t)	Biometano (Mm^3)
Agropecuária	Resíduo da Banana	3.382	846
	Resíduos do Café	610	153
	Palha de Arroz	5.881	1.470
	Palha de Cana	60.773	15.193
	Palha de Feijão	1.556	389
	Palha de Milho	101.651	25.413
	Palha de Soja	58.271	14.568
	Palha de Trigo	7.487	1.872
	Rama da Mandioca	5.508	1.377
	Resíduo do Algodão	3.788	947
	Esterco Bov. corte	976.950	16.608
	Esterco Bov. leite	66.281	1.127
	Esterco de Frango	47.586	4.283
	Esterco de Galinha	10.128	912
	Esterco Suíno	40.072	1.763
Agroindustrial	Torta de Filtro	11.477	639
	Vinhaca	306.050	2.556
Resíduos Urbanos	Mat. Orgânica - Efl.	636	70
	Mat. Orgânica - Res.	32.791	1.803
Total		1.740.878	91.987

Consumo de óleo diesel e gasolina → 93 Mm^3 [2025]

O tamanho da oportunidade: potencial técnico e econômico



Distribuição do potencial a partir de biomassa residual

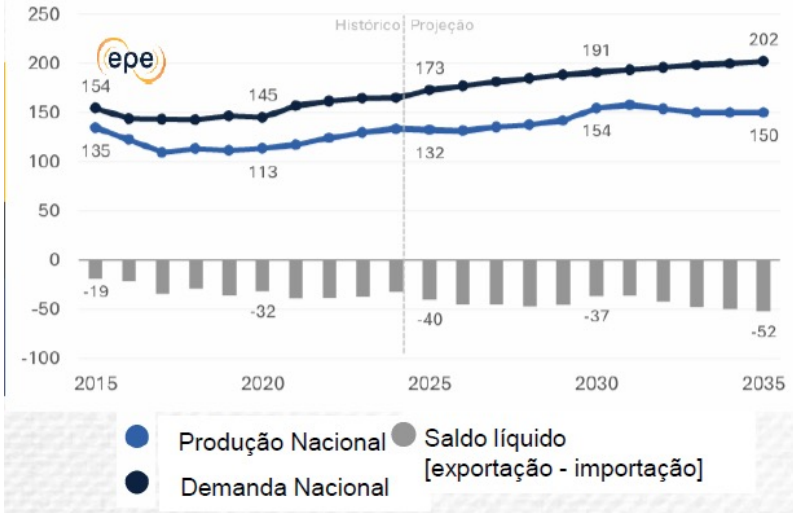


Potencial economicamente viável oriundo de resíduos agrícolas = 20 bilhões de litros de diesel equivalentes

- Substituição equivalente a 10% do gás natural corresponde a 2,3% do potencial técnico
- Desafio: custo da coleta, transporte, processamento e agregação de valor energético
- Potencial abundante, territorialmente disperso e heterogêneo

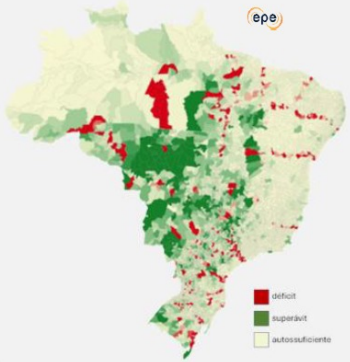
Demanda de diesel e Caminho da safra

Balanço de diesel A no Brasil [10^3 m^3/dia]



Biometano no caminho da safra

- Oferta potencial de biometano x Venda de óleo diesel
- Relevante oportunidade de descarbonizar o transporte de safra
- Possibilidade de articular polos produtores, corredores logísticos e mercados consumidores interiorizados



Atualização

SIEnergia

17,1 Mm³

Diesel A importado em 2025 (ANP, 2026)

9,5 Bilhões de dólares de despesa em 2025 (ANP, 2026)

BIOMETANO: QUAIS AS PRINCIPAIS OPORTUNIDADES?

