



BIOGÁS NO BRASIL

Potencial de descarbonização
a curto prazo

Este documento é um produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP) do governo britânico e executado por um consórcio de organizações liderado pela *Adam Smith International* (ASI) e com a participação do Instituto 17 (i17), *Carbon Limiting Technologies* (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Para mais informações, acesse:

<https://www.ukbrep.org/pt/home> e <http://i17.org/>



Adam Smith
International



Instituto 17



EQUIPE TÉCNICA PROGRAMA DE ENERGIA PARA O BRASIL:

Diretores de Programa: Clarissa Vargas (FCDO-UK) / Zane Kanderian (ASI)

Gerentes de Programa: Louise Hill (FCDO-UK) / Fernanda Guedes (ASI)

Diretor Técnico: Gilberto de Martino Jannuzzi (ASI)

Conselheira Estratégica: Elbia Gannoum (ASI)

Coordenação Técnica: Alessandro Sanches Pereira (i17)

Líder em Aproveitamento Energético de Resíduos: Leidiane Ferronato Mariani (i17)

Líder da equipe: Vanice Helen Nakano (i17)

Responsável técnico: Karina Guedes Cubas Amaral (i17) / Marcela Valles Lange (i17)

Equipe técnica do i17: André Cestonaro do Amaral, Brenda Monteiro Rodrigues, Gladis Maria Backes Bühring, Jessica Yuki de Lima Mito, Maria Eduarda Cação Rosa, Patrícia Maehata, Renata Seganfredo Cavaignac e Yara Jurema Barros

Revisoras do ASI: Luiza Bazan (Gerente de Monitoramento e Avaliação), Suzanne Maia (Conselheira em Inclusão Social e Igualdade de Gênero) e Marta Telles (Gerente de Comunicação e Inclusão)

Revisora editorial: Claudete Debértolis Ribeiro

Projeto gráfico e editoração: TXT Conteúdo e **dad**esign

EQUIPE TÉCNICA DA EMBRAPA SUÍNOS E AVES:

Equipe técnica: Airton Kunz, Camila Ester Hollas, Martha Mayumi Higarashi e Ricardo Luís Radis Steinmetz

Informações Legais

- Essa publicação está sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](#).
- Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelos autores. Nem Instituto 17 ou os autores podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante de eventuais erros, imprecisões ou omissões de informações nele presentes.
- A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o Instituto 17 seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito do Instituto 17.

Ficha catalográfica:

Instituto 17

Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização a curto prazo. Programa de Energia para o Brasil – BEP (Brasil). Relatório técnico 01-2022. São Paulo/SP: Instituto 17, 2022.

Biogas in Brazil: Short-term decarbonisation potential. Brazil Energy Programme – BEP (Brazil). Technical report 01-2022. São Paulo: Instituto 17, 2022.

148 p. il. color.

ISBN 978-65-997883-8-3

1. Energia; 2. Descarbonização. 3. Biogás. 4. Transição energética.
5. Mudanças climáticas. 6. Avaliação do Ciclo de Vida



PREFÁCIO

Em resposta aos desafios gerados pelas mudanças climáticas, muitos países vêm construindo narrativas que têm evidenciado que as implicações destes podem ser traduzidas em termos de oportunidades, riscos e benefícios, tendo, como base, as prioridades e as condições internas de cada território. Dentre as múltiplas perspectivas que se tem vislumbrado, nesse sentido, a transição energética para uma economia inclusiva de baixo carbono é um recurso que se destaca e desponta como consenso.

O Programa de Energia para o Brasil (BEP) insere-se como uma contribuição valiosa no contexto de uma iniciativa coletiva ampla, pois envolve várias instituições e atores, cujo objetivo comum é propiciar a evolução da governança e da qualidade das informações disponíveis sobre transição energética, em um ambiente em que o aproveitamento energético de resíduos é fator fundamental para o sucesso da estratégia de desenvolvimento nacional, de forma sustentável.

A realização da parceria Brasil-Reino Unido, por meio do BEP, possibilitou uma troca de conhecimentos e experiências sobre o uso do biogás produzido a partir do aproveitamento energético de resíduos, os quais são apresentados na série “BIOGÁS NO BRASIL”, em cinco volumes. Nesse contexto, o BEP assume papel relevante como indutor do desenvolvimento de informações nacionais para o aproveitamento do biogás, o que possibilita um retorno positivo para o setor energético do Brasil, em função do potencial de incremento para a viabilidade técnica e econômica das plantas e instalações de aproveitamento energético de resíduos.

O BEP, que a EPE se orgulha por ter apoiado, constitui o início de uma jornada da maior relevância para que o Brasil possa ser protagonista no contexto da transformação energética nacional para uma economia inclusiva de baixo carbono. Considero de alta relevância o engajamento e a articulação institucional do MME, EPE, ANP, ANEEL e MAPA, além de outras entidades públicas, nesse processo. Cada uma dessas instituições trabalha no âmbito de suas competências, mas dialoga abertamente com as demais, incluindo o setor privado, e foi essa sinergia que permitiu ao BEP constituir-se como um projeto bem-sucedido em fazer avançar uma maior integração e compreensão dos dados sobre energias limpas ou sustentáveis, especialmente, sobre biogás.

Thiago Barral

Presidente

Empresa de Pesquisa Energética



APRESENTAÇÃO

Como parte do apoio do Programa de Energia para o Brasil (BEP) do governo britânico ao processo de transição energética do Brasil para uma economia inclusiva de baixo carbono, a frente de Aproveitamento Energético de Resíduos (*Waste to Energy*), liderada pelo Instituto 17, tem avançado na contribuição ao desenvolvimento do setor. O BEP é implementado pelo consórcio liderado pela *Adam Smith International*, em parceria com o Instituto 17, *Carbon Limiting Technologies*, hubz e Fundação Getúlio Vargas.

Ao longo do primeiro ano de implementação do BEP (julho/2020 a julho/2021), foi dado um enfoque especial ao estudo e proposições para o setor de biogás do país. Dentre os resultados obtidos estão:

1. Estimativa do potencial de biogás do Brasil, a curto prazo, para pecuária, indústria e saneamento.
2. Geração de indicadores ambientais e sociais do setor baseados em casos reais, com base na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental.
3. Geração de indicadores econômicos de casos de biogás baseados em dados reais, com base na metodologia de análise de viabilidade econômica.
4. Criação e aplicação de metodologia multicritério para análise e definição de modelos de negócio para o desenvolvimento sustentável.
5. Análise de barreiras ao desenvolvimento do setor de biogás, validação por meio de pesquisa de opinião com atores do setor e proposição de possíveis meios para superação das barreiras levantadas.
6. Desenvolvimento de *White Paper* e Análise de Impacto Regulatório para a regulação de biometano no nível estadual.

Dessa forma, esta publicação apresenta os resultados relacionados à estimativa de potencial de descarbonização do Brasil por meio do setor de biogás do país, com base em casos reais, baseada na Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental.



AGRADECIMENTOS

As instituições partes do consórcio de implementação do Programa de Energia para o Brasil (BEP): Adam Smith International, Carbon Limiting Technologies, hubz e Fundação Getúlio Vargas e, em especial, o Instituto 17, responsável pela execução do componente de Aproveitamento Energético de Resíduos do BEP, agradecem ao governo do Reino Unido pelo financiamento e confiança na execução do Programa.

Também estendem o agradecimento às instituições que apoiaram a elaboração desse estudo: Cerâmica Stein e Granja Romário Schaefer, Auma Energia, Grupo Fortaleza de Santa Teresinha Agricultura e Pecuária do Grupo ARG, EnerDinBo, Condomínio de Entre Rios do Oeste – PR e 3Di Engenharia, Agropecuária e Fazenda Vale do Jotuva, Luming Inteligência Energética, Grupo Cocal, CS Bioenergia, Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Embrapa Suínos e Aves, Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás), Associação Brasileira de Biogás (ABiogás), INCT ETEs Sustentáveis e GEF Biogás Brasil - projeto liderado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e implementado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), tendo como Comitê Diretor do Projeto o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás), Itaipu Binacional, Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério do Meio Ambiente (MMA), e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Devem ser também destacados, aqui, todos os membros da equipe de Aproveitamento Energético de Resíduos do BEP, os quais, durante a execução do projeto, dedicaram seu tempo e conhecimento para a elaboração de uma análise de excelência técnica e relevância social. Muito obrigado a todos e a todas.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO POTENCIAL DE DESCARBONIZAÇÃO	13
2 CONTRIBUIÇÃO A CURTO PRAZO DO BIOGÁS PARA A DESCARBONIZAÇÃO BRASILEIRA	15
3 AVALIAÇÃO DE ESTUDOS DE CASOS REAIS NA PECUÁRIA	20
3.1 Suinocultura	21
3.2 Bovinocultura de corte	26
3.4 Ovinocultura	36
4 AVALIAÇÃO DE CASOS REAIS NA INDÚSTRIA	41
4.1 Indústria cervejeira	41
4.2 Sucroenergética	46
5 AVALIAÇÃO DE CASOS REAIS NO SANEAMENTO	52
5.1 Estação de Tratamento de Esgoto	52
5.2 Resíduos Sólidos Urbanos	58
6 REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE I	65
METODOLOGIA APLICADA À AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	65
APÊNDICE II	76
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE SUINOCULTURA	76
APÊNDICE III	78
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE BOVINOCULTURA	78

APÊNDICE IV	82
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE OVINOCULTURA	82
APÊNDICE V	84
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA PARA EFLUENTE DE CERVEJARIA	84
APÊNDICE VI	85
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO	85
APÊNDICE VII	87
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE ESGOTO	87
APÊNDICE VIII	89
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA PARA RESÍDUO SÓLIDO URBANO	89
APÊNDICE IX	91
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE SUINOCULTURA	91
APÊNDICE X	94
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE BOVINOCULTURA	94
APÊNDICE XI	96
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE OVINOCULTURA	96
APÊNDICE XII	97
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE EFLUENTE DE CERVEJARIA	97

APÊNDICE XIII	98
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO	98
APÊNDICE XIV	100
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE ESGOTO	100
APÊNDICE XV	102
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO	102
APÊNDICE XVI	103
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE SUINOCULTURA	103
APÊNDICE XVII	106
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – GRANJA ROMÁRIO SCHAEFER	106
APÊNDICE XVIII	108
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – FAZENDA RECANTO 1	108
APÊNDICE XIX	110
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – FAZENDA RECANTO 2	110
APÊNDICE XX	112
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – ENERDINBO	112
APÊNDICE XXI	114
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – CONDOMÍNIO ENTRE RIOS DO OESTE	114

APÊNDICE XXII	116
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE BOVINOCULTURA	116
APÊNDICE XXIII	120
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA BOVINOCULTURA DE CORTE – FAZENDA SANTA MÔNICA	120
APÊNDICE XXIV	122
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA PECUÁRIA DE LEITE – FAZENDA VALE DO JOTUVA	122
APÊNDICE XXV	124
INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE OVINOCULTURA	124
APÊNDICE XXVI	126
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA OVINOCULTURA – FAZENDA SANTA TERESINHA	126
APÊNDICE XXVII	128
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE EFLUENTE DE CERVEJARIA	128
APÊNDICE XXVIII	129
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE CERVEJARIA	129
APÊNDICE XXIX	131
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO	131

APÊNDICE XXX	133
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SUCROENERGÉTICA – USINA COCAL	133
APÊNDICE XXXI	135
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE ESGOTO	135
APÊNDICE XXXII	138
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ESGOTO DOMÉSTICO – ETE SANEPAR	138
APÊNDICE XXXIII	140
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO	140
APÊNDICE XXXIV	142
RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E LODO DE ETE – CS BIOENERGIA	142
APÊNDICE XXXV	144
INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO MIX DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA E BIOMETANO DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO	144
APÊNDICE XXXVI	146
EMISSÕES POTENCIALMENTE EVITADAS DE GEE NO BRASIL A CURTO PRAZO POR TIPO DE SUBSTRATO	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOGÁS	Associação Brasileira do Biogás
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BEP	<i>Brazil Energy Programme</i>
CH₄	Metano
CIBiogás	Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
COP26	26ª Convenção das Partes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
GEE	Gases causadores de Efeito Estufa
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
H₂S	Sulfeto de hidrogênio
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MJ	Megajoule
MP	Materiais particulados
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NH₃	Amônia
NMHC	Hidrocarbonetos não metânicos (do inglês: <i>non-methane hydrocarbons</i>)
NOx	Óxidos de nitrogênio
N₂O	Óxido nitroso
NO	Óxido nítrico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SO₂	Dióxido de enxofre
SV	Sólidos voláteis
t	Tonelada
t_{CH₄}	Toneladas de CH ₄
tkm	Tonelada-quilômetro
UF	Unidade Funcional
UK	Reino Unido (<i>United Kingdom</i>)
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

1

CONTEXTUALIZAÇÃO DO POTENCIAL DE DESCARBONIZAÇÃO

O crescimento do uso energético do biogás tem sido evidente no Brasil. Em 2020, observou-se um aumento de 23% no volume de biogás produzido e de 22% na quantidade de plantas em operação, em comparação ao ano de 2019, o que evidencia que um total de 1,8 bilhão de m³ de biogás tem sido produzido, ao ano, nessas unidades (CIBIOGÁS, 2021). Contudo, o país tem potencial para produzir 10,9 bilhões de m³ de biogás para aproveitamento a curto prazo (INSTITUTO 17, 2021). Este potencial a curto prazo¹ considera os resíduos disponíveis de forma concentrada e facilmente acessíveis para uso no processo de digestão anaeróbia e a existência de poucas barreiras tecnológicas para a viabilização do uso do resíduo para a produção de biogás. Assim, são resíduos com potencial para serem aproveitados no prazo de até 5 anos, no Brasil.

A produção local de biogás como fonte de energia pode contribuir para a redução das emissões provenientes do transporte de combustíveis, para a destinação a um tratamento mais adequado dos resíduos e para a melhoria da qualidade de vida da população local, por reduzir o odor e substituir a lenha para cocção no ambiente doméstico (ABiogás, 2018). Além disso, o biogás promove o fortalecimento do cooperativismo e outras colaborações em âmbito local e regional, como, por exemplo, a criação de centrais de tratamento, que reúnem resíduos de propriedades ou municípios próximos.

¹ Para conferir os resultados completos do potencial a curto prazo no Brasil, acesse a publicação [Biogás no Brasil: Potencial a curto prazo](#).

A produção e o uso energético do biogás possibilitam a efetivação de modelos de negócios que promovem maior competitividade e auxiliam no desenvolvimento territorial e na redução de impactos ambientais, além de terem potencial para contribuir na caminhada rumo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)², agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, em 2015. Dessa forma, na busca por tecnologias mais sustentáveis para a geração de energia, torna-se importante a análise e a disponibilização de dados sobre os impactos ambientais de projetos de biogás no Brasil. Assim, este relatório apresenta os resultados da parceria realizada entre o BEP e os empreendimentos reais, que operam plantas de biogás nos setores da pecuária, indústria e saneamento, visando quantificar a pegada de carbono³ das atividades produtoras de biogás, estejam elas associadas ao aproveitamento do biogás para a geração de eletricidade ou de biometano, e compará-las às do cenário de não aproveitamento energético, a fim de indicar potenciais benefícios para a descarbonização⁴ (ABNT ISO, 2015).

