

Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE

Disciplina: Biomassa como Fonte de Energia

Apresentação Pos Doc

Vanessa Pecora Garcilasso

e-mail: vpgarcilasso@hotmail.com

30 de outubro de 2020

Análise ambiental, social e econômica da produção e uso de biogás e biometano a partir de resíduos urbanos

- Concluído em maio/2019
- Objetivos:
 - Panorama do potencial de biogás, biometano e energia proveniente de resíduos urbanos no Estado de São Paulo;
 - Análise dos aspectos sociais, ambientais e econômicos envolvidos;
 - Mapeamento georeferenciado do potencial: aterro sanitário e ETE;
 - Redução das emissões de GEE devido ao uso de biometano nas redes de GN no estado de SP.

Atividades desenvolvidas

- Revisão bibliográfica sobre geração, coleta e tratamento de esgoto sanitário no país, bem como os principais aspectos socioambientais do descarte incorreto de esgoto sanitário;
- Revisão bibliográfica sobre geração, coleta e disposição/tratamento de resíduos sólidos urbanos no país, bem como os principais aspectos socioambientais dos RSU no Brasil;
- Revisão bibliográfica de alternativas existentes para a produção de biogás/biometano;
- Análise dos aspectos ambientais, sociais e econômicos da produção e uso de biogás/biometano proveniente de aterros sanitários e ETE's;
- Mapeamento georreferenciado do potencial de biogás, biometano e potência elétrica proveniente de aterros sanitários e Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's) no Estado de São Paulo;

Atividades desenvolvidas

- Análise de políticas públicas e regulamentações adequadas para promover e organizar a produção e utilização de biogás/biometano no Estado de São Paulo;
- Análise e discussão de barreiras existentes para a implementação da produção de biogás/biometano e sua utilização;
- Elaboração de artigos técnicos para submissão em eventos nacionais e internacionais, e revistas especializadas/periódicos.

Esgoto Sanitário - Aspectos Socioambientais

- Problemas sociais e ambientais associados à falta ou à precariedade do saneamento básico no país: poluição ou contaminação na captação de água para o abastecimento humano, poluição de rios, lagos, lagoas, aquíferos, doenças, erosão acelerada, assoreamento, inundações frequentes, com as consequentes perdas humanas e materiais.
- Lançamento de esgoto nos corpos d'água sem o adequado tratamento: compromete a qualidade da água do corpo receptor, principalmente próximo às áreas urbanas, podendo impactar na saúde da população

Esgoto Sanitário - Aspectos Socioambientais

- Padrões de lançamento de efluente nos corpos d'água são determinados pelas Resoluções:
 - Conama 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes;
 - Conama 430/2011, que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução 357/2005
- Solução: tratamento do esgoto (conforme apresentado na aula anterior)