Coprodutos da biodigestão anaeróbia



Perspectivas e lacunas

- Gargalos tecnológicos e operacionais:
  - Transformação da matéria-prima
  - *Upgrading* do biogás
- Gargalos financeiros:
  - Acesso ao crédito para pequenos e médios produtores
- Gargalos Regulatórios:
  - Articulação regulatória
  - Valorização dos coprodutos gerados
  - Adequada articulação entre os diferentes instrumentos de certificação dos atributos ambientais associados ao biometano

BIOMETANO E POTENCIAL DE FERTILIZANTES

Divisao	Coproduto	Coproduto (mil t)	Biometano (Mm^3)	Nutrientes no Digestato N (mil t)	Nutrientes no Digestato P_2O_5 (mil t)	Nutrientes no Digestato K_2O (mil t)
Agropecuária	Palha de Milho	204.846	25.413	1.844	410	4.097
	Palha de Soja	163.068	14.568	3.098	538	2.479
	Palha de Trigo	25.743	1.872	129	77	360
	Rama da Mandioca	12.874	1.377	49	26	108
	Esterco Bov. corte	1.199.989	16.608	4.440	3.000	7.080
	Esterco Bov. leite	85.823	1.127	318	215	506
	Esterco de Frango	47.864	4.283	756	627	842
	Esterco de Galinha	9.387	912	188	156	136
	Esterco Suíno	40.504	1.763	211	117	284
Agroindustrial	Torta de Filtro	20.572	639	41	16	49
	Vinhaca	274.292	2.556	795	219	987
Total		2.298.896	91.987	**11.868**	**5.402**	**16.929**

Uso agrícola estimado 2022		
N	6.775,06	mil t
P_2O_5	5.735,13	mil t
K_2O	7.687,98	mil t

Fertilizers by Nutrient, FAOSTAT (Acesso em 2026)

O Brasil importou cerca de US$ 13,75 bilhões em fertilizantes no ano de 2024

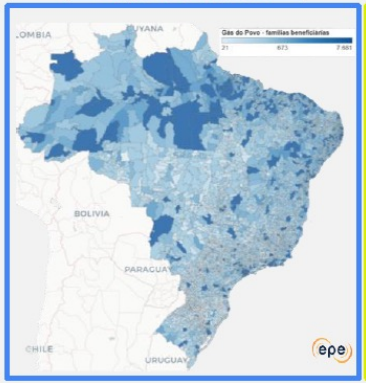
O Brasil pode reduzir dependência de fertilizantes importados – sinergia: energia e fertilizantes de resíduos!

BIOGÁS TAMBÉM PODE AJUDAR NO DESENVOLVIMENTO SOCIAL

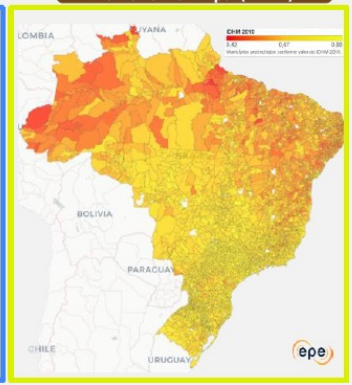
Cocção limpa a partir de biogás

- Solução renovável, limpa e descentralizada
- Substituição da lenha e carvão em contexto de pobreza energética
- Redução da exposição à poluição intradomiciliar
- Transição energética justa e inclusiva

Famílias beneficiárias do Programa Gás do Povo



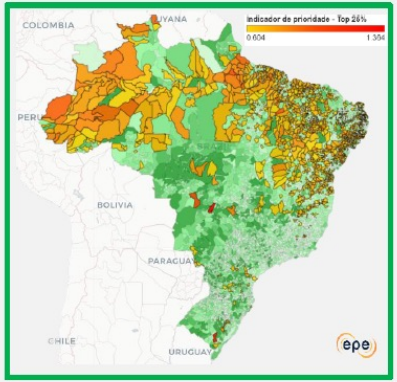
Índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM)



Biogás e inclusão social

- Potencial geração de postos de trabalho para pessoas em condições de vulnerabilidade social
- Convergência entre oferta de biomassa residual e menores IDHMs
- Promoção de autonomia energética e redução de gastos com GLP

Potenciais de biometano de biomassa residual



ANÁLISE A PARTIR DA EXPERIÊNCIA DA Usina de Bioenergia e Biofertilizantes com Resíduos Orgânicos