A quantificação foi efetuada baseada na técnica de Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental (ACV), que permite considerar os potenciais impactos associados aos aspectos ambientais de um produto, com base em uma visão sistêmica que inclui esses aspectos desde a extração da matéria-prima até a disposição final de resíduos.

Consideraram-se, neste estudo, as entradas de matéria e energia e as saídas (emissões para a água, o ar e o solo), desde a entrada do resíduo no sistema de tratamento até a disposição final de todos os resíduos pós-tratamento, incluindo os subprodutos gerados e o impacto evitado por esses últimos, quando dotados do potencial de substituir outros produtos existentes, com a mesma função. A metodologia aplicada e as características das propriedades podem ser consultadas no **Apêndice I**. Os resultados são apresentados via impactos em termos absolutos e relativos, na comparação entre cenários reais e hipotéticos.

² Principalmente os ODS7 sobre energia limpa e acessível, ODS6 sobre o acesso à água potável e saneamento e ODS13 relacionado com a ação contra a mudança global do clima.

³ A pegada de carbono é definida como a quantidade total de emissões de Gases de Efeito Estufa que são emitidas, de maneira direta ou indireta, por um determinado produto, ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até seu descarte final (ABNT ISO, 2015).

⁴ Considera-se descarbonização a diferença entre o que é emitido no cenário tradicional e o emitido no cenário com produção e uso energético do biogás nas unidades analisadas, ou seja, a quantidade reduzida/evitada de emissões em CO₂ equivalente.

2

CONTRIBUIÇÃO A CURTO PRAZO DO BIOGÁS PARA A DESCARBONIZAÇÃO BRASILEIRA

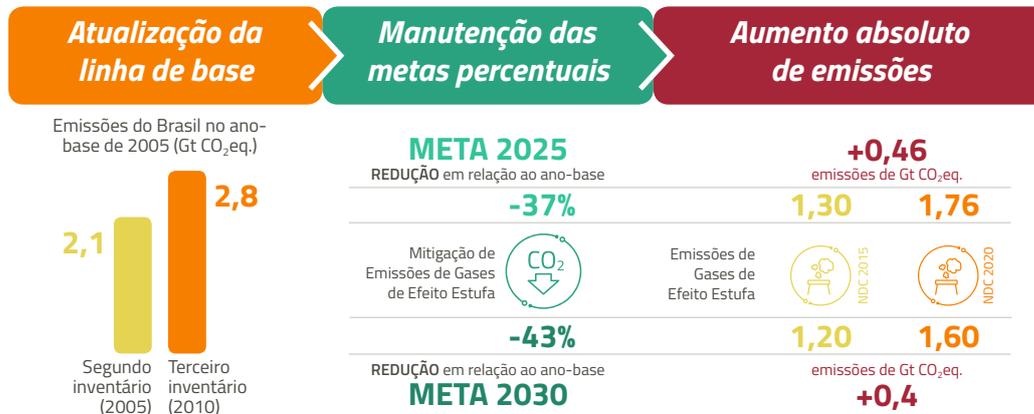
O Brasil celebrou, em 2015, o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e, em 2016, foi ratificada sua primeira Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). Em 2020, como forma de revisar os compromissos individuais de redução de emissões firmados, o país manteve a meta relativa para 2025 de redução de 37% das emissões de Gases causadores do Efeito Estufa (GEE), em relação aos níveis de 2005, e assumiu como meta para 2030 a redução de 43% em relação a 2005, o que antes era apenas uma indicação. Também alterou a referência das emissões do ano-base 2005, que era de 2,1 Gt CO₂eq. na primeira NDC, para 2,8 Gt CO₂eq. As metas absolutas de emissão passaram para 1,8 Gt CO₂eq. em 2025 e 1,6 Gt CO₂eq. em 2030.

O ministro do Meio Ambiente, Joaquim Leite, anunciou, no dia 01 de novembro de 2021, em evento em Brasília, transmitido para o pavilhão brasileiro na 26^a Convenção das Partes (COP26), em Glasgow, a revisão da meta brasileira de redução das emissões de GEE. Conforme anúncio, a meta passará de uma redução de 43% para 50% até 2030. As metas absolutas ainda não foram anunciadas, mas o Ministro indicou que adotará o conjunto de dados presente no Quarto Inventário Nacional de Emissões como base para cálculo. Assim sendo, as emissões, em 2005, podem ser consideradas como 2,4 Gt CO₂eq., segundo a métrica GWP-SAR⁵, ou 2,6 Gt CO₂eq., segundo a métrica GWP-AR5⁶. Uma redução de 50% significaria, portanto, que o país almeja alcançar um patamar de 1,2 Gt CO₂eq. ou 1,3 Gt CO₂eq. em 2030 dependendo da métrica utilizada, valores ainda um pouco maiores do que os prometidos na primeira NDC de 2015 (ver **Figura 1**).

⁵ GWP-SAR (Global Warming Potential – Second Assessment Report): o Potencial de Aquecimento Global, publicado pelo IPCC, em 1996, considera a força radiativa do gás após sua emissão, em um horizonte temporal de cem anos, e o efeito combinado da permanência do gás na atmosfera.

⁶ GWP-AR5 (Global Warming Potential – Fifth Assessment Report): ao publicar, em 2014, utilizando a ciência mais atualizada disponível, o IPCC adotou novos valores de conversão para cada gás, seguindo o princípio do GWP.

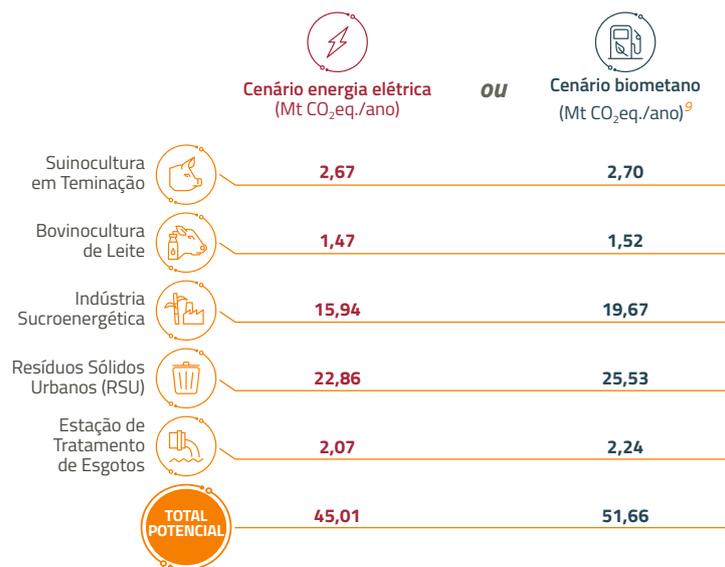
Figura 1
Metas de emissões do Brasil para os anos de 2025 e 2030 de acordo com as NDCs.



Fonte: (WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL, 2021).

Com o objetivo de identificar a potencial contribuição do biogás para o alcance das metas comprometidas pelo Brasil no acordo de Paris, foram realizadas projeções do potencial de redução de GEE em nível nacional e dos estados, utilizando-se os dados de geração de resíduos por atividade⁷ e extrapolando-se os valores de redução de CO₂eq. dos casos reais analisados. Na **Figura 2**, são apresentados os valores estimados de potencial de descarbonização por meio do biogás. O **Apêndice XXXVI** apresenta esses resultados detalhados por estado do Brasil.

Figura 2
Potencial de descarbonização do Brasil pelo biogás.⁸



⁷ Cabe ressaltar que a extrapolação, em nível de Brasil, considerou os substratos da suínocultura em terminação, bovinocultura de leite, usina sucroenergética, esgoto e resíduos sólidos urbanos, pois foram as atividades analisadas por meio do levantamento apresentado na publicação de Biogás no Brasil: Potencial a curto prazo [Biogás no Brasil: Potencial a curto prazo](#).

⁸ Potencial de descarbonização a curto prazo, que considera os resíduos com potencial para serem aproveitados no prazo de até 5 anos, no Brasil.

⁹ Transformações de unidade de medida: 1 Gt = 1.000 Mt = 1.000.000.000 t.

O setor que apresenta um maior potencial de redução das emissões de GEE é o de resíduos sólidos urbanos, com um potencial de redução de 22,86 Mt CO₂eq./ano para o cenário energia elétrica ou 25,53 Mt CO₂eq./ano para o cenário biometano. Os estados que possuem o maior potencial de redução são os estados de São Paulo, representando 37,52% do potencial, sendo 16,72 Mt CO₂eq./ano ou 19,56 Mt CO₂eq./ano; Minas Gerais, representando 14,56%, com 6,60 Mt CO₂eq./ano ou 7,47 Mt CO₂eq./ano; e Rio de Janeiro, representando 7,26%, com 3,32 Mt CO₂eq./ano ou 3,71 Mt CO₂eq./ano, em função da maior geração de resíduos sólidos urbanos orgânicos.

A pecuária (suinocultura e bovinocultura de leite) apresenta um potencial de redução de 4,14 Mt CO₂eq./ano para o cenário eletricidade e 4,22 Mt CO₂eq./ano para o cenário de biometano. Ao se avaliar os substratos investigados, o somatório dos valores anuais de redução totaliza 45,01 Mt CO₂eq. no cenário de energia elétrica ou 51,66 Mt CO₂eq. no cenário biometano, o que representa 4,34% (cenário energia elétrica) ou 4,99% (cenário biometano) da meta estipulada na NDC de 2020 para 2025. Com relação à meta estipulada para 2030, a descarbonização representa 3,74% da meta no cenário energia elétrica ou 4,29% no cenário biometano.

Se forem consideradas as informações anunciadas sobre a revisão da NDC na abertura da COP26, pelo governo federal, os valores anuais de redução representariam 3,75% (cenário energia elétrica) ou 4,31% (cenário biometano) da meta estipulada para 2030, caso a base de cálculo seja o GWP-SAR, e 3,46% (cenário energia elétrica) ou 3,97% (cenário biometano) da meta estipulada para 2030, caso a base de cálculo seja o GWP-AR5.

Ainda na COP26, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir as emissões de metano (CH₄) em 30% até 2030. O Brasil está entre os signatários do “Compromisso Global de Metano”¹⁰, juntamente com um grupo de 103 países, em um esforço liderado pelos Estados Unidos e pela União Europeia (UE). A emissão de tCH₄ do Brasil, em 2020, foi de 20,24 milhões de toneladas. A redução firmada seria de 6,07 milhões de tCH₄. Mediante os inventários realizados, estimou-se que a redução de emissão de CH₄, nos cenários-base, foi de 1,21 milhão de toneladas para o cenário energia elétrica ou 1,01 milhão de toneladas para o cenário biometano, o que representa 20% ou 17% da meta brasileira de redução, respectivamente. Assim, é possível observar o benefício do aproveitamento energético dos resíduos, por meio do potencial de descarbonização.

¹⁰ Mais informações em: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/new-global-methane-pledge-aims-tackle-climate-change>.

Existem, ainda, inúmeros benefícios nas esferas ambiental, social e econômica. Na esfera econômica, as oportunidades de substituir combustíveis convencionais, de gerar energia descentralizada e de integração a micro-grids são mencionadas. Adicionalmente, a adoção de tecnologias de biodigestão de resíduos cria um ambiente para a interação entre indústrias e promove oportunidades para empresas nacionais, em serviços, produtos, capacitação de profissionais, instalação, operação, manutenção e fornecimento de equipamentos. Além disso, há contratação em níveis locais e regionais, o que contribui para o desenvolvimento local e impacta positivamente o sistema tributário, graças à criação de empregos e a uma maior arrecadação de impostos (ABCP, 2019; ABIOGÁS, 2018). Nesse sentido, essa demanda por mão de obra especializada pode ser um indutor para o desenvolvimento local e para a oferta de treinamentos e de capacitação profissional.

No que diz respeito aos aspectos sociais, é preciso reconhecer que o uso das energias renováveis representa uma oportunidade de contribuir para a efetivação da igualdade de gênero e da inclusão social – não só em ambientes diretamente ligados à produção desse tipo de energia, mas, também, em outras cadeias produtivas, como fornecedores¹¹ e consumidores finais da fonte, que experimentam os impactos (direta ou indiretamente) desse uso. Tecnologias de produção de biogás, como o biodigestor sertanejo, são alternativas que empoderam mulheres ao colocá-las como atores principais no processo de produção de energia, possibilitando iniciativas de empreendedorismo e independência financeira e familiar, ao substituir o calor gerado pela lenha pelo biogás.

¹¹ Trata-se de fornecedores de produtos, serviços e de substratos para os geradores de energia.

O setor de energias renováveis, especificamente – categoria na qual se encontra o biogás – tem absorvido profissionais mulheres de maneira mais ampla do que o setor de combustíveis fósseis. O setor de combustíveis fósseis tem 22% de presença feminina, ao passo que os de energias renováveis apresentam 32% (IRENA, 2019). Iniciativas recentes, vindas da sociedade civil, buscam criar redes de conexão entre mulheres que trabalham no setor de biogás e mulheres que são beneficiadas por essa tecnologia, almejando o fortalecimento profissional e pessoal desse grupo. Além disso, o aproveitamento do biogás contribui fortemente para uma das metas do ODS7¹², que propõe um aumento substancial na participação das energias renováveis na matriz energética global. Inserir as energias renováveis, com fontes sustentáveis, na matriz energética do Brasil, significa, potencialmente, melhorar a qualidade de vida de grupos que são comumente excluídos e marginalizados na sociedade. A produção de biogás implica, muitas vezes, em remanejar resíduos que antes eram administrados de maneira irresponsável, contaminando fontes de água potável e contribuindo para a manutenção de ambientes inóspitos.

Diferentemente de outras modalidades de energias renováveis, o biogás tem a capacidade de estar presente e impactar, de forma positiva, duas esferas distintas e, em vários sentidos, contrastantes: a área urbana e a zona rural. Ainda que cada um desses ambientes possua especificidades quanto à instalação, ao manejo de resíduos e à distribuição, é evidente o potencial de produção de biogás de ambos.

Portanto, espera-se que os resultados desta publicação sirvam de base para que os setores da pecuária, indústria e saneamento, bem como o setor energético, considerem o aproveitamento dos benefícios ambientais, econômicos e sociais que estão atrelados à produção e uso energético do biogás. Além disso, os resultados apresentados promovem um diálogo sobre o desenvolvimento de políticas e mecanismos para o fortalecimento e crescimento da fonte biogás no país.

¹² Meta 7.2: Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

3

AVALIAÇÃO DE ESTUDOS DE CASOS REAIS NA PECUÁRIA

A fronteira do estudo dos casos da pecuária considerou desde a saída dos dejetos animais até o consumo e destinação dos produtos do tratamento desses dejetos, ou seja, produtos da utilização da fração gasosa (biogás) e das frações líquida e sólida dos mesmos (digestato/biofertilizante).

Os resultados¹³, apresentados a seguir, demonstram os três cenários analisados para cada um dos substratos dos setores considerados, sendo eles: a) cenário-base¹⁴ (tratamento dos dejetos em esterqueira); b) cenário energia elétrica (biodigestão dos dejetos e uso do biogás para geração de energia elétrica); e c) cenário biometano (biodigestão dos dejetos e uso do biogás para produção do biometano em substituição ao diesel). Para cada cenário, foram quantificados os impactos de aquecimento global em cada etapa dos processos da suinocultura em terminação, da bovinocultura de leite, da bovinocultura de corte e da ovinocultura.