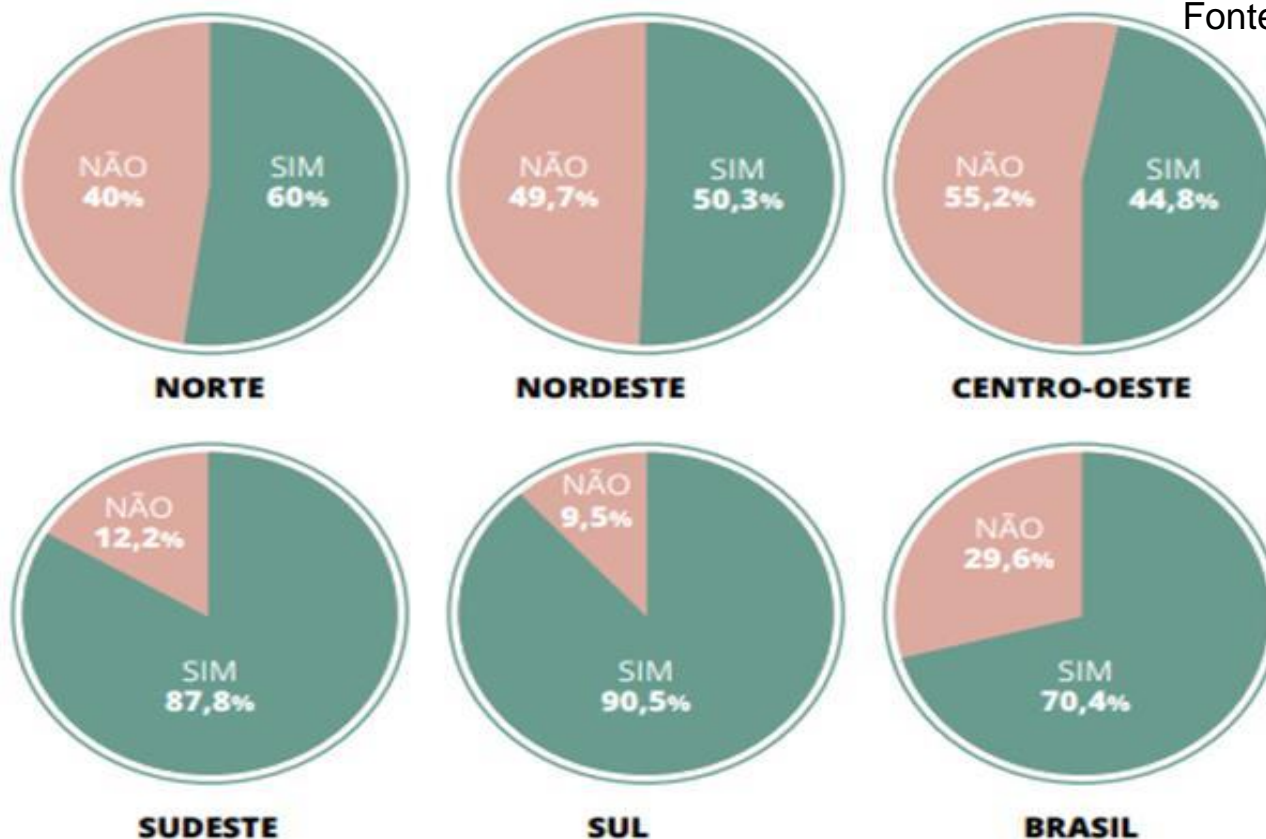
RSU - Aspectos Socioambientais

- O gerenciamento das quantidades cada vez maiores de RSU é um grande desafio, tanto pelos impactos ambientais como pelos impactos na saúde da população
- Infelizmente nem todo o RSU gerado no Brasil é coletado. Além disso, nem todo RSU coletado tem sua destinação correta
- A parcela da população que não é atendida pelo serviço de coleta muitas vezes descarta seus resíduos em lugares inapropriados como em terrenos baldios, praças públicas, rios, etc., ocasionando problemas de saúde da população devido ao aumento de doenças e contaminação das águas

RSU - Aspectos Socioambientais

- Coleta seletiva: De acordo com a Abrelpe (2017), dos 5.570 municípios do Brasil, apenas 3.923 possuem iniciativas de coleta seletiva, o que corresponde a pouco mais de 70% dos municípios

Fonte: ABRELPE, 2017.



RSU - Aspectos Socioambientais

- Índices de reciclagem se mostram estagnados há alguns anos
- Ausência de iniciativas consolidadas para aproveitamento e recuperação da fração orgânica dos RSU



Sobrecarga nos sistemas de destinação final desses resíduos

- Destinação final de RSU: aterro sanitário (ou waste-to-energy – Prof^a Suani)

Biogás e biometano a partir de resíduos urbanos

- A composição do biogás varia de acordo com o substrato a ser degradado e com as condições físicas e químicas que influenciam no processo da biodigestão anaeróbia (média: 60% CH₄, 35% CO₂ e 5% de outros gases)
- O gás metano tem potencial poluidor 21 vezes superior ao dióxido de carbono, o que contribui para o agravamento do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global. Desta forma, quando lançado diretamente para a atmosfera, o metano pode causar grande impacto ambiental

Biogás e biometano a partir de resíduos urbanos

- Importante: aproveitamento energético do biogás. Caso este não seja possível, o metano deve ser queimado em *flare* para que seja convertido em CO₂, mitigando (mas não eliminando) seu potencial de impactos
- O termo biometano é utilizado para identificar a mistura gasosa resultante do processo de limpeza e purificação do biogás, no qual são retirados, principalmente, umidade, CO₂, H₂S e outros contaminantes a nível de traços, aumentando a fração de metano em >95%

Biogás e biometano a partir de resíduos urbanos

- Vantagens do biometano sobre o biogás: possui características físico-químicas semelhantes às do gás natural, fato que o credencia a substituir o GN em seus diversos usos, com a vantagem de ser produzido a partir de matéria orgânica residual e renovável