Instituto de Energia e Ambiente da
Universidade de São Paulo

IEE USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE

USP

Usina de Bioenergia e Biofertilizantes com Resíduos Orgânicos

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo



Apoiadores

Sumário

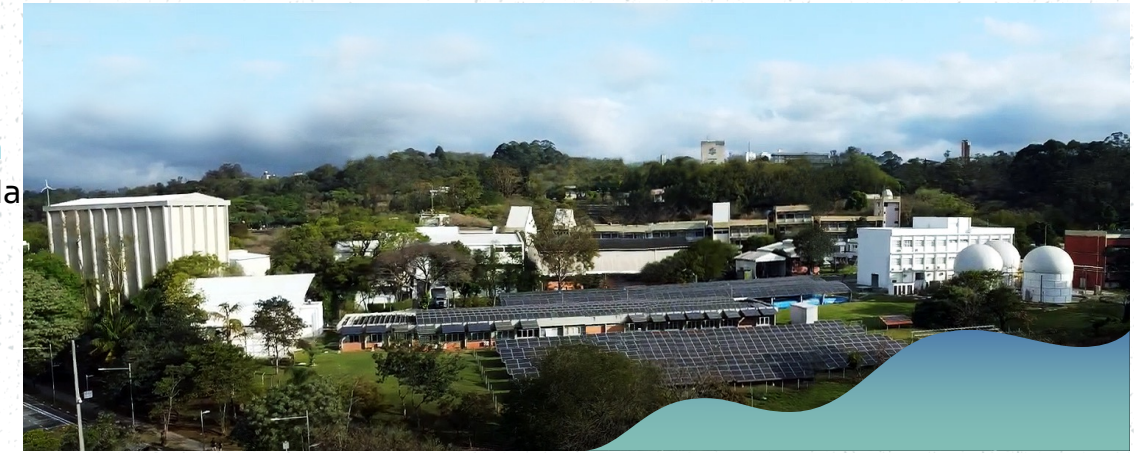
1. Instituto de Energia e Ambiente
2. A Usina
3. Capacidade e produção
4. Processo produtivo
5. Diferenciais tecnológicos
6. Circularidade e sustentabilidade
6. Tour virtual e contato

1. IEE e a usina

Centro de excelência em energia e ambiente

O Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo é referência em pesquisa, ensino e inovação aplicada aos desafios energéticos e ambientais contemporâneos.

Atua no desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à transição energética, descarbonização e economia circular.



2. A usina

A **Usina de Bioenergia e Biofertilizantes** demonstra a viabilidade técnica, econômica e ambiental da transformação de resíduos orgânicos em energia renovável e insumos agrícolas.

O pacote tecnológico é replicável em cidades, regiões metropolitanas e grandes geradores da cadeia alimentar.

Plataforma tecnológica para conversão de resíduos orgânicos



01 Captação, recebimento, triagem e pré tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos	**02** Produção de biogás
1.1 Restaurante Universitário USP (RU)	2.1 Tanque de mistura (homogeneização)
1.2 Área de manobra	2.2 Conjunto de biodigestores CSTR: produção de biogás e medidores de vazão
1.3 Recepção e triagem de resíduos sólidos orgânicos (RSO)	2.3 Cúpula: armazenamento de biogás e medição do produto
1.4 Armazenamento e pré tratamento	2.4 Casa de comando e monitoramento
	2.5 Flare

03 Geração de energia elétrica	**05** Posto de Biometano
3.1 Bomba central	5.1 Área de abastecimento de veículos com biometano
3.2 Remoção de umidade e filtro de carvão ativado para retirada de sulfeto de hidrogênio (H_2S)	**06** Produção de biofertilizante e hortas
3.3 Motor a combustão interna e gerador de energia elétrica / inserção de eletricidade na rede elétrica.	6.1 Digestato: separador de fases sólida e líquida
04 Produção de biometano (up grading)	6.2 Aplicação de biofertilizante em hortas e sistemas hidropônicos e cultivo de cana-de-açúcar (APTA Piracicaba)
4.1 Torre de lavagem para retirada de água residual e amônia (NH_3) / Filtro de carvão ativado para retirada de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e compostos orgânicos voláteis. Compressor / Conjunto de membrana para separação de dióxido de carbono (CO_2) do metano (CH_4)	
4.2 Beneficiamento do dióxido de carbono (CO_2)	