¹³ Cabe ressaltar que os resultados do potencial de descarbonização podem ser alterados de acordo com a operação da unidade. Assim, os resultados apresentados, neste estudo, representam a situação atual de cada uma das unidades avaliadas.

¹⁴ O cenário-base considerou o resíduo sendo armazenado por um período de 120 dias na esterqueira e o dejetos sendo aplicado no solo.

3.1 Suinocultura

Foram avaliados cinco projetos de suinocultura, sendo três localizados no oeste do Paraná e dois no estado de Minas Gerais. Quatro deles utilizam o biogás para a produção de energia elétrica e um utiliza o biogás para a produção de biometano. A caracterização e o inventário dos cenários-base podem ser observados nos **Apêndices I e II**. Os **Apêndices IX e XVI** apresentam os inventários dos cenários de uso de biogás para energia elétrica e de uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação do impacto ambiental de cada etapa do cenário considerado como base na suinocultura em terminação é apresentado na **Tabela 1**.

Tabela 1
Resultados¹⁵ da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Etapa do processo da planta - Suinocultura em terminação	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	126,71
Aplicação no solo do digestato líquido	11,98
Fertilizante Nitrogenado evitado	-16,37
Fertilizante Fosfatado evitado	-3,42
Total	118,90

Ao se analisar os resultados, observa-se que a etapa do processo que mais contribui para emissões, na categoria de aquecimento global, é o armazenamento do dejetos na lagoa pelo período de 120 dias, pois este produz a emissão de 3,73 kg CH₄/tonelada de resíduo, o que representa 80% do valor total dessa categoria (118,9 kg CO₂eq.).

¹⁵ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, as emissões da aplicação do efluente no solo e da lagoa de armazenamento.

b) Cenário geração de energia elétrica

O resultado da avaliação da pegada de carbono para o cenário de energia elétrica, uso atual dos casos avaliados, com exceção da Fazenda Recanto (biometano), considerou a geração de energia proveniente do processo de biodigestão e todas as etapas envolvidas, cujos valores são apresentados na **Figura 3**.

Figura 3

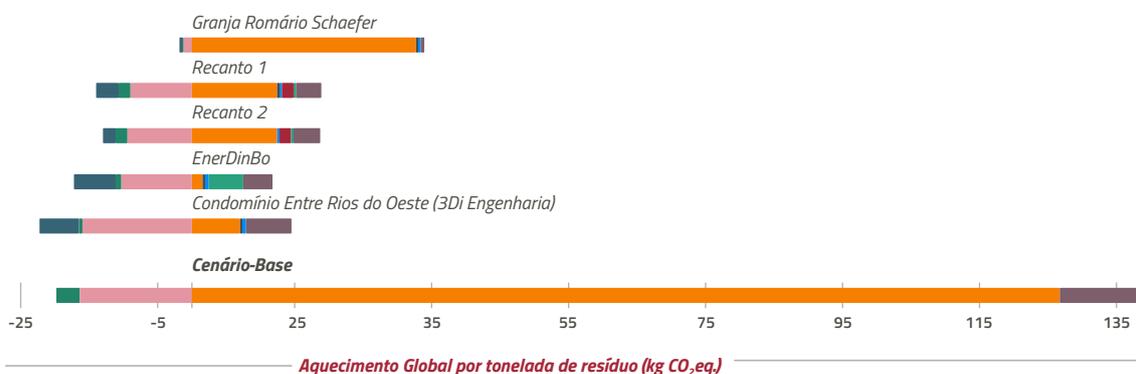
Resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de geração de energia elétrica – contribuição por etapa do processo (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-Base kg CO ₂ .eq.	Romário Schaefer kg CO ₂ .eq.	Recanto 1 kg CO ₂ .eq.	Recanto 2 kg CO ₂ .eq.	EnerDinBo kg CO ₂ .eq.	Entre Rios do Oeste kg CO ₂ .eq.
Lagoa de armazenamento	126,71	32,17	12,44	12,44	1,56	7,02
Consumo de energia elétrica	-	0,16	0,06	-	0,03	0,27
Emissões do motorizador de energia elétrica	-	0,03	0,19	0,11	0,56	0,53
Compostagem	-	-	1,69	1,69	-	-
Transporte de fração líquida ou sólida*	-	-	0,03	0,03	5,02	-
Aplicação no solo do digestato sólido	-	-	0,009	0,009	-	-
Aplicação no solo do digestato líquido	11,98	0,52	3,71	3,90	4,28	6,64
Fertilizante Nitrogenado evitado	-16,37	-1,24	-8,96	-9,40	-10,29	-15,98
Fertilizante Fosfatado evitado	-3,42	-0,19	-1,73	-1,73	-0,81	-0,50
Energia elétrica evitada	-	-0,38	-3,29	-1,85	-6,12	-5,76
TOTAL	118,90	31,07	4,16	5,19	-5,79	-7,78

Os resultados apresentados no gráfico acima não devem ser utilizados para realizar comparações entre as unidades, pois cada unidade produtiva apresenta suas especificidades na execução da atividade.

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia elétrica, emissões do motorizador de energia elétrica, emissões da lagoa de armazenamento e aplicação do digestato no solo.

*Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) observados no cenário de energia elétrica são oriundos das etapas de: produção evitada do fertilizante nitrogenado (variando de 3,57% a 43,53% de contribuição do impacto total) e geração de energia elétrica evitada (variando de 1,10% a 21,35% de contribuição do impacto total). Com relação aos impactos gerados no cenário de energia elétrica, a maior contribuição é a da emissão de CH₄ biogênico da lagoa (variando de 5,44% a 38,74% de contribuição do impacto total). Os fatores que exercem maior influência para essas etapas são: a concentração de nitrogênio no digestato, o potencial de geração de biogás, o teor de CH₄ e a eficiência de conversão do motorizador, a concentração de sólidos voláteis (SV) e o tempo de detenção na lagoa de digestato.

c) Cenário produção de biometano

O resultado da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano, uso atual apenas para o caso da Recanto - Biometano, que leva em consideração todas as etapas envolvidas no processo da planta, é apresentado na **Figura 4**.

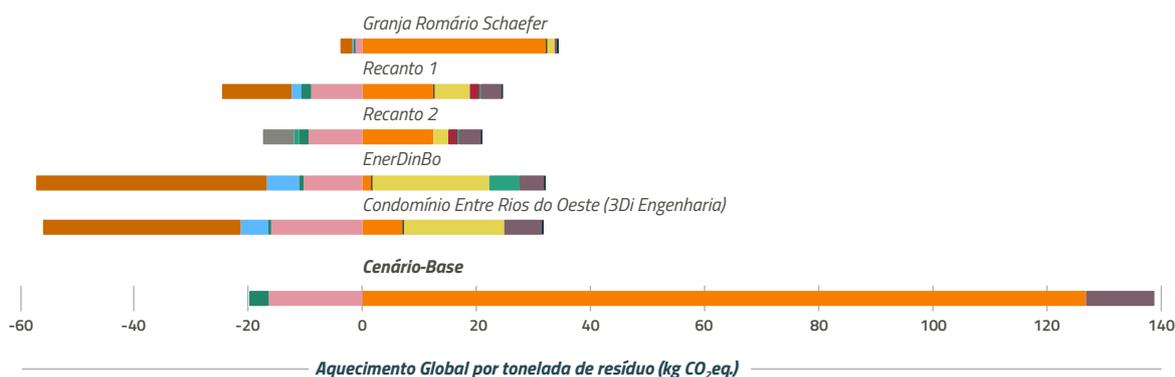
Figura 4

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano - contribuição por etapa da suinocultura (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-Base kg CO ₂ eq.	Romário Schaefer kg CO ₂ eq.	Recanto 1 kg CO ₂ eq.	Recanto 2 kg CO ₂ eq.	EnerDinBo kg CO ₂ eq.	Entre Rios do Oeste kg CO ₂ eq.
Lagoa de armazenamento	126,71	32,17	12,44	12,44	1,56	7,02
Consumo de energia elétrica	-	0,16	0,06	-	0,03	0,27
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	1,08	6,17	2,60	20,45	17,52
Compostagem	-	-	1,69	1,69	-	-
Transporte de fração líquida ou sólida*	-	-	0,03	0,03	5,02	-
Aplicação no solo do digestato sólido	-	-	0,009	0,009	-	-
Aplicação no solo do digestato líquido	11,98	0,52	3,71	3,90	4,28	6,64
Consumo de biometano em veículos	-	0,02	0,09	0,04	0,31	0,27
Fertilizante Nitrogenado evitado	-16,37	-1,24	-8,96	-9,40	-10,29	-15,98
Fertilizante Fosfatado evitado	-3,42	-0,19	-1,73	-1,73	-0,81	-0,50
Produção evitada de diesel	-	-0,30	-1,70	-	-5,62	-4,82
Queima evitada de diesel em veículos	-	-2,14	-12,19	-	-40,44	-34,65
Produção evitada de gasolina	-	-	-	-0,84	-	-
Queima evitada de gasolina em veículos	-	-	-	-5,46	-	-
TOTAL	118,90	30,07	-0,37	3,28	-25,52	-24,22

Os resultados apresentados não devem ser utilizados para realizar comparações entre as unidades, pois cada unidade produtiva apresenta suas especificidades na execução da atividade. Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso, o consumo de energia elétrica; sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano, emissões da aplicação do digestato no solo e lagoa de armazenamento.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são oriundos das etapas de queima evitada de diesel (variando de 5,67% a 40,44% de contribuição do impacto total) e da produção evitada de fertilizante nitrogenado (variando de 3,28% a 24,66% de contribuição do impacto total). Com relação aos impactos gerados, a maior contribuição é a das emissões da lagoa de armazenamento, que varia entre 1,56% e 85,06% de contribuição do impacto total.

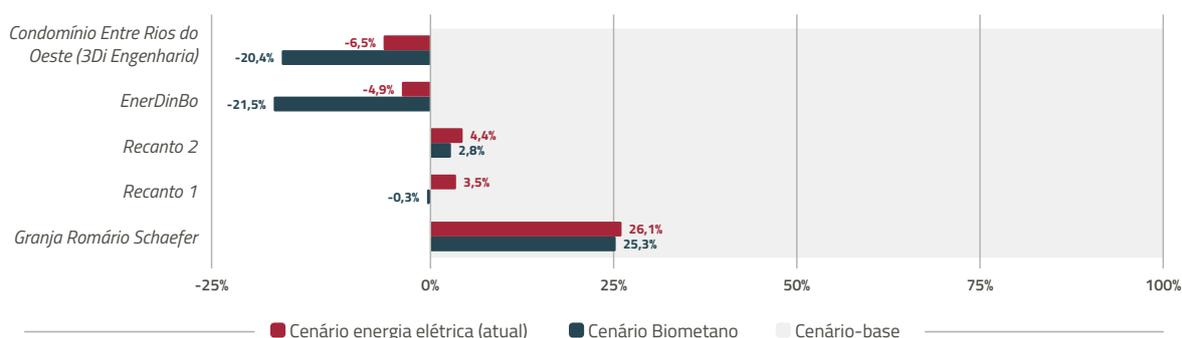
d) Comparação entre os cenários

Os casos analisados, com resíduos da suinocultura, demonstram um potencial de descarbonização do sistema em comparação ao sistema tradicional de manejo desses resíduos (lagoa de armazenamento); o resultado obtido deu-se em virtude dos impactos evitados da queima de diesel, da produção de fertilizante nitrogenado e da geração de energia elétrica. Por meio da avaliação da pegada de carbono, identificou-se uma redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) que varia entre 74% e 107% para o cenário de energia elétrica e entre 75% e 121% para o cenário de biometano, conforme demonstrado na **Figura 5**.

Figura 5
Comparação do cenário-base, do uso atual de geração de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo de suinocultura).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)				Comparação entre cenários - Valores relativos*		
Unidades	Cenário-Base	Cenário energia elétrica (atual)	Cenário Biometano	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base
Granja Romário Schaefer	118,90	31,07	30,07	87,83 kg CO ₂ eq.	73,9%	88,83 kg CO ₂ eq. 74,7%
Recanto 1	118,90	4,16	-0,37	114,74 kg CO ₂ eq.	96,5%	119,27 kg CO ₂ eq. 100,3%
Recanto 2	118,90	5,19	3,28	113,71 kg CO ₂ eq.	95,6%	115,62 kg CO ₂ eq. 97,2%
EnerDinBo	118,90	-5,79	-25,52	124,69 kg CO ₂ eq.	104,9%	144,43 kg CO ₂ eq. 121,5%
Condomínio Entre Rios do Oeste (3Di Engenharia)	118,90	-7,78	-24,22	126,68 kg CO ₂ eq.	106,5%	143,12 kg CO ₂ eq. 120,4%

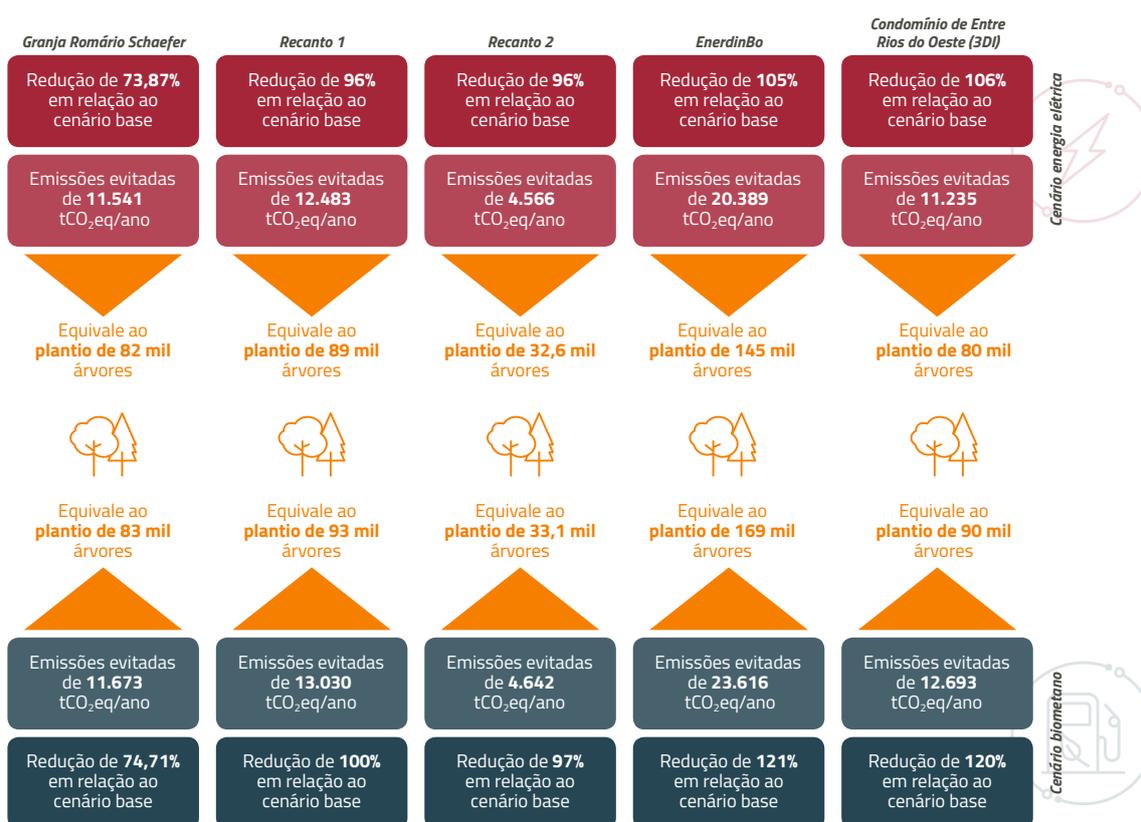
* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



A potencial redução, ao se comparar o cenário-base com os cenários de energia elétrica, é de 87,83 a 126,69 kg CO₂eq. por tonelada de dejetos tratados. As reduções anuais, considerando-se as gerações anuais de resíduo, ficaram entre 4,5 mil e 20,4 mil t CO₂eq./ano, o que resultou em um valor de redução de 60,3 mil t CO₂eq./ano, contemplando-se os 5 casos. Em termos de geração de energia elétrica, a descarbonização representa de 2,8 mil a 31,6 mil kg CO₂eq./MWh. A **Figura 6** apresenta o resumo do resultado do potencial de descarbonização para as unidades de suinocultura avaliadas, de acordo com o cenário energético de uso do biogás na geração de energia elétrica ou produção de biometano.