Potenciais Disponíveis a partir do Tratamento de Esgoto Sanitário em ETE

Município	Total Geral da População (2017)	Esgoto Coletado em 2017	Biogás	Biometano	Potência Elétrica	Energia Elétrica
		(m ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(MW)	(MWh/ano)
São Paulo	12.106.920	703.721.021	38.058.108	27.464.614	111.555	14,98
Guarulhos	1.349.113	78.346.985	4.237.102	3.057.703	12.420	1,67
Campinas	1.182.429	68.832.881	3.722.568	2.686.389	10.912	1,47
São Bernardo do Campo	827.437	47.993.729	2.595.561	1.873.085	7.608	1,02
Santo André	715.231	41.673.421	2.253.750	1.626.418	6.606	0,89
São José dos Campos	703.219	40.796.941	2.206.349	1.592.211	6.467	0,87
Osasco	697.886	40.418.263	2.185.870	1.577.432	6.407	0,86
Ribeirão Preto	682.302	39.770.729	2.150.850	1.552.160	6.305	0,85
Sorocaba	659.871	38.505.637	2.082.433	1.502.787	6.104	0,82
Mauá	462.005	26.867.771	1.453.042	1.048.587	3.549	0,48
% DO TOTAL			43%			

Hipóteses

- Quantidade de esgoto produzido - cálculos realizados a partir da população total de cada município e da produção de esgoto por habitante
- Quantidade de esgoto encaminhado a ETE: cálculos realizados a partir do percentual de esgoto coletado (em relação ao produzido) em cada município
- Quantidade de metano produzido: calculada a partir da quantidade de esgoto coletado e enviado para ETE, da DQO média do esgoto, do potencial de geração de metano e da eficiência de remoção de DQO
- Biogás proveniente do tratamento de esgoto em ETE possui 70% de metano (medições da SABESP, 2018)

Potenciais Disponíveis a partir da Disposição de RSU em Aterro Sanitário

Município	Total Geral da População (2017)	RSU Coletado em 2017	Biogás Captado (75%)	Biometano	Potência Elétrica	Energia Elétrica
		(t/ano)	(Nm ³ /ano)	(Nm ³ /ano)	(MW)	(MWh/ano)
São Paulo	12.106.920	4.849.262	475.252.045	244.975.281	133,63	244.975.281
Guarulhos	1.349.113	539.990	52.921.702	27.279.228	14,88	27.279.228
Campinas	1.182.429	473.843	46.439.016	23.937.637	13,06	23.937.637
São Bernardo do Campo	827.437	331.784	32.516.506	16.761.085	9,14	16.761.085
Santo André	715.231	286.849	28.112.678	14.491.071	7,90	14.491.071
São José dos Campos	703.219	281.834	27.621.168	14.237.716	7,77	14.237.716
Osasco	697.886	277.595	27.205.739	14.023.577	7,65	14.023.577
Sorocaba	659.871	264.700	25.941.906	13.372.117	7,29	13.372.117
Ribeirão Preto	682.302	223.733	21.926.934	11.302.543	6,17	11.302.543
Mauá	462.005	151.404	14.838.391	7.648.655	4,17	7.648.655
% DO TOTAL						49%

Hipóteses

- Cálculos realizados a partir da população total de cada município da média de geração de RSU per capita do Brasil
- Percentual de lixo coletado (em relação ao produzido) em cada município do Estado de São Paulo (Considerou-se que todo o lixo coletado foi encaminhado para aterro sanitário)
- Quantidade de metano produzido: calculada a partir da composição gravimétrica dos RSU e dos dados fornecidos pelo IPCC
- Biogás de aterro sanitário possui 50% de metano
- Eficiência do sistema de extração de biogás de aterro sanitário é da ordem de 75%, ou seja, apenas 75% do biogás produzido no aterro é capaz de ser capturado

Usos finais do biogás e biometano

- O biogás pode ser utilizado para diferentes fins energéticos: produção de eletricidade, fins térmicos, substituição de combustíveis fósseis convencionais em veículos e também injeção em redes de distribuição de gás natural
- Para seus diversos usos finais é necessário que o biogás seja purificado. O tipo de tratamento do biogás depende das suas características e das exigências tecnológicas de aproveitamento energético