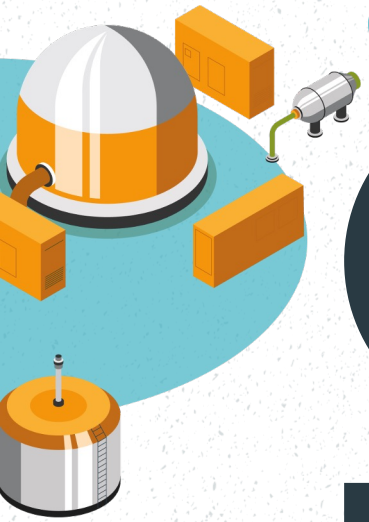
Tour Virtual
Conheça a usina através do nosso tour virtual:





3. Capacidade de produção

Capacidade de produção



Capacidade licenciada
43,5
toneladas por dia

Capacidade atual de operação
20
toneladas por dia

Atendimento equivalente
50 mil
habitantes

Produtividade de biogás
120 a 180 Nm³
por tonelada

Produtividade de eletricidade
150 a 180 kWh
por tonelada

Produtividade por biometano
50 a 80 Nm³
por tonelada



4. Processo produtivo

Fluxo produtivo integrado

Etapas da conversão energética

01 Recepção e preparo dos resíduos

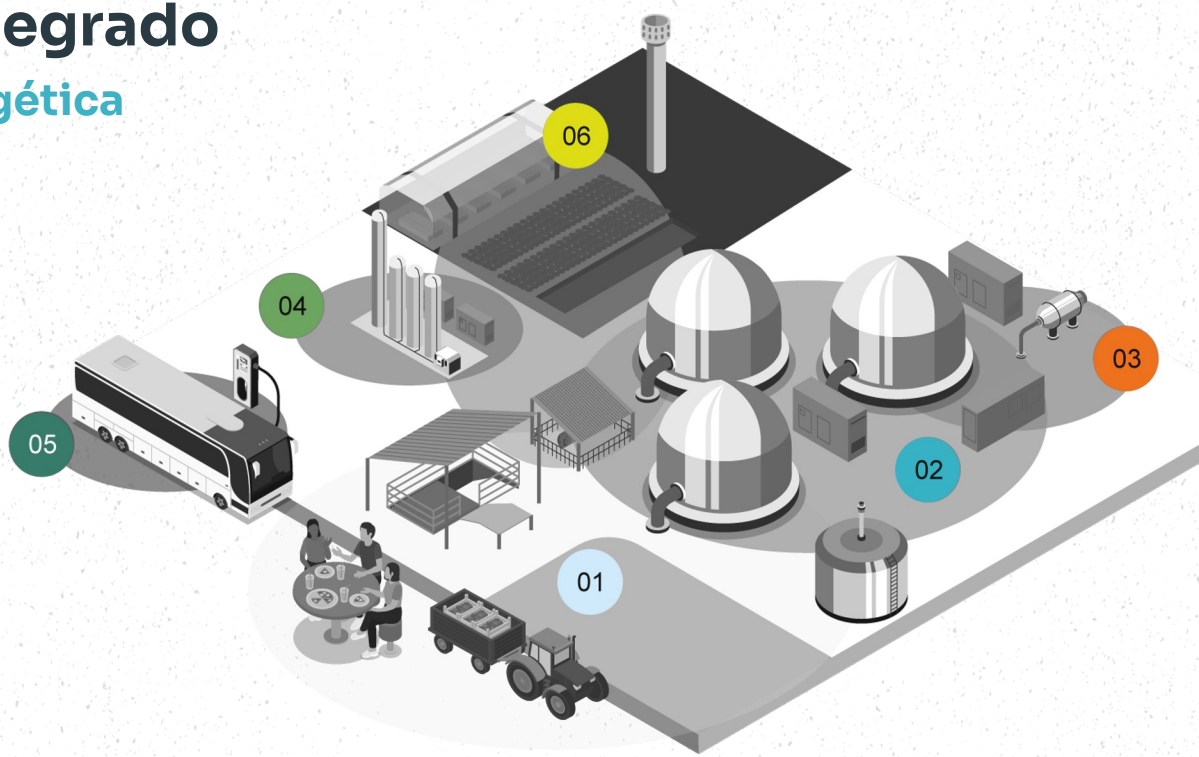
02 Biodigestão

03 Geração de energia elétrica e térmica

04 Produção de biometano e CO2

05 Compressão e abastecimento veicular

06 Valorização do digestato