Para o cenário biometano, a descarbonização representa de 88,84 a 144,43 kg CO₂eq./tonelada de resíduo ou de 9,19 a 106,60 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivale a um potencial de redução anual de 65,7 mil t CO₂eq., considerando-se os 5 casos.

Figura 6
Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a suinocultura em dois cenários



As informações da **Figura 6** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos da suinocultura, em cada um dos empreendimentos avaliados, estão disponíveis nos **Apêndices XVII, XVIII, XIX, XX e XXI**.

3.2 Bovinocultura de corte

No setor bovinocultura de corte, um caso foi avaliado, o da Fazenda Santa Mônica, cujo projeto utiliza o biogás para a geração de energia elétrica. A caracterização e o inventário do cenário-base dessa unidade podem ser observados nos **Apêndices I e III**. Os **Apêndices X e XXII** apresentam os inventários do cenário do uso de biogás para energia elétrica e do uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental, em termos de contribuição de cada etapa ao impacto total, para o cenário considerado como base na bovinocultura de corte, é apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2

Resultados¹⁶ da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Etapa do processo da planta - Bovinocultura de corte	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	2.956,60
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,42
Aplicação no solo do efluente líquido pós-armazenamento	651,91
Fertilizante Nitrogenado evitado	-869,04
Fertilizante Fosfatado evitado	-4,08
TOTAL	2.735,81

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.

A etapa que mais contribui para a geração de impactos é a da lagoa de armazenamento, que emite 2.956,60 kg de CO₂eq./tonelada de resíduo, o que representa 66% do valor total. A etapa que mais contribui para os impactos evitados é a produção evitada de fertilizante nitrogenado, que representa 19% do valor total.

¹⁶ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, o transporte e as emissões da aplicação do biofertilizante no solo e da lagoa de armazenamento.

b) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de energia elétrica, de cada etapa e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 7**.

Figura 7

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de geração de energia elétrica – contribuição por etapa do processo (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	2.956,60	627,82
Consumo de energia elétrica	-	2,60
Emissões do motogerador de energia elétrica	-	2,74
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,42	0,42
Aplicação no solo do digestato líquido	651,91	555,78
Fertilizante Nitrogenado evitado	-869,04	-812,20
Fertilizante Fosfatado evitado	-4,08	-3,19
Energia elétrica evitada	0,00	-46,76
TOTAL	2.735,81	327,21

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados e consumo de energia elétrica evitado. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia elétrica, emissões do motogerador de energia elétrica, emissões da lagoa de armazenamento, transporte e aplicação do digestato no solo.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são os viabilizados pelas etapas de: produção evitada de fertilizante nitrogenado, que constitui 39,6% do impacto total (-812,20 kg CO₂eq.), e geração de energia elétrica evitada, com 2,28% do total (-46,76 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as propiciadas pela lagoa de armazenamento, com 30,6% do impacto total (627,82 kg CO₂eq.), e pela aplicação do digestato líquido no solo, que representa 27,09% do impacto, devido à emissão de N₂O no processo de aplicação (555,78 kg CO₂eq.).

c) Cenário produção de biometano

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano, de cada etapa do processo e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 8**.

Figura 8

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano – contribuição por etapa do processo (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	2.956,60	627,82
Consumo de energia elétrica	-	2,60
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	120,75
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,42	0,42
Aplicação no solo do digestato líquido	651,91	555,78
Consumo de biometano em veículos	-	1,86
Fertilizante Nitrogenado evitado	-869,04	-812,20
Fertilizante Fosfatado evitado	-4,08	-3,19
Produção evitada de diesel	-	-33,21
Queima evitada de diesel em veículos	-	-239,86
TOTAL	2.735,81	220,77

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso as emissões: do consumo de energia elétrica; do sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano; da lagoa de armazenamento; do transporte; da queima de biometano e da aplicação do digestato no solo.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são os propiciados pelas etapas de queima evitada de diesel, que representam 10% do total (-239,85 kg CO₂eq.), e pela produção evitada de fertilizante nitrogenado, que representa 33,87% do total (-812,20 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as das emissões da lagoa de armazenamento, que representam 26,18% do impacto total (627,82 kg CO₂eq.), e da etapa de aplicação do digestato no solo, que representa 23,18% (555,78 kg CO₂eq.).

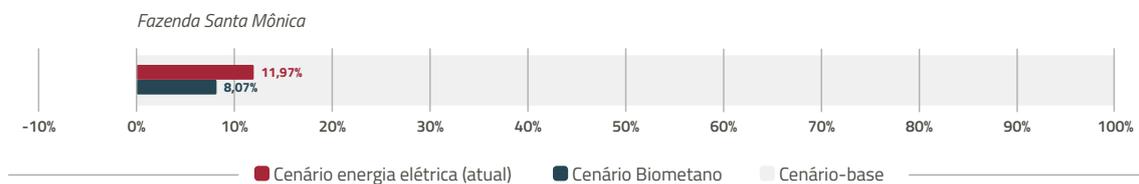
d) Comparação entre os cenários

O caso analisado, com resíduos da bovinocultura de corte, demonstra a potencial descarbonização do sistema em comparação ao sistema tradicional de manejo dos resíduos da bovinocultura de corte (lagoa de armazenamento), resultado este obtido em virtude dos impactos evitados da queima de diesel, da produção de fertilizante nitrogenado e da geração de energia elétrica. Por meio da avaliação da pegada de carbono, identificou-se a potencial redução das emissões de GEE, que foi de 88% e 92% para o uso atual do cenário de energia elétrica e cenário de biometano, respectivamente, conforme pode ser observado na **Figura 9**.

Figura 9
Comparação do cenário-base, do uso atual de geração de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo)

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*			
Cenário-Base	2.735,81	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário energia elétrica (atual)	327,51	2.408,30 kg CO ₂ eq.	88,03%	2.515,04 kg CO ₂ eq.	91,93%
Cenário biometano	220,77				

*Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



A potencial descarbonização, ao se comparar o cenário-base com o de energia elétrica, é de 2,41 t CO₂eq. por tonelada de dejetos tratados, o que representa uma redução anual (considerando uma geração de resíduo de 9,1 mil t/ano) de 21,9 mil t CO₂eq./ano ou 11,1 mil kg CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 157 mil árvores. A **Figura 10** apresenta o resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Fazenda Santa Mônica.

Figura 10
Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Fazenda Santa Mônica.



Para o cenário biometano, a potencial descarbonização representa 2,51 t CO₂eq./tonelada de resíduo ou 26,98 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivale a uma redução anual de 22,9 mil t CO₂eq. Esse valor anual corresponde ao plantio de 163 mil árvores.

As informações da **Figura 10** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos da bovinocultura de corte estão disponíveis no **Apêndice XXIII**.

3.3 Bovinocultura de leite

No setor bovinocultura de leite, um caso foi avaliado: a Fazenda Vale do Jotuva, cujo projeto está em operação e utiliza o biogás para a geração de energia elétrica. A caracterização e o inventário do cenário-base dessa unidade podem ser observados nos **Apêndices I e III**. Os **Apêndices X e XXII** apresentam os inventários do cenário de uso de biogás para energia elétrica e uso de biogás para a produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental, em termos de contribuição de cada etapa ao impacto total, para o cenário considerado como base¹⁷ na bovinocultura de leite, é apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3

Resultados¹⁸ da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Etapa do processo da planta - Bovinocultura de leite	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	301,47
Consumo de energia elétrica	0,30
Transporte de fração líquida ou sólida*	1,67
Aplicação no solo do digestato líquido	6,53
Fertilizante Nitrogenado evitado	-8,90
Fertilizante Fosfatado evitado	-1,30
Total	299,77

*Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.

¹⁷ O cenário-base considerou o resíduo sendo armazenado por um período de 120 dias na esterqueira e o dejetos sendo aplicado no solo.

¹⁸ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, o consumo de energia, as emissões da aplicação do digestato no solo e da lagoa de armazenamento e o transporte das frações líquida ou sólida.

b) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de energia elétrica, de cada etapa e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 11**.

Figura 11

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de geração de energia elétrica – contribuição por etapa do processo (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	301,47	78,13
Consumo de energia elétrica	0,30	0,58
Emissões do motogerador de energia elétrica	-	0,11
Compostagem	-	4,77
Transporte de fração líquida ou sólida*	1,67	0,53
Aplicação no solo do digestato sólido	-	0,15
Aplicação no solo do digestato líquido	6,53	3,39
Fertilizante Nitrogenado evitado	-8,90	-8,51
Fertilizante Fosfatado evitado	-1,30	-0,80
Energia elétrica evitada	-	-1,18
TOTAL	299,77	77,17

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados e energia elétrica evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia, emissões do motogerador de energia elétrica, emissões da lagoa de armazenamento, transporte do digestato, compostagem e aplicação do digestato no solo (sólido e líquido).

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são os propiciados pelas etapas de: produção evitada de fertilizante nitrogenado, com 9,5% do impacto total (-8,51 kg CO₂eq.), e geração de energia elétrica evitada, com 1,20% do total (emissão evitada de -1,18 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as oriundas da emissão de CH₄ biogênico da lagoa, com 79,6% do total (78,13 kg CO₂eq.), da compostagem (4,77 kg CO₂eq.) e da aplicação do digestato no solo, pela emissão de N₂O no processo de aplicação (3,54 kg CO₂eq.).

Cabe destacar que a planta realizou melhorias no processo de biodigestão, tais como: a troca da lona da cúpula e a instalação de um sistema de agitação e de um sistema de aquecimento que utiliza o calor dos escapamentos dos 2 geradores elétricos. Essas melhorias, que foram realizadas em maio de 2021, após o levantamento dos dados primários para a avaliação, promoveram uma maior geração de biogás captado e, conseqüentemente, uma maior geração de energia elétrica.

c) Cenário produção de biometano

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano, de cada etapa do processo e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 12**.

Figura 12

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano – contribuição por etapa do processo (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	301,47	78,13
Consumo de energia elétrica	0,30	0,58
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	6,44
Compostagem	-	4,77
Transporte de fração líquida ou sólida*	1,67	0,53
Aplicação no solo do digestato sólido	-	0,15
Aplicação no solo do digestato líquido	6,53	3,39
Consumo de biometano em veículos	-	0,10
Fertilizante Nitrogenado evitado	-1,30	-8,51
Fertilizante Fosfatado evitado	-8,90	-0,80
Produção evitada de diesel	-	-1,77
Queima evitada de diesel em veículos	-	-12,74
TOTAL	299,77	70,27

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso as emissões: do consumo de energia elétrica; do sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano; da lagoa de armazenamento; do transporte dos dejetos até Agropecuária Vale do Jotuva; da compostagem; da queima de biometano e da aplicação do digestato no solo (sólido e líquido).

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são os possibilitados pelas etapas de queima evitada de diesel, que representam 10,8% (-12,73 kg CO₂eq.), e pela produção evitada de fertilizante nitrogenado, que representa 7,22% (-8,51 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, a maior contribuição é a das emissões da lagoa de armazenamento, que representam 66,26% (78,13 kg CO₂eq.).

d) Comparação entre os cenários

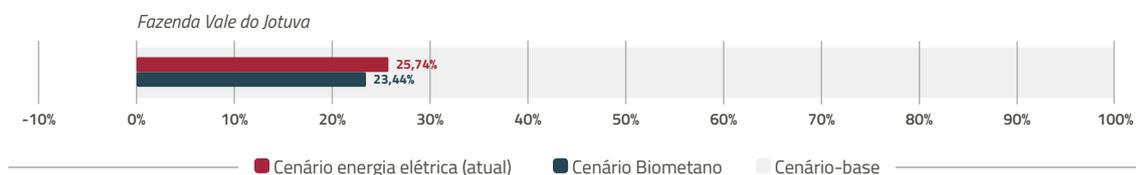
O caso analisado, com resíduos da bovinocultura de leite, demonstra a potencial descarbonização do sistema em comparação ao sistema tradicional de manejo dos resíduos da bovinocultura de leite (lagoa de armazenamento), resultado este obtido em virtude dos impactos evitados da queima de diesel, da produção de fertilizante nitrogenado e da geração de energia elétrica.

Por meio da pegada de carbono, identificou-se a redução das emissões de GEE, que foi de 74% e 77%, para o uso atual do cenário de energia elétrica e cenário de biometano, respectivamente, conforme pode ser observado na **Figura 13**.

Figura 13
Comparação do cenário-base, do uso atual de geração de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ ,eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*			
Cenário-Base	299,77	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário energia elétrica (atual)	77,17	222,60 kg CO ₂ ,eq.	74,26%	229,50 kg CO ₂ ,eq.	76,56%
Cenário biometano	70,27				

* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja e o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



A potencial redução representa 0,223 t CO₂eq. por tonelada de dejetos tratados, o que implica em uma redução anual (considerando uma geração de resíduo de 36,5 mil t/ano) de 8,1 mil t CO₂eq./ano ou 25,94 t CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 58 mil árvores. O resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Fazenda Vale do Jotuva, para o cenário de energia elétrica e para o cenário de biometano, pode ser observado na **Figura 14**.

Figura 14

Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Fazenda Vale do Jotuva.



Para o cenário biometano, a descarbonização representa 0,229 t CO₂eq./t de resíduo ou 46,36 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivaleria a uma redução anual de 8,3 mil t CO₂eq. na planta da Agropecuária Vale do Jotuva. Esse valor anual corresponde ao plantio de 59 mil árvores.

Esses valores são gerados em virtude dos usos evitados de fertilizantes (-9,32 kg de CO₂eq.), da geração evitada de energia elétrica (-1,18 kg de CO₂eq.), da produção evitada de diesel (-1,77 kg de CO₂eq.) e das queimas evitadas pelo uso do diesel (-12,74 kg de CO₂eq.).

As informações da **Figura 14** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos da bovinocultura de leite estão disponíveis no **Apêndice XXIV**.