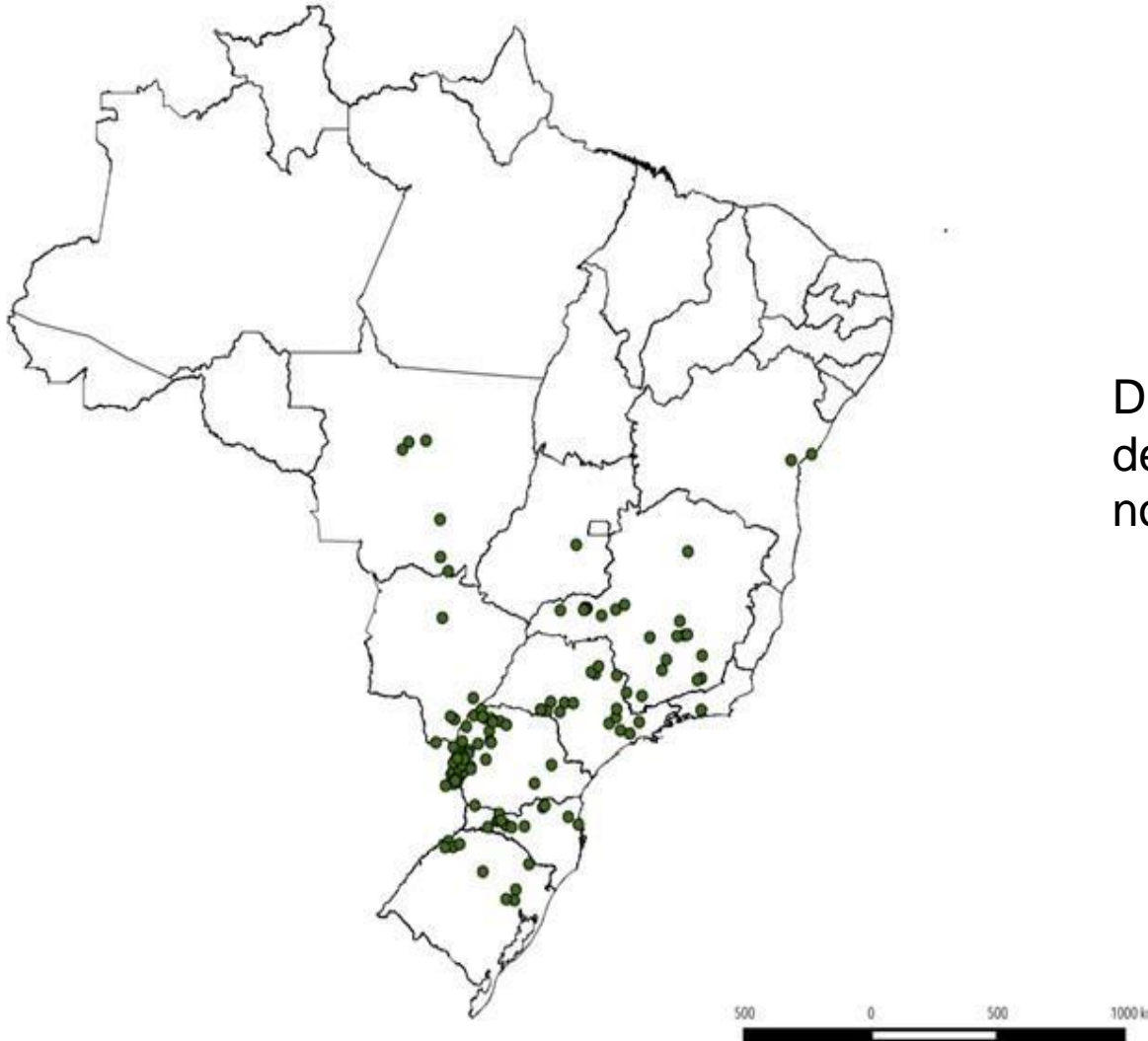
Usos finais do biogás e biometano

- A umidade presente no biogás pode causar a formação de ácidos, que acarretam em corrosão das linhas de gás e de equipamentos. A água condensada nas tubulações também pode ser prejudicial devido a possibilidade de obstrução das linhas de transporte pela formação de gelo quando da existência de altas pressões no processo de transporte do gás
- O H_2S é altamente corrosivo às partes metálicas, como tubulações e equipamentos (motores, compressores, turbinas etc.). Além disso o H_2S é altamente tóxico, mesmo em baixas concentrações como as encontradas no biogás
- A presença de CO_2 na composição do biogás reduz de forma significativa seu poder calorífico