Unidade de recepção, triagem e alimentação

- Recepção de resíduos orgânicos provenientes de alimentos e podas.
- Moega automatizada de 20 m³, hermeticamente fechada, com controle de odores.
- Sistema de pré trituração RedUnit com capacidade de 25 toneladas por dia.
- Sistema PreMix para homogeneização e bombeamento aos biodigestores.



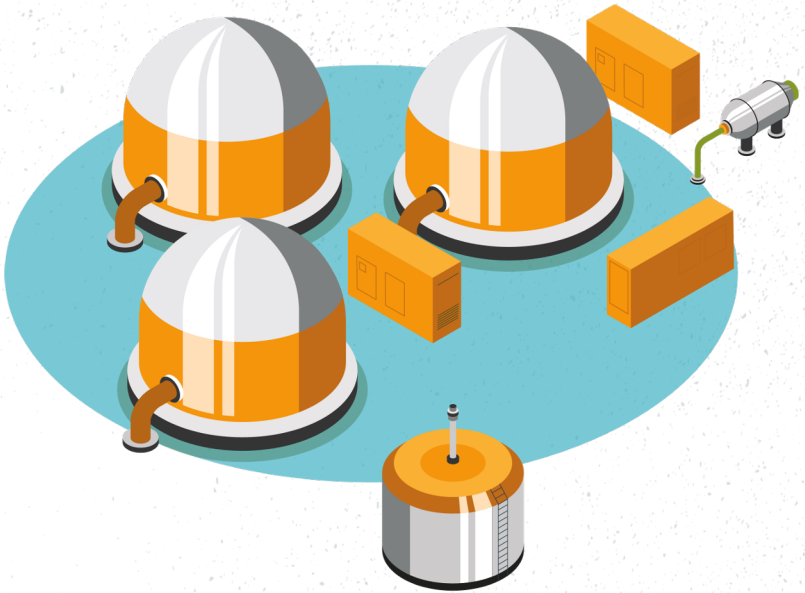






Unidade de produção de biogás e biofertilizantes

- Três biodigestores de 430 m^3 cada.
- Operação mesofílica aproximada de 37 graus Celsius ou termofílica aproximada de 55 graus Celsius.
- Produtividade de 120 a 180 Nm^3 de biogás por tonelada.
- Gasômetros de membrana dupla e sistemas de segurança.
- O digestato corresponde a aproximadamente 85 por cento da massa tratada, rico em N, P, K, Ca e Mg.