3.4 Ovinocultura

Foi avaliado um caso de ovinocultura, a Fazenda Santa Teresinha, que realiza o aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica. A caracterização e o inventário do cenário-base de cada uma dessas unidades podem ser observados nos **Apêndices I e IV**. Os **Apêndices XI e XXV** apresentam os inventários do cenário uso de biogás para energia elétrica e uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental, de cada etapa do cenário considerado como base¹⁹ na ovinocultura, é apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 4

Resultados²⁰ da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Etapa do processo da planta - Ovinocultura	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	3.942,13
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,39
Aplicação no solo do digestato líquido	630,83
Fertilizante Nitrogenado evitado	-840,95
Fertilizante Fosfatado evitado	-19,96
Total	3.712,44

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.

A etapa que mais contribui com impactos gerados é a lagoa de armazenamento, que emite 3,9 mil kg de CO₂eq./tonelada de resíduo, o que representa 72% do valor total. A etapa de produção evitada do fertilizante nitrogenado é a etapa que mais contribui para o impacto evitado, representando 15% em relação ao valor total.

¹⁹ O cenário base considerou o resíduo sendo armazenado por um período de 120 dias na esterqueira e o dejetos sendo aplicado no solo.

²⁰ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, as emissões da aplicação do biofertilizante no solo e da lagoa de armazenamento.

b) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de energia elétrica, de cada etapa e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 15**.

Figura 15

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de geração de energia elétrica – contribuição por etapa da ovinocultura (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	3.942,13	880,13
Consumo de energia elétrica	-	4,54
Emissões do motogerador de energia elétrica	-	5,00
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,39	0,39
Aplicação no solo do digestato líquido	630,83	335,57
Fertilizante Nitrogenado evitado	-840,95	-785,75
Fertilizante Fosfatado evitado	-19,96	-15,60
Energia elétrica evitada	-	-85,32
TOTAL	3.712,44	338,96

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados e o consumo de energia elétrica evitado. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia elétrica, emissões do motogerador de energia elétrica, emissões da lagoa de armazenamento, transporte e aplicação do digestato no solo.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são oriundos das etapas de: produção evitada de fertilizante nitrogenado, com 37,2% do impacto total (-785,7 kg CO₂eq.), e geração de energia elétrica evitada, com 4% do total (emissão evitada de -85,32 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as da lagoa de armazenamento, com 41,67% do impacto total (880,13 kg CO₂eq.), e da aplicação do digestato líquido no solo, que representa 15,89%, devido à emissão de N₂O no processo de aplicação (335,57 kg CO₂eq.).

c) Cenário produção de biometano

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano, de cada etapa do processo e do impacto total, são apresentados na **Figura 16**.

Figura 16

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano - contribuição por etapa da ovinocultura (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento	3.942,13	880,13
Consumo de energia elétrica	-	4,54
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	215,46
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,39	0,39
Aplicação no solo do digestato líquido	630,83	335,57
Consumo de biometano em veículos	-	3,31
Fertilizante Nitrogenado evitado	-840,95	-785,93
Fertilizante Fosfatado evitado	-19,96	-15,60
Produção evitada de diesel	-	-59,25
Queima evitada de diesel em veículos	-	-427,98
TOTAL	3.712,44	150,65

* Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso as emissões do consumo de energia elétrica; do sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano; da lagoa de armazenamento; do transporte; da queima de biometano e da aplicação do digestato no solo.

** Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são propiciados pelas etapas de queima evitada de diesel, que representam 15,69% (-427,98 kg CO₂eq.), e pela produção evitada de fertilizante nitrogenado, que representa 28,81% (-785,93 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as das emissões da lagoa de armazenamento, que representam 32,26% do impacto total (880,13 kg CO₂eq.), e da etapa de aplicação, no solo, do digestato líquido, com 12,30% do impacto total (335,57 kg CO₂eq.).

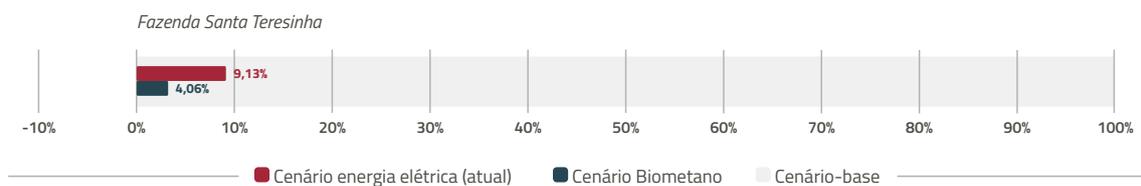
d) Comparação entre os cenários

O projeto analisado com resíduos da ovinocultura demonstra a potencial descarbonização do sistema em comparação ao sistema tradicional de manejo dos resíduos da atividade, resultado este obtido a partir dos impactos evitados da queima de diesel, da produção de fertilizante nitrogenado e da geração de energia elétrica. Por meio da avaliação da pegada de carbono, identificou-se que a redução das emissões de GEE foi de 91% e 96%, para o uso atual do cenário de energia elétrica e cenário de biometano, respectivamente, conforme pode ser observado na **Figura 17**.

Figura 17
Comparação do cenário-base, do uso atual de geração de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*			
Cenário-Base	3.712,44	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário energia elétrica (atual)	338,96	3.373,48 kg CO ₂ eq.	90,87%	3.592,77 kg CO ₂ eq.	96,78%
Cenário biometano	150,65				

* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano com o Cenário-Base. Ou seja, é feita a subtração do impacto do cada cenário em relação ao Cenário-Base para saber a diferença e calculada a porcentagem a que se refere essa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico. Os resultados devem ser utilizados como indicativo e considerando-se os limites da metodologia, dos dados e das fronteiras e processos analisados.



A descarbonização, ao se comparar o cenário-base com o de energia elétrica, representa 3,37 t CO₂eq. por tonelada de dejetos tratados, o que equivale a uma redução anual (considerando uma geração de resíduo de 3,65 mil t/ano) de 12,31 mil t CO₂eq./ano ou 8,54 mil kg CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 88 mil árvores. A **Figura 18** apresenta um resumo dos resultados para o cenário com geração de energia elétrica e para o cenário de produção de biometano.

Figura 18

Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Fazenda Santa Terezinha.



Para o cenário biometano, a descarbonização representa 3,56 t CO₂eq./tonelada de resíduo ou 21,41 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivale a uma redução anual de 13 mil t CO₂eq., valor anual que corresponde ao plantio de 93 mil árvores.

As informações da **Figura 18** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos da ovinocultura estão disponíveis no **Apêndice XXVI**.

4

AVALIAÇÃO DE CASOS REAIS NA INDÚSTRIA

A fronteira do estudo considerou desde a saída do efluente do processamento dos insumos para a produção de cerveja e dos resíduos do processamento de cana-de-açúcar até a destinação dos subprodutos do tratamento desses substratos, ou seja, a fração gasosa (biogás) e as frações líquida e sólida (digestato/biofertilizante ou lodo).

Os resultados a seguir demonstram os três cenários analisados para o substrato de cervejaria, sendo eles: a) cenário-base; b) cenário energia elétrica; e c) cenário biometano. São apresentados, também, resultados para os 4 cenários analisados para a usina sucroenergética: a) cenário-base; b) cenário 'mix' (uso do biogás na geração de energia elétrica e biometano); c) cenário energia elétrica; e d) cenário biometano. Para cada cenário foram quantificados os impactos de aquecimento global em cada etapa dos processos da indústria cervejeira e sucroenergética.

4.1 Indústria cervejeira

Foi avaliado um caso de uma indústria cervejeira²¹ que aproveita o biogás produzido no sistema de tratamento de efluentes para a geração de energia elétrica. A caracterização e o inventário do cenário-base da unidade podem ser observados nos **Apêndices I e V**. Os **Apêndices XII e XXVII** apresentam os inventários dos cenários uso de biogás para energia elétrica e uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

²¹ Os dados desta unidade foram disponibilizados pela empresa Luming, empresa responsável pelo projeto, instalação e monitoramento da geração de energia elétrica. Diferentemente dos outros estudos de caso, os resultados da ACV não foram validados pelos operadores, porém, este fato não inibe a importância deste inventário específico para realidade brasileira.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental, em termos de contribuição de cada etapa ao impacto total, para o cenário considerado como base na indústria cervejeira²², é apresentado na **Tabela 5**.

Tabela 5

Resultados²³ da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Etapa do processo da planta - Cervejaria	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Transporte de fração líquida ou sólida *	0,056
Consumo de energia elétrica	0,118
Flare aberto	2,06
Destinação do lodo (Compostagem)	0,0599
Lançamento do efluente no corpo receptor	0
Total	2,30

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.

a) Cenário-base

A etapa do processo que mais contribuiu para as emissões responsáveis pelo aquecimento global foi o *flare* aberto, que emitiu 2,06 kg CO₂eq., o que representa 90% do valor total de emissões. O cenário-base para este substrato não apresenta impactos evitados em nenhuma das etapas analisadas.

²² O cenário-base da indústria cervejeira considerou o efluente sendo destinado para tratamento anaeróbio, o biogás sendo queimado em flare aberto e o lodo sendo destinado para compostagem.

²³ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo que, neste caso, não houve impactos evitados nas etapas analisadas. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, as emissões da aplicação do digestato no solo e as emissões da lagoa de armazenamento.

b) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da pegada de carbono para o uso atual de energia elétrica, de cada etapa e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 19**.

Figura 19

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o uso atual de geração de energia elétrica – contribuição por etapa da cervejaria (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ .eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ .eq.)
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,06	0,06
Consumo de energia elétrica	0,12	0,12
Emissões da turbina de geração de energia elétrica	-	0,21
Queima do biogás em flare	2,06	0,73
Compostagem	0,06	0,06
Lançamento de efluente no rio	-	-
Energia elétrica evitada	-	-0,05
TOTAL	2,30	1,13

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, a energia elétrica evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo consumo de energia elétrica, emissões do flare, transporte, lançamento do efluente, emissões da turbina e destinação do lodo.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



O maior benefício ambiental (impacto evitado) é o propiciado pela etapa de geração de energia elétrica evitada, que representa 4,13% do impacto total ($-5,09 \times 10^{-2}$ kg CO₂.eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as da emissão do flare, com 59% do total (0,73 kg CO₂.eq.), e do consumo de energia, com 9,6% do total (0,12 kg CO₂.eq.).

b) Cenário produção de biometano

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano, de cada etapa do processo e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 20**.

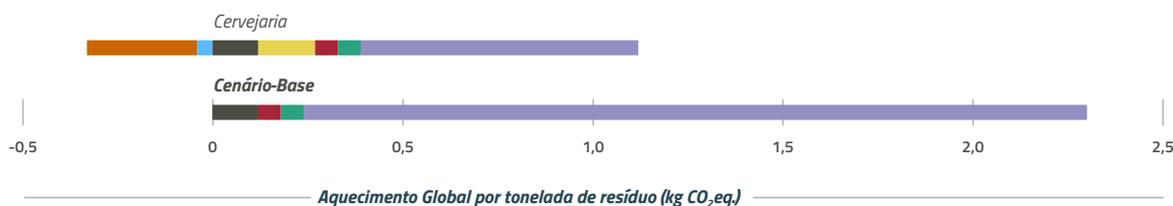
Figura 20

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano - Contribuição por etapa da cervejaria (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Consumo de energia elétrica	0,12	0,12
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	0,15
Compostagem	0,06	0,06
Transporte de fração líquida ou sólida	0,06	0,06
Consumo de biometano em veículos	-	-
Queima do biogás em flare	2,06	0,73
Lançamento do efluente no rio	-	-
Produção evitada de diesel	-	-0,04
Queima evitada de diesel em veículos	-	-0,29
TOTAL	2,30	0,78

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, produção de diesel e emissões deste evitadas. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia elétrica, transporte e destinação do lodo, consumo de biometano em veículos, upgrading, compressão e descompressão de biometano e lançamento do efluente no corpo receptor.

** Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



O maior benefício ambiental (impacto evitado) é o possibilitado pela etapa de queima evitada de diesel em veículos, com 46,2% do total (-0,46 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as do processo de *upgrading*²⁴, compressão e descompressão de biometano, com 23,4% do total (0,23 kg CO₂eq.), e do consumo de energia elétrica, que representa 11,9% do total (0,12 kg CO₂eq.).

²⁴ O *upgrading* do biogás refere-se à remoção de contaminantes do biogás bruto. A concentração de CH₄ é aumentada, removendo ou consumindo o CO₂ contido no biogás.

d) Comparação entre cenários

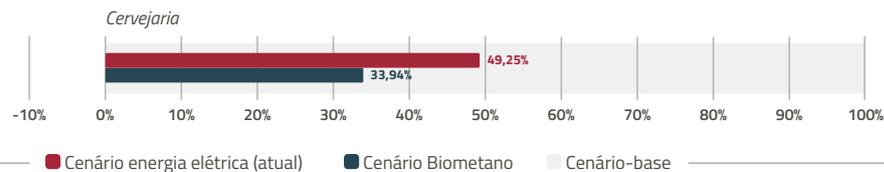
No caso analisado da indústria cervejeira, o resultado da avaliação demonstra a potencial descarbonização do sistema em comparação ao sistema de tratamento tradicional dos efluentes, neste tipo de atividade, sem o aproveitamento do biogás gerado. Esse resultado foi obtido em virtude dos impactos evitados da geração de energia elétrica, da queima de diesel e da produção do diesel. Por meio da avaliação da pegada de carbono, identificou-se o potencial de descarbonização, que foi da ordem de 51% e 102%, comparando-se o cenário-base ao cenário de energia elétrica e de biometano, respectivamente (**Figura 21**).

Figura 21

Comparação do cenário-base, do uso atual de geração de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*			
Cenário-Base	2,30	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário energia elétrica (atual)	1,13	1,16 kg CO ₂ eq.	50,75%	1,52 kg CO ₂ eq.	66,06%
Cenário biometano	0,78				

* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



No caso da comparação do cenário-base com o de energia elétrica, a redução representa 1,16 kg CO₂eq. por m³ de efluente tratado, com uma redução anual (considerando uma geração de efluente de 4,2 milhões m³/ano) de 4,9 mil t CO₂eq./ano ou 3,15 t CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 35 mil árvores. Para o cenário biometano, a redução representa 2,35 kg CO₂eq./m³ de efluente ou 6,57 CO₂eq./m³ de biometano, o que equivaleria a uma redução anual de 9,9 mil t CO₂eq. Esse valor anual corresponde ao plantio de 71 mil árvores. O Resumo desses cenários pode ser observado na **Figura 22**.

Figura 22

Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Fazenda Santa Terezinha.



As informações da **Figura 22** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos da cervejaria estão disponíveis no **Apêndice XXVIII**.

4.2 Sucroenergética

No setor indústria sucroenergética, um caso foi avaliado: a Usina Cocal – Unidade Nandiba/SP, projeto que, no momento do levantamento dos dados primários, encontrava-se em fase implantação do biodigestor. Assim, para a análise de cenários, foram utilizadas as estimativas de geração de energia elétrica, biometano e fertilizantes repassadas pela unidade. A caracterização e o inventário do cenário-base de cada uma dessas unidades podem ser observados nos **Apêndices I e VI**. Os **Apêndices XIII e XXIX** apresentam os inventários dos cenários uso de biogás para energia elétrica e uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel e mix de uso do biogás para energia elétrica e biometano, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental, em termos de contribuição de cada etapa ao impacto total, para o cenário considerado como base na indústria sucroenergética, é apresentado na **Tabela 6**.