Usos finais do biogás e biometano

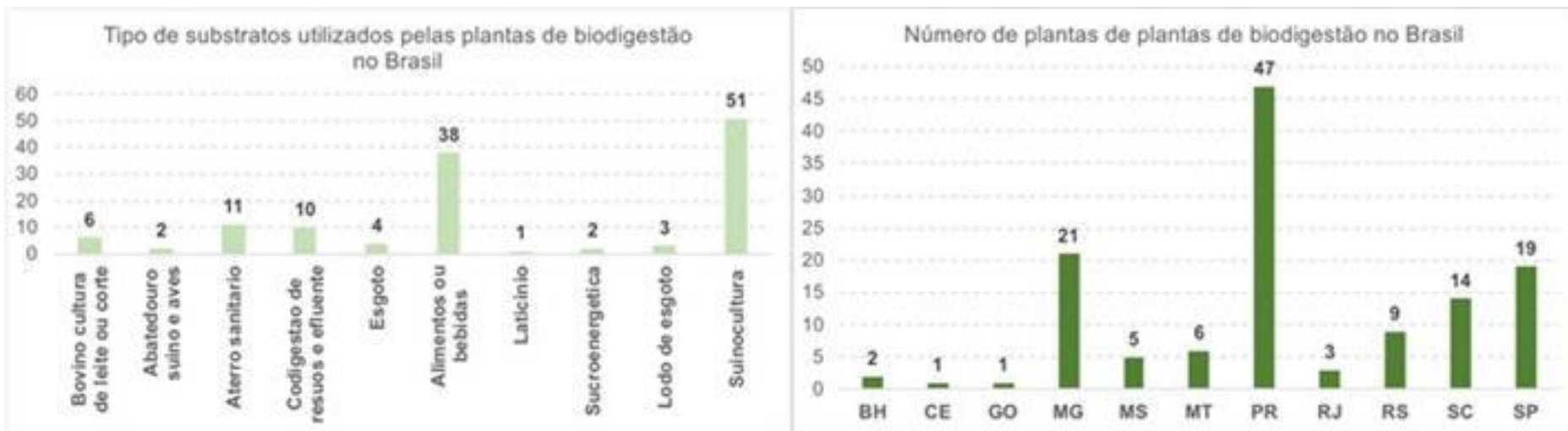
- O Brasil apresenta um cenário ainda tímido para o mercado de biogás e biometano, considerando seu potencial teórico, especialmente quando comparado com a União Européia. Em 2018, o potencial de biogás, segundo a ABIOGÁS (2019), foi de 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano, sendo 41,4 bilhões oriundos do setor sucroenergético, 37,4 bilhões do setor agropecuário e 5,8 bilhões do setor de saneamento
- No Brasil há em operação 128 plantas de produção de biogás que, juntas, produzem cerca de 1,4 milhões de Nm³/dia (511 milhões de Nm³/ano).

Usos finais do biogás e biometano



Distribuição das plantas de produção de biogás no território nacional

Usos finais do biogás e biometano



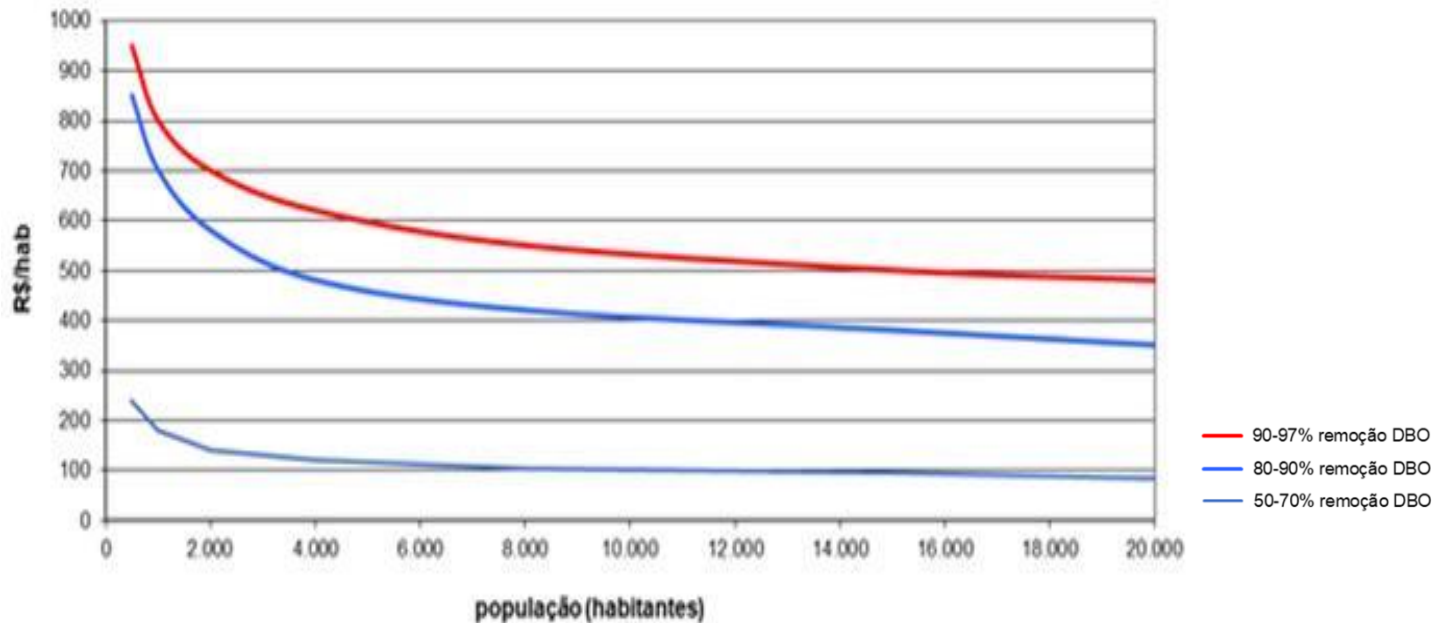
Plantas existentes de biodigestão no Brasil