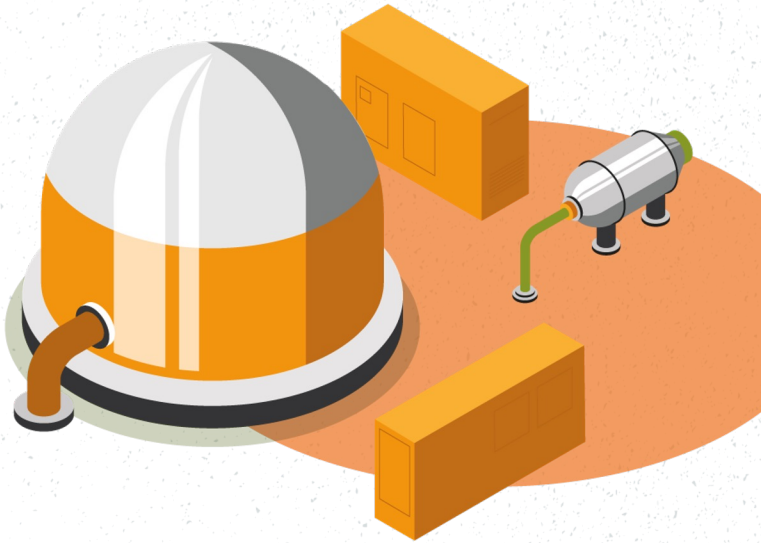






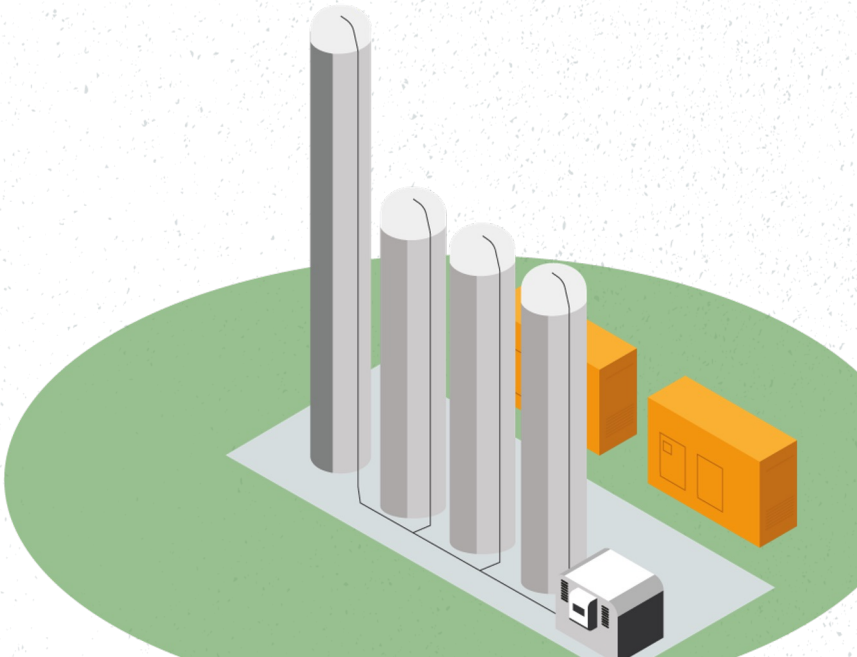
Unidade de geração de energia elétrica e térmica

- Dois motogeradores.
- Cogeração de 75 kWe de eletricidade e 84 kWt de calor para aquecimento dos biodigestores.
- Geração adicional de 240 kWe em operação híbrida com sistema fotovoltaico do campus.
- Conexão à rede subterrânea do campus integrada ao Sistema Interligado Nacional.



Unidade de produção de biometano e CO2

- Capacidade de processamento de 2.880 Nm^3 de biogás por dia.
- Purificação em três estágios por membranas, com teor superior a 97 por cento de metano.
- Pré -tratamento com remoção de umidade, amônia e enxofre.
- Separação de biometano e CO2 biogênico para uso energético, industrial ou agrícola.




Unidade de Produção de Biometano e CO_2, em parceria com a TPI - Tecno Project Industriale



Unidade de compressão e abastecimento veicular

- Compressão até 250 bar.
- Armazenagem de 280 Nm^3 a 250 bar.
- Abastecimento da frota da Universidade e parceiros.
- Rendimento estimado entre 650 e 1300 km por tonelada de resíduo tratado.





Créditos: Marcos Santos – USP Imagens - https://jornal.usp.br/universidade/usina-da-usp-gera-bioenergia-e-biofertilizantes-a-partir-de-residuos-organicos/



Créditos: Marcos Santos – USP Imagens - https://jornal.usp.br/universidade/usina-da-usp-gera-bioenergia-e-biofertilizantes-a-partir-de-residuos-organicos/