Tabela 6
Resultados²⁵ da avaliação de impacto ambiental para o cenário-base
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Etapa do processo da planta - Sucroenergética	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de Armazenamento – vinhaça	17,70
Lagoa de armazenamento - torta de filtro	10,92
Consumo de energia elétrica	0,07
Transporte de fração líquida ou sólida*	17,33
Aplicação no solo do digestato líquido	3,31
Aplicação no solo do digestato sólido	1,22
Fertilizante Nitrogenado evitado	-6,21
Fertilizante P evitado	-1,91
Fertilizante K evitado	-13,61
Total	28,82

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.

As etapas do processo que mais contribuem para os impactos gerados são o armazenamento da vinhaça (24,49%) e o transporte (23,98%). A etapa que mais contribui para os impactos evitados é o uso evitado de fertilizantes K, que representa 18,83%.

²⁵ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo que, neste caso, não houve impactos evitados nas etapas analisadas. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, as emissões da aplicação do digestato no solo e as emissões da lagoa de armazenamento.

b) Cenário mix (uso de energia elétrica e biometano)

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário mix, projeto atual da unidade, de cada etapa do processo e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 23**.

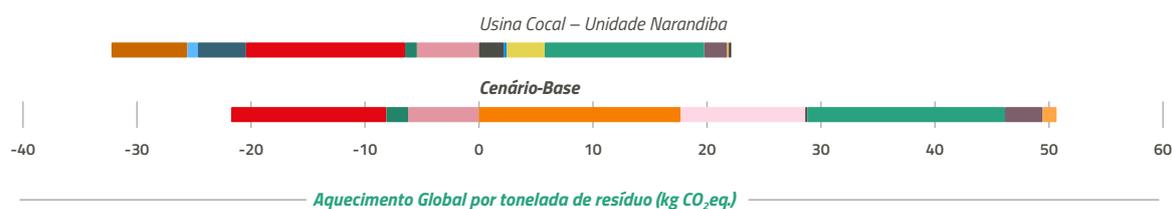
Figura 23

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário mix – contribuição por etapa da Usina Cocal – Unidade Narandiba/SP (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento - vinhaça	17,70	-
Lagoa de armazenamento - torta de filtro	10,92	-
Consumo de energia elétrica	0,07	2,17
Emissões do motogerador de energia elétrica	-	0,24
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	3,37
Transporte de fração líquida ou sólida*	17,33	13,98
Aplicação no solo do digestato líquido	3,31	1,98
Aplicação no solo do digestato sólido	1,22	0,16
Consumo de biometano em veículos	-	0,10
Fertilizante Nitrogenado evitado	-6,21	-5,44
Fertilizante Fosfatado evitado	-1,91	-1,04
Fertilizante K evitado	-13,61	-13,95
Energia elétrica evitada	-	-4,22
Produção evitada de diesel	-	-0,93
Queima evitada de diesel em veículos	-	-6,66
Total	28,82	-10,24

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes evitados, energia elétrica evitada e queima e produção do diesel. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia, emissões do motogerador de energia elétrica, processo de upgrading, compressão e descompressão do biogás, transporte do biofertilizante e aplicação do digestato no solo (sólido e líquido).

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são os gerados pelas etapas de produção evitada do fertilizante potássio, com 25,73% do impacto total (-13,95 kg CO₂eq.), e de queima evitada de diesel em veículos, com 12,28% do total (emissão evitada de -6,66 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, a maior contribuição (25,79% do total) é a do transporte (13,98 kg CO₂eq.).

c) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da avaliação da pegada de carbono para o cenário de produção de energia elétrica, de cada etapa do processo e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 24**.

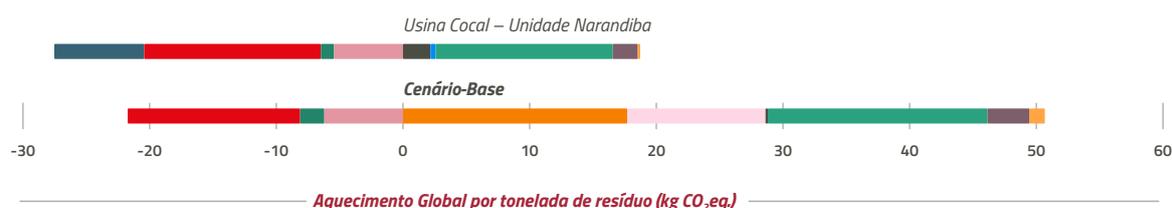
Figura 24

Resultados da avaliação de impacto ambiental na geração de energia elétrica – contribuição por etapa da Usina Cocal – Unidade Narandiba/SP (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento - vinhaça	17,70	-
Lagoa de armazenamento - torta de filtro	10,92	-
Consumo de energia elétrica	0,07	2,17
Emissões do motogerador de energia elétrica	-	0,41
Transporte de fração líquida ou sólida*	17,33	13,98
Aplicação no solo do digestato líquido	3,31	1,98
Aplicação no solo do digestato sólido	1,22	0,16
Fertilizante Nitrogenado evitado	-6,21	-5,44
Fertilizante Fosfatado evitado	-1,91	-1,04
Fertilizante K evitado	-13,61	-13,95
Energia elétrica evitada	-	-7,09
Total	28,82	-8,82

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes evitados e energia elétrica evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia, emissões do motogerador de energia elétrica, transporte do biofertilizante e aplicação do digestato no solo (sólido e líquido).

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os potenciais benefícios ambientais (impactos evitados) se originam, principalmente, das etapas de: produção evitada de fertilizante potássio, que representa 30,20% do impacto total (-13,95 kg CO₂eq.), e geração de energia elétrica evitada, que constitui 15,34% do total (emissão evitada de -7,09 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, a maior contribuição (30,26% do total) é a propiciada pelo transporte interno até o uso agrícola (13,98 kg CO₂eq.).

d) Cenário produção de biometano

Os resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano, de cada etapa do processo e do impacto total do cenário, são apresentados na **Figura 25**.

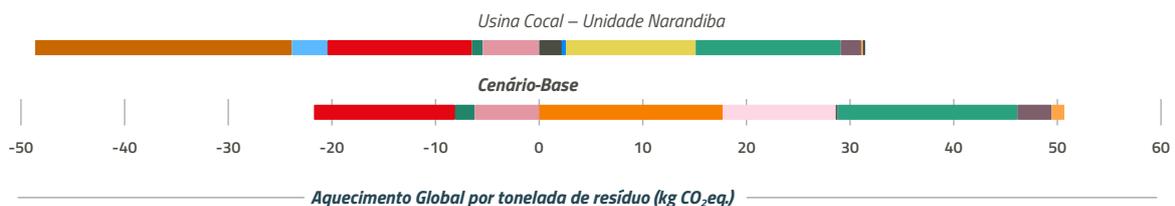
Figura 25

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano - contribuição por etapa da Usina Cocal – Unidade Narandiba/SP (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Lagoa de armazenamento - vinhaça	17,70	-
Lagoa de armazenamento - torta de filtro	10,92	-
Consumo de energia elétrica	0,07	2,17
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	12,52
Transporte de fração líquida ou sólida*	17,33	13,98
Aplicação no solo do digestato líquido	3,31	1,98
Aplicação no solo do digestato sólido	1,22	0,16
Consumo de biometano em veículos	-	0,19
Fertilizante Nitrogenado evitado	-6,21	-5,44
Fertilizante Fosfatado evitado	-1,91	-1,04
Fertilizante K evitado	-13,61	-13,95
Produção evitada de diesel	-	-3,44
Queima evitada de diesel em veículos	-	-24,77
Total	28,82	-17,64

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso as emissões: do consumo de energia elétrica; do sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano; do transporte; da queima de biometano e da aplicação do digestato no solo (sólido e líquido).

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são os possibilitados pelas etapas de queima evitada de diesel, que representam 31,10% (-24,77 kg CO₂eq.), e pela produção evitada do fertilizante potássio, que representa 17,52% (-13,95 kg CO₂eq.). Com relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as viabilizadas pelo transporte, que representa 17,56% (13,98 kg CO₂eq.), e pelo *upgrading*, compressão e descompressão de biometano, que representa 15,73% (12,52 kg CO₂eq.).

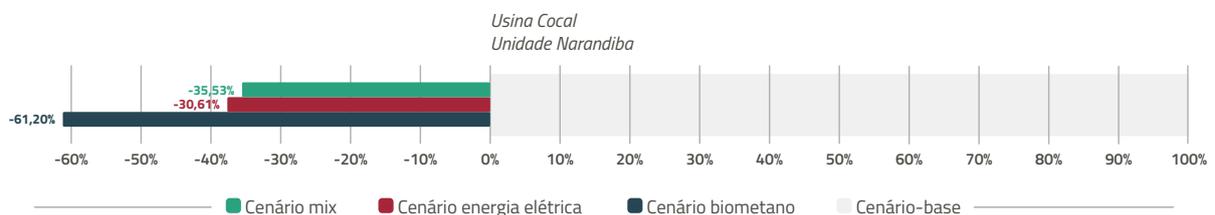
e) Comparação entre os cenários

O caso analisado, com resíduos da usina sucroenergética, demonstra um potencial de descarbonização do sistema em comparação ao sistema tradicional de manejo de resíduos da atividade nesse setor. O resultado é obtido em virtude dos impactos evitados da produção e queima de diesel, da produção evitada de fertilizantes minerais e da geração evitada de energia elétrica. Por meio da pegada de carbono, identificou-se que a redução das emissões de GEE foi de 136%, 131% e 161%, para o cenário mix, cenário de energia elétrica e cenário de biometano, respectivamente. A **Figura 26** apresenta, de forma mais detalhada, esses resultados.

Figura 26
Comparação do cenário-base, do cenário mix, cenário de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*					
Cenário-Base	28,82	Cenário mix X Cenário-Base		Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário Mix	-10,24	39,06 kg CO ₂ eq.	135,53%	37,64 kg CO ₂ eq.	130,61%	46,46 kg CO ₂ eq.	161,20%
Cenário energia elétrica	-8,82						
Cenário biometano	-17,64						

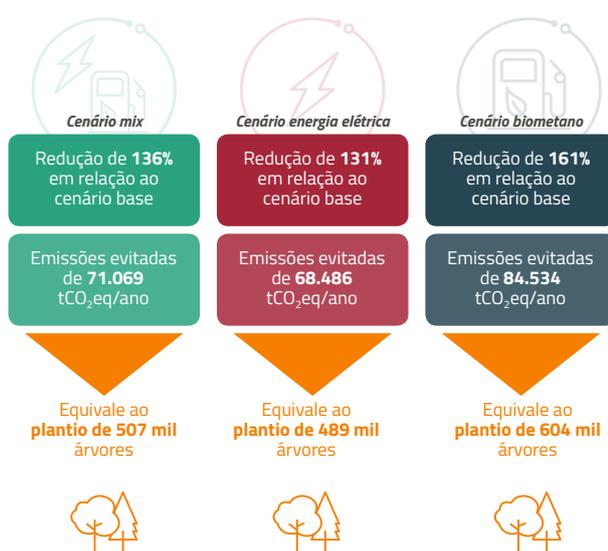
* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



No caso da comparação do cenário-base com o cenário mix (energia elétrica e biometano), a redução representa 39,06 kg CO₂eq. por tonelada de resíduo tratado, o que constitui uma redução anual (considerando uma geração de resíduo de 1,8 milhões t/ano) de 71 mil t CO₂eq./ano. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 507 mil árvores. O resumo do potencial de cada cenário pode ser observado na **Figura 27**.

Figura 27

Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a Usina Cocal – Unidade Narandiba/SP



No caso da comparação do cenário-base com o de energia elétrica, a redução representa 37,64 kg CO₂eq. por tonelada de resíduo tratado, o que constitui uma redução anual (considerando uma geração de resíduo de 1,8 milhão t/ano) de 68,48 mil t CO₂eq./ano ou 1,16 t CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 489 mil árvores.

Para o cenário biometano, a redução representa 46,46 kg CO₂eq./t de resíduo ou 4,82 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivaleria a uma redução anual de 84,53 mil t CO₂eq. na Usina da Cocal – Unidade Narandiba. Esse valor anual corresponde ao plantio de, aproximadamente, 604 mil árvores.

As informações da **Figura 27** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos sucroenergéticos estão disponíveis no **Apêndice XXX**.

5

AVALIAÇÃO DE CASOS REAIS NO SANEAMENTO

No caso do setor Saneamento, para a realização da pegada de carbono, a fronteira do estudo considerou desde a saída dos resíduos/efluentes do ponto de geração até o consumo e destinação dos produtos do tratamento dos resíduos, ou seja, a fração gasosa (biogás) e as frações líquida e sólida (digestato/biofertilizante/efluentes e lodo).

Os resultados a seguir demonstram os três cenários avaliados para o substrato de esgoto, sendo eles: a) cenário-base (tratamento do efluente sem o aproveitamento do biogás); b) cenário energia elétrica; e c) cenário biometano. São também apresentados os 3 cenários analisados para resíduos sólidos urbanos: a) cenário-base (resíduo disposto em aterro sanitário); b) cenário energia elétrica, no qual é realizada a biodigestão dos resíduos e o biogás é aproveitado para geração de energia elétrica; e c) cenário biometano, no qual é realizada a biodigestão dos resíduos e o biogás é aproveitado para produção de biometano. Para cada cenário, foram quantificados os impactos de aquecimento global de cada etapa dos processos das atividades de tratamento do esgoto e destinação de resíduos sólidos urbanos.

5.1 Estação de Tratamento de Esgoto

Foi avaliado um caso de uma estação de tratamento de esgoto: uma ETE localizada no Paraná e operada pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), unidade em operação no tratamento de efluente via rota anaeróbia. A unidade não realiza o aproveitamento energético do biogás. Assim, os dados foram estimados com base nos valores de carga orgânica afluyente, caracterização do biogás, lodo gerado e efluente tratado. A caracterização desse caso e o inventário do cenário-base podem ser observados nos **Apêndices I e VII**. Os **Apêndices XIV e XXXI** apresentam os inventários dos cenários uso de biogás para energia elétrica e uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental para o cenário considerado como base para o tratamento de esgoto é apresentado na **Tabela 7**.

Tabela 7

Resultados²⁶ da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Etapa do processo da planta - Esgoto	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Consumo de energia elétrica	0,0117
Produção de peróxido de hidrogênio	0,0953
Aterro - preliminares do processo	0,0543
Queima do biogás em <i>Flare</i>	0,442
Higienização do lodo (Estabilização Alcalina Prolongada)	0,000084
Transporte da fração líquida ou sólida*	0,00702
Aplicação do lodo higienizado no solo	0,00565
Fertilizante Nitrogenado evitado	-0,00172
Fertilizante Fosfatado evitado	-0,000137
Total	0,614

*Transporte dos insumos até a ETE e lodo até aplicação agrícola.

Ao se analisar os resultados, observa-se que as etapas que mais contribuem com impactos gerados são: a da queima do biogás em *flare* aberto, que emite 0,44 kg CO₂eq., cerca de 71,54% do valor total; seguida da utilização de peróxido de hidrogênio, que emite 0,10 kg CO₂eq., ou seja, 15,42% do valor total. A contribuição dos impactos evitados não foi significativa em relação ao impacto total, sendo de 0,30% do impacto total.