Usos finais do biogás e biometano

- A produção de biometano no Brasil ainda é muito pequena. Atualmente há apenas seis plantas que totalizam uma produção de, aproximadamente, 100.000 m³/dia. Duas destas plantas produzem o biometano a partir de biogás de aterro sanitário, uma de estação de tratamento de esgoto e três de dejetos suínos
- No que se refere ao uso final do biometano no Brasil, das seis plantas, duas tem certificado da ANP para injeção na rede de distribuição e quatro são para uso veicular.

Aspectos econômicos - ETE

- O custo de implantação de um sistema de digestão anaeróbia depende de uma série de variáveis, tais como carga orgânica biodegradável, temperatura do efluente, nível de compostos que provocam toxicidade e outros.



Aspectos econômicos – Aterro sanitário

- Aterro sanitário – Estudo da FIPE (2017): construção, operação por 20 anos, manutenção, fechamento e pós fechamento por 20 anos, de quatro (4) tipos de aterros

Custo Ponderado de Capital ao ano	Aterro sanitário grande porte (2.000 t/dia)	Aterro sanitário médio porte (800 t/dia)	Aterro sanitário pequeno porte (300 t/dia)	Aterro sanitário porte micro (100 t/dia)
5,32%	85,64	112,60	156,83	269,89

- É importante salientar que não foi considerado nos estudos o aproveitamento energético do biogás, que apesar de importante, sua modelagem seria muito incerta e imprecisa.
- Embora os resultados sejam os preços médios de equilíbrio, estes não devem ser considerados isoladamente nem como fatores determinantes. Para qualquer investimento em aterros sanitários é necessário levar em consideração todas as etapas do ciclo de vida do empreendimento

Aspectos econômicos – Geração de energia elétrica

- A geração de energia a partir do biogás oferece custos evitados de eletricidade proveniente da rede da concessionária local, de calor de processo e também de combustível derivado de petróleo, quando utilizado o biometano para substituí-los

Potência Motor (kVA)	Potência Instalada kW	Estimativa de Geração de Energia			Receita Estimada R\$/mês
		Operação (horas/dia)	Dia	Mês	
30	20	22	440 kWh	13.200 kWh	5.940,00
50	32	22	704 kWh	21.120 kWh	9.504,00
80	55	22	1.210 kWh	36.300 kWh	16.335,00
120	77	22	1.694 kWh	50.820 kWh	22.869,00
330	211	22	4.642 kWh	139.260 kWh	62.667,00
420	260	22	5.720 kWh	171.600 kWh	77.220,00

Receita estimada com a geração de energia elétrica a partir do biogás

Fonte: ER-BR, 2017.

Para a estimativa de geração de energia considerou-se o biogás com 65% de metano. O tempo de operação considerado foi de 22 horas por dia, tempo médio descontando as horas de paradas para manutenções preventivas/corretivas. Para o cálculo da receita estimada considerou-se a tarifa de energia elétrica de 0,45 R\$/kWh.

Aspectos econômicos – Geração de energia elétrica

- A energia elétrica gerada nos sistemas é considerada renovável e pode ser comercializada para a rede de eletricidade. Em muitos casos, essa comercialização é a principal responsável por muitos investimentos em projetos de biogás.

Investimentos em serviços e tecnologias para geração distribuída de energia

Painel para Proteção da Conexão da Energia Gerada Distribuída		Custo do Projeto (R\$)
Painel – Proteção GD – Até 20 kW (30 kVA)	R\$ 38.700,00	R\$ 10.000,00
Painel – Proteção GD – Até 32 kW (50 kVA)	R\$ 42.700,00	R\$ 10.000,00
Painel – Proteção GD – Até 55 kW (80 kVA)	R\$ 45.780,00	R\$ 15.000,00
Painel – Proteção GD – Até 75 kW (120 kVA)	R\$ 53.700,00	R\$ 15.000,00
Painel – Proteção GD – Até 300 kW (420 kVA)	R\$ 63.700,00	R\$ 25.000,00
Painel – Proteção GD – Até 500 kW (geradores em paralelo)	R\$ 95.970,00	R\$ 35.000,00

Fonte: ER-BR, 2017.