SCANIA
P 280
PREFEITURA DE
SÃO PAULO
ATENÇÃO
PONTO CEGO
UGL5E59


OESTE



5. Diferenciais tecnológicos

Plataforma modular e replicável

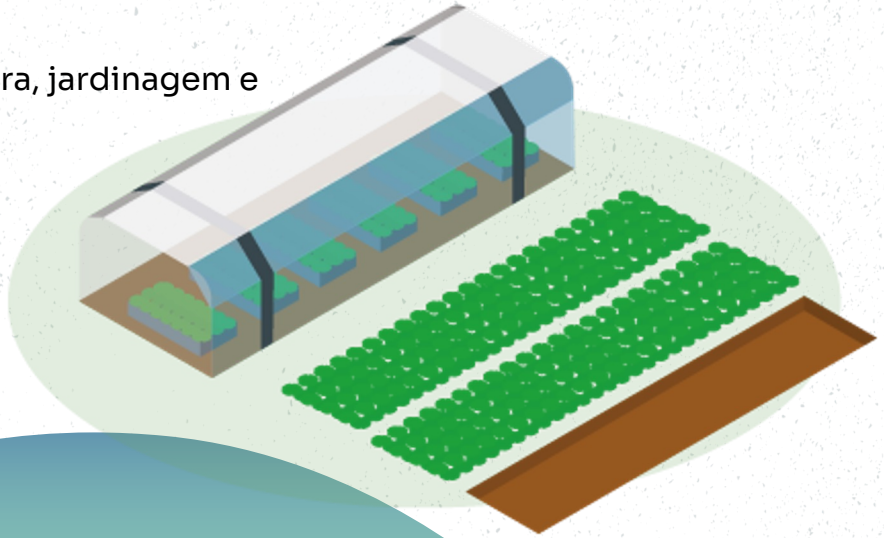
- Integração entre biodigestão, geração elétrica, produção de biometano e uso agrícola
- Operação flexível para priorização entre eletricidade, calor ou combustível veicular.
- Sistema completo de monitoramento, operação e controle.
- Integração com rede elétrica do campus e gestão energética inteligente.



6. Circularidade e sustentabilidade

- Recuperação simultânea de energia e nutrientes.
- Redução de emissões de metano em comparação a aterros.
- Substituição de combustíveis fósseis e fertilizantes minerais.
- Aplicações do digestato em agricultura, jardinagem e hidroponia.







VALORIZAÇÃO DE DIGESTATO PRODUZIDO EM USINAS DE BIOGÁS DA USP E DA UFC NO CULTIVO CONVENCIONAL E HIDROPÔNICO

Avaliação da produção sustentável no cultivo de cana, milho e hortaliças

Instituição Sede do Projeto: Universidade de São Paulo – Instituto de Energia e Ambiente

REUSO AGRÍCOLA COM BIODIGESTATO DE TRATAMENTO ANAERÓBICO DE RESIDUOS ORGANICOS EM CANA DE AÇUCAR

Número do Processo CNPq: 406348/2022-7 - Período de Vigência: 09/01/2023 a 31/01/2026

EQUIPE APTA – PIRACICABA

Pesquisadores

Edna Ivani Bertoncini – edna.bertoncini@sp.gov.br

André Cesar Vitti

Mônica Sartori de Camargo

Bolsistas

Mateus Pires (Bolsista DTI-B)

Alex C. Negri (Bolsista IC)

Tiago Leandro Silva (Bolsista IC)

apta Regional apta Secretaria de Agricultura e Abastecimento SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO

RESULTADOS & DISCUSSÃO – Produtividade cana-de-açúcar e qualidade do caldo

FERTILIDADE DO SOLO • ⬆ Extração nutrientes pela cana P, K, S, Ca, Mg • Mudanças pouco significativas em valores de pH, MO, SB, CTC e V%

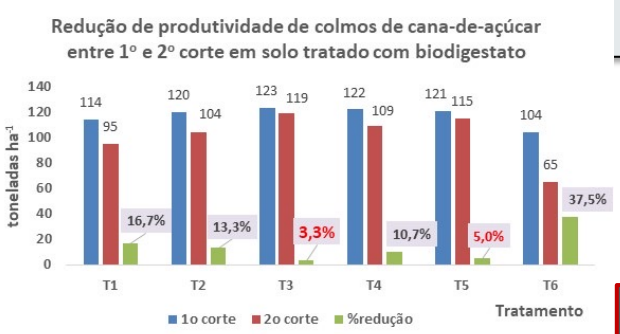
Safra 2004 + Safra 2025 – produtividade cana-de-

Análise comparativa dos atributos produtivos (TCH, TPH e TAH) de cana-de-açúcar tratada com biodigestatos IEE/USP, safras 2023-2024 e 2024-2025, avaliando a soma e média das duas safras. ¹Média de 04 repetições e desvio padrão.