²⁶ Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso: transporte, consumo de energia e insumos, emissões do *flare* aberto, aterro e aplicação do lodo.

b) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da pegada de carbono para o uso atual de energia elétrica, de cada etapa e do total do cenário, são apresentados na **Figura 28**.

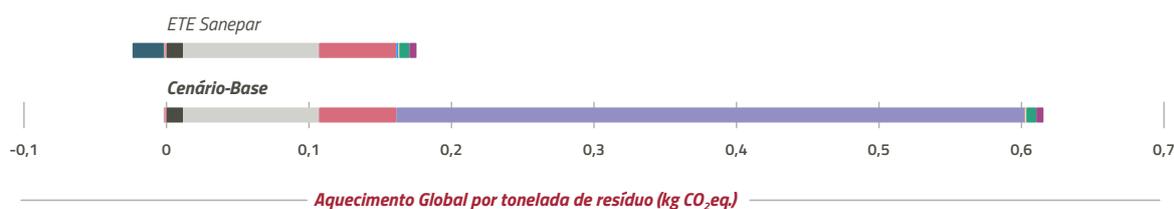
Figura 28

Resultados da avaliação de impacto ambiental na geração de energia elétrica – contribuição por etapa para ETE (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ .eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ .eq.)
Consumo de energia elétrica	0,0117	0,0117
Produção de Peróxido de hidrogênio	0,0953	0,0953
Aterro - resíduos preliminares do processo	0,0543	0,0543
Emissões do motorizador de energia elétrica	0,0000	0,0020
Queima do biogás em flare	0,442	-
Higienização do lodo (EAP)	0,0001	0,0001
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,0070	0,0070
Aplicação do lodo higienizado no solo	0,0056	0,0056
Fertilizante Nitrogenado evitado	-0,0017	-0,0017
Fertilizante Fosfatado evitado	-0,0001	-0,0001
Energia elétrica evitada	0,0000	-0,0219
Total	0,614	0,152

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, neste caso, energia elétrica evitada e fertilizantes nitrogenados e superfosfato evitados. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso: transporte, consumo de energia e insumos, aterro e aplicação do lodo.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante e/ou insumos do processo.



O maior benefício ambiental (impactos evitados) é o da geração de energia elétrica evitada (0,022 kg CO₂/m³ de efluente), que representa 11% do impacto total. A etapa do processo que mais contribui para os impactos gerados é a da utilização de peróxido de hidrogênio, com $9,53 \times 10^{-02}$ kg CO₂.eq. (47,70% do total).

c) Cenário produção de biometano

Os resultados da avaliação da pegada de carbono para o cenário de produção de biometano, de cada etapa e do total do cenário, são apresentados na **Figura 29**.

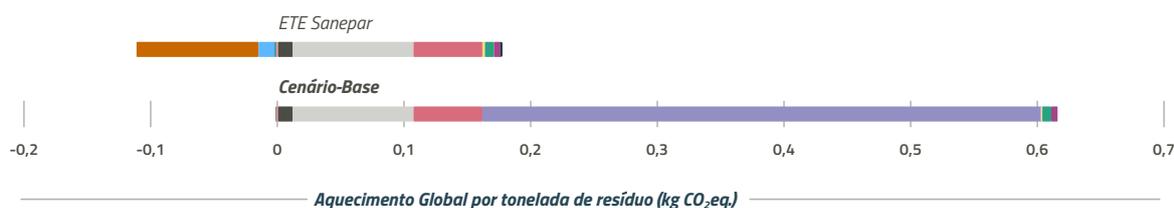
Figura 29

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de produção de biometano - contribuição por etapa para ETE (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Consumo de energia elétrica	0,0117	0,0117
Produção de Peróxido de hidrogênio	0,0953	0,0953
Aterro - resíduos preliminares do processo	0,0543	0,0543
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	0,0000	0,0486
Queima do biogás em flare	0,4420	0,0000
Higienização do lodo (EAP)	0,0001	0,0001
Transporte de fração líquida ou sólida*	0,0070	0,0070
Aplicação do lodo higienizado no solo	0,0056	0,0056
Consumo de biometano em veículos	-	0,0007
Fertilizante Nitrogenado evitado	-0,0017	-0,0017
Fertilizante Fosfatado evitado	-0,0001	-0,0001
Produção evitada de diesel	0,0000	-0,0134
Queima evitada de diesel em veículos	-	-0,0965
Total	0,614	0,1108

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes, nitrogenado e superfosfato evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso as emissões: do consumo de energia elétrica; do sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano; do transporte, da queima de biometano e da aplicação do lodo no solo.

* Transporte do efluente bruto e/ou do digestato e/ou do biofertilizante e/ou insumos do processo.



O maior benefício ambiental (impacto evitado) é o da emissão evitada da queima de diesel, que representa 29% (0,096 kg de CO₂/m³ de efluente) do impacto total. Em relação aos impactos efetivamente ocorridos, as etapas que propiciam maiores contribuições são: a produção do peróxido de hidrogênio, que emite 0,09 kg CO₂eq., o que corresponde a 28% do valor total, e o envio dos resíduos do tratamento preliminar para o aterro, que emite 0,05 kg CO₂eq., o que constitui 16% do valor total.

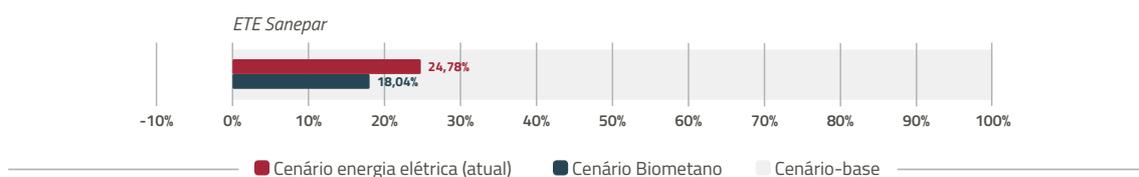
d) Comparação entre os cenários

O caso analisado demonstra a potencial descarbonização do sistema em comparação ao tratamento de efluentes sem o aproveitamento do biogás (*flare* aberto), resultado este obtido em virtude dos impactos evitados da energia elétrica, emissões da queima do diesel e produção de diesel. Esses resultados podem ser visualizados na **Figura 30**.

Figura 30
Comparação do cenário-base, do cenário de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*			
Cenário-Base	0,61	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário energia elétrica (atual)	0,15				
Cenário biometano	0,11	0,46 kg CO ₂ eq.	75,22%	0,50 kg CO ₂ eq.	81,96%

* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja, o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



Os potenciais de descarbonização foram de 75% e 82%, ao se comparar o cenário-base (sem aproveitamento do biogás) com o cenário de uso para geração de energia elétrica e de biometano, respectivamente.

No caso da comparação do cenário-base com o de energia elétrica, a redução de impacto potencial representa 0,46 kg CO₂eq./m³ de efluente tratado, o que constitui uma redução anual (considerando uma geração de efluente de 13,8 milhões m³/ano) de 6,4 mil t CO₂eq./ano ou 2,9 mil kg CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 45 mil árvores. Para o cenário biometano, a redução representa 0,50 kg CO₂eq./m³ de efluente tratado ou 13,43 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivale a uma redução anual de 6,9 mil t de CO₂eq. na ETE avaliada. Esse valor anual corresponde ao plantio de cerca de 49 mil árvores. O resumo do potencial, considerando os cenários com uso energético do biogás, pode ser observado na **Figura 31**.

Figura 31
Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a ETE Sanepar.



As informações da **Figura 31** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos de estação de tratamento de esgoto avaliada estão disponíveis no **Apêndice XXXII**.

5.2 Resíduos Sólidos Urbanos

Foi avaliado um caso que realiza o tratamento de resíduos sólidos urbanos: a CS Bioenergia, unidade em operação no tratamento de resíduos orgânicos via rota de biodigestão, que utiliza o biogás na geração de energia elétrica. A caracterização desse caso e o inventário podem ser observados nos **Apêndices I e VIII**. Os **Apêndices XV e XXXIII** apresentam os inventários dos cenários: base, uso de biogás para energia elétrica e uso de biogás para produção de biometano e substituição de diesel, respectivamente.

a) Cenário-base

O resultado da avaliação de impacto ambiental, em termos de contribuição de cada etapa ao impacto total, para o cenário considerado como base, é apresentado na **Tabela 8**.

Tabela 8

**Resultados da avaliação do impacto ambiental para o cenário-base
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Etapa do processo da planta - Aterro Sanitário	Pegada de Carbono (kg CO ₂ eq.)
Transporte até unidade/aterro	6,27
Diesel para operação do aterro	1,33
Tratamento do efluente/lixiviado	0,47
Queima do biogás em <i>flare</i> aberto	918,00
Total	926,07

Ao se analisar os resultados, observa-se que a etapa do processo que mais contribui para a pegada de carbono é a da queima do biogás em *flare* aberto (918 kg CO₂eq.), que representa 99% do valor total dessa categoria.

b) Cenário geração de energia elétrica

Os resultados da avaliação da pegada de carbono para o uso atual de energia elétrica, de cada etapa e do total do cenário, são apresentados na **Figura 32**.

Figura 32

Resultados da avaliação de impacto ambiental na geração de energia elétrica – contribuição por etapa para a biodigestão de RSU (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq.)
Transporte até unidade/aterro	6,27	35,29
Diesel para operação do aterro	1,33	-
Consumo de energia elétrica	-	23,67
Produção de Polímero	-	5,51
Tratamento do efluente/lixiviado	0,47	0,10
Emissões do motogerador de energia elétrica	-	3,20
Queima do biogás em flare	918,00	0,27
Compostagem	-	0,04
Fertilizante Nitrogenado evitado	-	-40,62
Fertilizante Fosfatado evitado	-	-0,12
Energia elétrica evitada	-	-34,96
Total	926,07	-7,65

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, os fertilizantes, nitrogenado e superfosfato evitados, e energia elétrica evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, neste caso, consumo de energia elétrica, emissões do motogerador de energia elétrica e compostagem.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são possibilitados pelas etapas de: geração de energia elétrica evitada, com 24,3% do impacto total (emissão evitada de -34,96 kg CO₂eq.), e produção evitada de fertilizante nitrogenado, que representa 28,26% (-40,62 kg CO₂eq.). Em relação aos impactos gerados, as maiores contribuições foram a do transporte de fração sólida, com 24,5% (35,29 kg CO₂eq.), e a do consumo de energia elétrica, que representa 16,5% (23,67 kg CO₂eq.).

c) Cenário produção de biometano

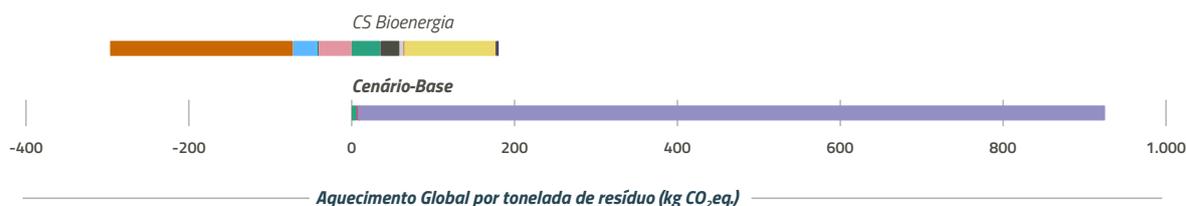
Os resultados da pegada de carbono para o cenário de produção de biometano, de cada etapa e do total do cenário, são apresentados na **Figura 33**.

Figura 33

Resultados da avaliação de impacto ambiental para o cenário de biometano da CS Bioenergia – contribuição por etapa para a biodigestão de RSU (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Impacto por etapa do processo da planta	Cenário-base (kg CO ₂ eq.)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq.)
Transporte até unidade/aterro	6,27	35,29
Diesel para operação do aterro	1,33	-
Consumo de energia elétrica	-	23,67
Produção de polímero	-	5,51
Tratamento do efluente/lixiviado	0,47	0,10
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	-	113,73
Compostagem	918,00	0,004
Queima do biogás em flare	-	0,27
Consumo de biometano em veículos	-	1,74
Fertilizante Nitrogenado evitado	-	-40,62
Fertilizante Fosfatado evitado	-	-0,12
Produção evitada de diesel	-	-31,27
Queima evitada de diesel em veículos	-	-224,90
Total	926,07	-116,60

Os valores negativos apresentam os impactos evitados, sendo, neste caso, fertilizantes nitrogenado e superfosfato evitados, queima de diesel evitada e produção de diesel evitada. Os valores positivos representam os impactos efetivamente ocorridos, sendo, neste caso as emissões: do consumo de energia elétrica; do sistema de upgrading, compressão e descompressão do biometano, do consumo de biometano em veículos e da compostagem.



Os maiores benefícios ambientais (impactos evitados) são viabilizados pelas etapas de: queima evitada de diesel, que representa 47,13% (-224,91 kg CO₂eq.), e produção evitada de fertilizante nitrogenado, que corresponde a 8,51% (-40,62 kg CO₂eq.). Em relação aos impactos gerados, as maiores contribuições são as das etapas de upgrading, compressão e descompressão de biometano, que representam 23,8% (113,73 kg CO₂eq.), e a do transporte, que constitui 7,4% (35,29 CO₂eq.).

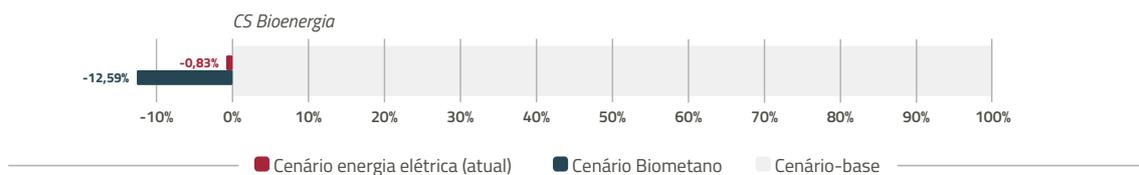
d) Comparação entre os cenários

O caso analisado demonstra a potencial descarbonização do sistema em comparação ao sistema tradicional de manejo dos resíduos (aterro sanitário), resultado este obtido em virtude dos impactos evitados da geração de energia elétrica, da queima do diesel e da produção dos fertilizantes químicos, além do consumo evitado desses produtos. A **Figura 34** apresenta o comparativo dos cenários de uso energético em relação ao cenário-base.

Figura 34
Comparação do cenário-base, do cenário de energia elétrica e do cenário de produção de biometano – redução em relação ao cenário-base (%) (Unidade Funcional= tratamento de 1 t de resíduo).

Impactos por cenário - Valores absolutos (kg CO ₂ eq.)		Comparação entre cenários - Valores relativos*			
Cenário-Base	926,07	Cenário energia elétrica X Cenário-Base		Cenário biometano X Cenário-Base	
Cenário energia elétrica (atual)	-7,65	933,72 kg CO ₂ eq.	100,83%	1.042,67 kg CO ₂ eq.	112,59%
Cenário biometano	-116,60				

* Valores são relativos e a porcentagem é resultante da comparação entre os cenários de energia elétrica e biometano em relação ao cenário base. Ou seja, o Cenário-Base, ou seja: subtraiu-se o impacto de cada cenário em relação ao Cenário-Base para identificar a diferença e calcular a porcentagem dessa diferença. Importante destacar que os valores apresentados se referem aos dados coletados em um empreendimento específico, assim, os resultados devem ser utilizados como indicativo, mediante considerações de metodologia, dados, fronteiras e processos analisados.