Aspectos econômicos – Geração de energia elétrica

Investimentos em R\$ em Grupos Geradores

Grupos Geradores	Filtro – H ₂ S 1500 ppm	Start Up	Total	Custo Geração Distribuída			
Grupos Geradores com Pannel Manual – Operação em Barra Aberta (somente cargas instaladas)							
30 kVA / 20 kW	86.907,00	Master 50	13.700,00	8.700,00	109.307,00	Não	
50 kVA / 32 kW	89.517,00	Master 50	13.700,00	8.700,00	111.917,00	Não	
80 kVA / 55 kW	120.467,00	Master 100	23.700,00	8.700,00	152.867,00	Não	
120 kVA / 75 kW	143.237,00	Master 100	23.700,00	10.700,00	177.637,00	Não	
250 kVA / 160 kW	350.147,00	Master 200	27.700,00	12.700,00	390.547,00	Não	
Grupos Geradores com Pannel Automático e Pannel de Proteção para Geração Distribuída (exportação de energia)						VALOR TOTAL GD	
30 kVA / 20 kW	116.527,00	Master 50	13.700,00	8.700,00	138.927,00	48.700,00	187.627,00
50 kVA / 32 kW	119.517,00	Master 50	13.700,00	8.700,00	141.917,00	48.700,00	190.617,00
80 kVA / 55 kW	142.997,00	Master 100	23.700,00	8.700,00	175.397,00	53.700,00	229.097,00
120 kVA / 75 kW	165.527,00	Master 100	23.700,00	10.700,00	199.927,00	53.700,00	253.627,00
330 kVA / 211 kW	425.757,00	Master 200	27.700,00	12.700,00	466.157,00	88.700,00	554.857,00
420 kVA / 260 kW	537.700,00	Master 200	27.700,00	12.700,00	578.100,00	88.700,00	666.800,00

Fonte: ER-BR, 2017.

Aspectos econômicos – Geração de energia elétrica

Custo de Manutenção

Modelo	Custo Hora
30 kVA / 20 kW	R\$ 1,74
50 kVA / 32 kW	R\$ 1,88
80 kVA / 55 kW	R\$ 2,22
120 kVA / 75 kW	R\$ 3,32
330 kVA / 211 kW	R\$ 9,29
420 kVA / 260 kW	R\$ 9,29

*Custos de peças originais com 20% de mão-de-obra

**Os custos apresentados contemplam uma média dos custos operacionais incluindo o manutenção programada que deve ocorrer a partir de R\$ 24.000 horas de operação

Aspectos econômicos – Geração de energia elétrica

Custos das microturbinas de acordo com as potências disponíveis comercialmente

Modelo	Valor (US\$)
C30 – 30 kW	98.000,00
C65 – 65 kW	150.000,00
C200S – 200 kW	350.000,00
C600S – 600 kW	850.000,00
C800S – 800 kW	1.050.000,00
C1000S – 1000 kW	1.275.000,00

*Os valores já incluem compressor e não incluem os valores de frete, impostos, instalação e sistema de purificação do biogás para adequá-lo às necessidades das microturbinas. Esses valores não inclusos variam caso a caso e dependem das necessidades do projeto.

O custo de operação e manutenção das microturbinas, depende do regime de operação e tamanho do sistema. Entretanto, pode-se considerar R\$ 45,00 por MWh gerado como um valor referencial, sem manutenção programada

Aspectos econômicos – *Upgrading* do biogás

- Os custos de investimento para uma planta transformação de biogás em biometano (*upgrading* do biogás) tem relação direta com a composição de entrada e a composição de saída do processo e com os volumes tratados, uma vez que o custo de investimento específico diminui com o aumento da capacidade e é diretamente proporcional com os requisitos de qualidade.
- Os custos operacionais de uma planta de produção de biometano são afetados pelo consumo de energia, que depende da tecnologia empregada, dos insumos necessários e da mão de obra necessária. Por exemplo, a necessidade média de energia no *upgrading* por Nm^3 de biogás processado é em torno de 0,2-0,3 kWh de eletricidade. Entretanto, dependendo da tecnologia a ser empregada, pode requerer menos ou mais energia elétrica

Aspectos econômicos – *Upgrading* do biogás

- A comparação entre os custos das tecnologias de limpeza e purificação de biogás devem ser realizadas em projetos específicos, considerando aspectos próprios do projeto como escala, necessidade de pré-tratamento, consumo de energia, volume de biogás a ser purificado, características do biogás etc