Tratamentos	Soma			Média		
	TCH	TPH	TAH	TCH	TPH	TAH
T1 (11 +17 m³ ha⁻¹)	209±5¹b	40±1b	33±1b	105±2b	20±0b	16±0b
T2 (22 +25 m³ ha⁻¹)	224±5ab	43±1ab	35±1ab	112±3ab	21±1ab	18±0ab
T3 (33 + 42 m³ ha⁻¹)	243±4a	46±1a	38±1a	121±2a	23±0a	19±0a
T4 Organomineral (11 +25 m³ ha⁻¹)	232±3a	43±1ab	36±1ab	116±2a	22±1ab	18±0ab
T5 - Adubo Mineral	235±6a	47±2a	38±1a	118±3a	23±1a	19±1a
T6 - Controle	169±4c	30±1c	25±1c	84±2c	15±0c	12±0c
Média	219	41	34	109	21	17
CV (%)	4,2%	5,2%	5,7%	4,3%	5,4%	5,9%
Valor F	34,24	33,21	27,40	32,55	30,44	26,72
Probabilidade F	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
Significância F	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade.

TCH = t de colmos/ha; TPC = t de sacarose/ha
TAH = t açúcar/ha



redução produtividade do 1º para 2º corte

• Literatura: redução de 21%

LONGEVIDADE CANAVIAL!

Análise comparativa dos atributos tecnológicos (BRIX, POL e ATR) de colmos de cana 1ª soca tratados com biodigestato IEE/USP, safra 2024/2025. ¹Média de 4 repetições, seguida de desvio padrão.

Tratamentos	Qualidade do caldo		
	Brix (%)	Pol (%)	ATR (kg/ton)
T1 – 17 m³ ha⁻¹ (51 kg N; 39 kg K_2O ha⁻¹)	21,0±0,5¹a	20,1±0,5a	164±5b
T2 – 25 m³ ha⁻¹ (75 kg N; 57,5 kg K_2O ha⁻¹)	21,1±0,5a	20,1±0,4a	165±4ab
T3 – 42 m³ ha⁻¹ (126 kg N; 96,6 kg K_2O)	21,6±0,3a	20,4±0,2a	167±3ª
T4 – Organomineral - 25 m³ ha⁻¹ + NK (133,3 kg N e 57,5 kg ha⁻¹ K_2O)	21,0±0,3a	19,9±0,4a	164±3ab
T5 – Adubo Mineral – 120 kg N, 44 kg P_2O_5 e 120 kg K_2O ha⁻¹	21,7±0,4a	20,6±0,3a	170±3ª
T6 – Controle – sem adubação	20,7±0,4a	19,7±0,4a	158±2c
Média	21,2	20,1	165
CV (%)	3,4%	4,0%	4,1%
Valor F	1,16	0,63	1,44
Probabilidade F	0,365	0,679	0,255
Significância F	n.s	n.s	n.s

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula, não diferem entre si ao nível de significância de 5%. n.s: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

VALORIZAÇÃO DE DIGESTATO PRODUZIDO EM USINAS DE BIOGÁS DA USP E DA UFC NO CULTIVO CONVENCIONAL E HIDROPÔNICO

Avaliação da produção sustentável no cultivo de cana, milho e hortaliças

Instituição Sede do Projeto: Universidade de São Paulo – Instituto de Energia e Ambiente

DIGESTATO DE USINA DO IEE NA HIDROPONIA DE ALFACE:

DESEMPENHO PRODUTIVO E POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO DE FERTILIZANTES MINERAIS

Número do Processo CNPq: 406348/2022-7 - Período de Vigência: 09/01/2023 a 31/01/2026

Pesquisadores e Estudantes

Dr. Fabrício Rossi (FZEA – USP)

Dra. Tamara Maria Gomes (FZEA – USP)

André L. S. Dominguez (Mestrado ESALQ – USP) – andre.dominguez@usp.br

Luísa Ferreira Gomes (IC – FAPESP, IB – USP)





1. Tour Virtual e contato

Tour virtual

Viva a experiência imersiva
e explore cada etapa do
processo produtivo.



Contato

Instituto de Energia e Ambiente
Universidade de São Paulo

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289
Cidade Universitária
São Paulo Brasil

www.iee.usp.br

Apoiadores

IEE USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

FENASAN
Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos

USP

Obrigado!

IEE USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente

FENASAN
Feira Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente

AESABESP 40 Anos

USP