Aspectos econômicos – *Upgrading* do biogás

	Lavagem com água	Lavagem física com solvente orgânico	Amina	PSA	Membrana
	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
Investimento típico US\$/(Nm³/h) de biometano					
100 Nm ³ /h biometano	11.850	11.140	11.140	12.200	8.650 - 8.910
250 Nm ³ /h biometano	6.450	5.860	5.860	6.330	5.512 - 5.746
500 Nm ³ /h biometano	4.100	4.100	4.100	4.340	4.100 - 4.340
Custo operacional típico US\$/(Nm³/h) de biometano					
100 Nm ³ /h biometano	16,42	16,20	16,90	15,00	12,70 - 18,53
250 Nm ³ /h biometano	12,00	12,00	14,10	11,90	9,00 - 13,61
500 Nm ³ /h biometano	10,70	12,00	13,10	10,80	7,62 - 11,85

Considerações Finais

- Biogás – conjunto de vantagens ambientais e energéticas, uma vez que pode ser obtido a partir do tratamento de resíduos provenientes de áreas rurais e urbanas, auxiliando no gerenciamento desses resíduos;
- Além de ser um combustível renovável, seu uso permite a redução do consumo de combustíveis fósseis, como o gás natural, e ainda pode ser utilizado de forma descentralizada, o que contribui para o gerenciamento do sistema energético;
- Considerando o potencial de energia elétrica disponível a partir dos resíduos urbanos no Estado de São Paulo, calculado neste trabalho, seria possível suprir 2,35% da energia elétrica consumida no estado em 2017;

Considerações Finais

- Existe um potencial ainda maior de energia elétrica disponível a partir de biogás proveniente de outras fontes, como: resíduos animais (criação e abate), resíduos agroindustriais, como é o caso da vinhaça no setor sucroalcooleiro, e resíduos provenientes das indústrias de alimentos e bebidas. Entretanto, as dificuldades encontradas atrasam o crescimento e a consolidação da geração de energia a partir do biogás no país;
- Quanto ao biometano disponível a partir dos resíduos urbanos no Estado de São Paulo, calculado neste trabalho, seria possível suprir 16,3% do gás natural consumido no estado em 2017.

Considerações Finais

- Barreiras significativas para se alcançar a atratividade do biogás como fonte energética no Brasil:
 - Falta de apoio público para o desenvolvimento do mercado de biogás no país;
 - Alto custo de investimento (muitas vezes devido aos equipamentos importados), receita esperada pela venda de energia elétrica (o preço da energia gerada pelo biogás é elevado, tornando esse combustível menos competitivo que as fontes de energia atualmente utilizadas) e o alto custo para *upgrading* do biogás, trazem uma relação incerta entre o custo do projeto e seu benefício comercial;
 - Falta de pesquisa e desenvolvimento técnico aplicado. O Brasil carece de dados adequados de desempenho ambiental, técnico e econômico relacionados à produção de energia, co-produtos, emissões de gases de efeito estufa e outras emissões dos sistemas de produção e uso de biogás e biometano.

Considerações Finais

- Alcançar todo o potencial de produção e uso de biogás no país exige apoio de agencias federais, maior investimento, ampliação de mercado nacional e maior pesquisa e desenvolvimento;
- Necessidade de reduzir as barreiras e promover oportunidades, principalmente financeiras, para alavancar o desenvolvimento sustentável deste combustível no Brasil.

APRESENTAÇÃO DOS MAPAS INTERATIVOS

www.iee.usp.br/gbio

“Waste to Energy” - Aproveitamento Energético dos RSU no Estado de São Paulo perante a Política Nacional de Resíduos Sólidos

- Início em fevereiro/2020 – conclusão prevista para janeiro/2022
- Tem como objetivo desenvolver um estudo geral sobre o aproveitamento energético dos RSU, analisar os aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos, além de discutir as barreiras existentes para o aproveitamento energético dos RSU no Estado de São Paulo.
- Prevê identificar e analisar a situação atual dos RSU no Estado perante a PNRS, bem como analisar as tecnologias e métodos disponíveis para o aproveitamento energético dos RSU a partir da incineração, gaseificação e do tratamento anaeróbico da fração orgânica dos RSU.

“Waste to Energy” - Aproveitamento Energético dos RSU no Estado de São Paulo perante a Política Nacional de Resíduos Sólidos

- Estimar e localizar o potencial energético dos RSU a partir das tecnologias selecionadas, bem como indicar a tecnologia mais adequada para cada município do Estado de São Paulo, incluindo a viabilidade de instalação e operação dos sistemas.
- O potencial energético dos RSU a partir da incineração, gaseificação e do tratamento anaeróbio da fração orgânica dos RSU do Estado de São Paulo será representado espacialmente por meio de mapas georreferenciados e será parte integrante do Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo (Projeto P&D ANEEL/CESP PD 00061-0057/2017).
- Pesquisa prevê também uma análise da redução de emissões de gases de efeito estufa pela substituição de combustíveis fósseis, bem como análise dos possíveis usos do CO₂ proveniente da produção de biometano.