Os potenciais de descarbonização foram de 101% e 113%, ao se comparar o cenário-base (aterro sanitário) ao cenário de energia elétrica e de biometano, respectivamente. No caso da comparação do cenário-base com o de energia elétrica, a redução representa 0,934 t CO₂eq./t de resíduo, ou seja, uma redução anual (considerando uma geração de resíduo de 31 mil t/ano) de 28,9 mil t CO₂eq./ano ou 3,66 t CO₂eq./MWh. Esse valor corresponde ao plantio de cerca de 207 mil árvores.

Para o cenário biometano, a redução representa 1,04 t CO₂eq./t de resíduo ou 11,93 kg CO₂eq./m³ de biometano, o que equivaleria a uma redução anual de 32,3 mil t CO₂eq. na planta da CS Bioenergia. Esse valor anual corresponde ao plantio de 231 mil árvores. O resumo do potencial de descarbonização para cada um dos cenários energéticos pode ser observado na **Figura 35**.

Figura 35

Resumo do resultado do potencial de descarbonização para a CS Bioenergia.



As informações da **Figura 35** e o resumo completo, por macroetapa do processo, do potencial de descarbonização no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos avaliados estão disponíveis no **Apêndice XXXIV**.

6

REFERÊNCIAS

ABCP. **Coprocessamento - Uma solução definitiva para o resíduo: O que é.** São Paulo: ABCP, 2019. Disponível em: <https://coprocessamento.org.br/sobre/o-que-e-coprocessamento/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

ABIOGÁS. **Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano-PNBB.** São Paulo: ABiogás, 2018. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/e3a792_993f6eb7580b4628ae5eb65520984fca.pdf.

ABNT. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Brasil: ABNT, 2009a. Disponível em: www.abnt.org.br

ABNT. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009b. p. 21.

ABNT ISO. **ABNT ISO/TS 14067:2015 Gases de efeito estufa — Pegada de carbono de produtos — Requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação.** Brasil: ABNT, 2015.

CHERUBINI, Edivan et al. **Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems.** Brasil: *Journal of Cleaner Production*, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.035>

CIBIOGÁS. **Nota Técnica: N° 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020.** Foz do Iguaçu: CIBiogás, 2021.

DARTORA, Valmir; PERDOMO, Carlos C.; TUMELERO, Ivone Lopes. **Management of swine manure.** Emater/RS: Research Bulletin, 1998.

GOEDKOOPE, Mark et al. **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.** Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment, 2009.

GUTIERREZ, K. G.; FERNANDES, M. A.O.; CHERNICHARO, C. A.L. **Modelling of a sanitary landfill for developing countries to improve the reliability of Life Cycle Assessment studies.** Graz, Austria: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012085>

HUIJBREGTS, MAJ et al. **ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization.** Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment, 2016.

INSTITUTO 17. **Biogás no Brasil: Potencial Oferta a Curto Prazo.** São Paulo/SP: Programa de Energia para o Brasil – BEP (Brasil), 2021.

IRENA. **Renewable energy: A gender perspective.** Abu Dhabi: IRENA, 2019. Disponível em: www.irena.org

JUNGBLUTH, Niels et al. **Life cycle inventories of bioenergy.** Uster: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/230725648_Life_Cycle_Inventories_of_Bioenergy._ecoinvent_report_No._17/file/9c96051b76e2fb8dce.pdf

KUNZ, Airton; MUKHTAR, Saqib. **Hydrophobic membrane technology for ammonia extraction from wastewaters.** Brasil: Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/>

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: Relatório final.** Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

REBITZER, Gerald et al. **Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications.** Lausanne: Environment International, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>

SARDÁ, Luana Goulart et al. **Methane emission factor of open deposits used to store swine slurry in Southern Brazil.** Brasília, Brasil: Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000600001>

WAGNER, Luiz Gustavo et al. **Avaliação da eficiência da queima de biogás proveniente do tratamento de esgoto utilizando um queimador enclausurado.** Curitiba, Brasil: Congresso ABES FENASAN, 2017.

WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL. **Nova NDC do Brasil: entenda por que a meta climática foi considerada pouco ambiciosa.** WRI Brasil, 2021. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/nova-ndc-do-brasil-entenda-por-que-meta-climatica-foi-considerada-pouco-ambiciosa>.

APÊNDICE I

METODOLOGIA APLICADA À AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, aplicada internacionalmente por diversas organizações. Por considerar todo o ciclo de vida dos produtos ou processos, da geração do resíduo ao túmulo²⁷, possibilita uma visão mais abrangente e completa dos aspectos e impactos ambientais. Essa metodologia pode auxiliar as organizações no planejamento estratégico, na elaboração de políticas públicas, na definição de processos de tratamento e na monetização de serviços ambientais.

A ACV é uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto ou serviço, a partir de um inventário de entradas e saídas (de recursos e energia, de emissões para o ar, a água e o solo), desde a extração da matéria-prima até a disposição final (ABNT, 2009a). Nas ACVs que lidam com sistemas de tratamento de resíduos, é usual considerar-se desde a geração dos resíduos, passando pelo tratamento, até a disposição dos subprodutos gerados.

Os estudos de ACV possuem quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação, conforme apresentado na **Figura I**.

Figura I
Fases de uma avaliação de ciclo de vida.



Fonte: Adaptado de ABNT (2009).

²⁷ Contabilizando os impactos desde a extração até o descarte final dos produtos.

Na realização da ACV para este estudo, foram adotadas as diretrizes das normas da série ISO 14.040 (ABNT, 2009a). Conforme a norma, é necessário basear-se em uma unidade de referência que indique o desempenho quantificado de um sistema, de modo a permitir que bens e serviços sejam comparados e analisados; a esta medida é dado o nome de Unidade Funcional (UF) (ABNT, 2009; ABNT, 2014; Rebitzer et al., 2004). Neste estudo, a UF adotada foi a de tratar 1 tonelada (1 t) de resíduo/1m³ de efluente.

Foram incluídos, no sistema analisado, os processos que sucedem a geração do resíduo, o que compreende o tratamento realizado e todos os subprodutos gerados. Consideraram-se, também, numa perspectiva de expansão do sistema, os impactos evitados, oriundos da substituição de produtos, cujas funções podem ser desempenhadas pelos subprodutos do tratamento do resíduo.

Para a elaboração do inventário do ciclo de vida do tratamento e disposição final dos dejetos (ABNT, 2009a), foram utilizados dados primários da planta ou de referências científicas nacionais e dados provenientes do banco de dados do *ecoinvent*²⁸ (ABNT, 2009b; ABNT, 2014; Rebitzer et al., 2004). A avaliação foi realizada por meio do software SimaPro e a metodologia de avaliação de impacto foi a ReCiPe Midpoint 2016, para a categoria de impacto aquecimento global.

O fator de caracterização das mudanças climáticas é o potencial de aquecimento global, baseado no relatório de 2013 do IPCC. Para a perspectiva hierárquica, foi utilizado horizonte de 100 anos e foram incluídos os feedbacks climáticos do carbono também para os demais poluentes (que não o CO₂), o que afeta sua importância relativa, adicionando incerteza, mas trazendo mais consistência ao método.

Considera-se que a emissão de um gás do efeito estufa levará a um aumento da concentração atmosférica desse tipo de gás, que, por sua vez, vai incrementar a capacidade de forçamento radiativo, levando a um aumento da temperatura média global. O aumento da temperatura, em última análise, resulta em danos à saúde humana e aos ecossistemas (Goedkoop et al., 2009; Huijbregts et al., 2016).

A caracterização e o limite do sistema foram realizados para cada unidade produtora de biogás e separados pelas categorias de pecuária, indústria e saneamento. Essas características iniciais fornecem a base para a elaboração da avaliação e estão discriminadas a seguir.

²⁸Esse banco de dados de inventário internacional fornece dados de processos para produtos em diversas áreas, como abastecimento de energia, agricultura, transporte, produtos químicos, materiais de construção e tratamento de resíduos.

I. Caracterização e limite do sistema para as unidades analisadas da pecuária

A elaboração do inventário ambiental teve início com a coleta de dados primários da propriedade.

A **Tabela I** apresenta os dados fornecidos pelas propriedades do setor da pecuária para o uso atual do biogás (geração de energia elétrica). Somente na Fazenda Recanto 2 o uso atual é na produção de biometano.

Tabela I
Informações sobre uso atual da planta de biogás.

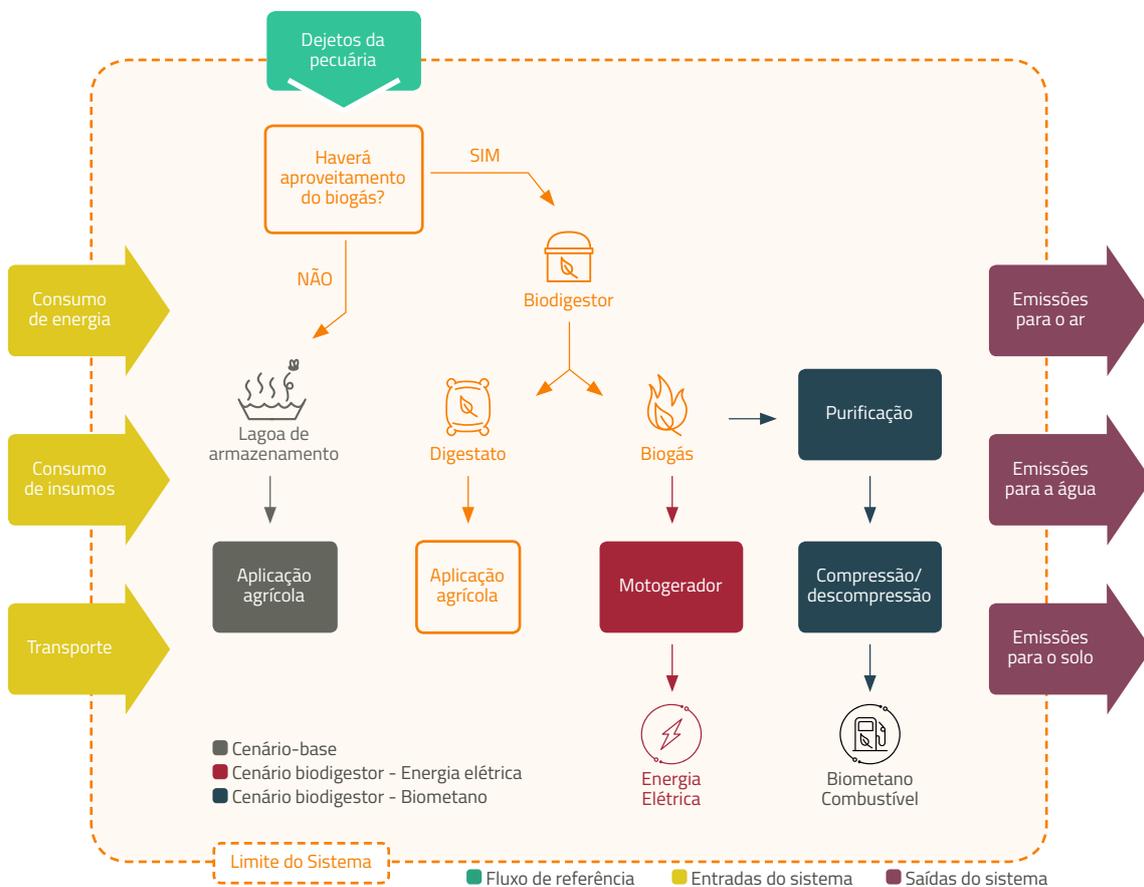
Nome	Localização	Escala da atividade produtiva	Volume de dejetos tratados	Produção de biogás	Capacidade elétrica instalada	Capacidade instalada de produção de biometano	Geração de energia elétrica	Uso do digestato	Produção de biometano
Granja Romário Schaefer	Entre Rios do Oeste – Paraná	4.000 cabeças de suínos em terminação	131.400 t/ano	480 m ³ /dia	-	-	30.000 kWh/mês	Fertirrigação de culturas	-
Fazenda Recanto 1	Patos de Minas – Minas Gerais	12.000 suínos em terminação e 7.000 em creche e pré-creche	109.500 t/ano	2.100 m ³ /dia	250 kW	-	4.500 kWh/dia	Fertirrigação (líquido) e compostagem na propriedade (sólido), com aplicação agrícola	-
Fazenda Recanto 2	Patos de Minas – Minas Gerais	1.400 matrizes	110 m ³ /dia	380 m ³ /dia	-	36 Nm ³ /h	-	Fertirrigação (líquido) e compostagem na propriedade (sólido), com aplicação agrícola	220 m ³ /dia
EnerDinBo	Ouro Verde do Oeste – Paraná	40 propriedades – 100 mil suínos	448 m ³ /dia	10.000 m ³ /dia	1.000 kW	-	600 MWh/mês	Aplicação no solo	-
Condomínio de Entre Rios do Oeste – 3Di Engenharia	Entre Rios do Oeste – Paraná	Dejeto de 17 pequenas propriedades	243 m ³ /dia	5.235 m ³ /dia	250 MWh	-	10.208 kWh/dia	Aplicado nas lavouras vizinhas (líquido)	-
Vale do Jotuva	Carambeí – Paraná	850 vacas em ordenha	100 m ³ /dia	720 m ³ /dia	-	-	858 kWh/dia	Fertirrigação de culturas	-
Fazenda Santa Mônica	São João da Ponte – Minas Gerais	6.650 cabeças	24.952 t/dia	3.785 m ³ /dia	1 MW	-	5.400 kWh/dia	Fertirrigação (líquido)	-
Fazenda Santa Teresinha	São João da Ponte – Minas Gerais	27.000 cabeças	10 t/dia	4.300 m ³ /dia	750 kW	-	3.949 kWh/dia	Fertirrigação (líquido)	-

A partir disso, foram elaborados os inventários ambientais de três cenários:

- i. Cenário-base: onde o resíduo é armazenado por um período de 120 dias na esterqueira e o dejetos é aplicado no solo;
- ii. cenário energia elétrica: no qual o biogás é utilizado para geração de energia elétrica e o digestato aplicado no solo, e
- iii. cenário biometano: no qual o biogás é utilizado para produção de biometano – com concentração de 96% de metano, e usado como combustível em substituição ao diesel com 12% de biodiesel – e o digestato é aplicado no solo.

O limite do sistema geral para pecuária é apresentado na **Figura II**, na qual é possível observar que essa ACV considera o impacto desde a entrada do dejetos no sistema de tratamento até a destinação final dos produtos do processo, incluindo o digestato e o biogás.

Figura II
Limite do sistema para a atividade de pecuária²⁹.



²⁹ Foram consideradas as etapas específicas de cada caso. Por exemplo: Compostagem dos resíduos do separador na Fazenda Recanto e na Fazenda Vale do Jotuva.

II. Caracterização e limite do sistema para as unidades da indústria

A elaboração do inventário ambiental teve início com a coleta de dados primários das propriedades, sendo estas uma indústria de bebidas e uma sucroenergética.

A **Tabela II** apresenta os dados fornecidos pelas propriedades para o uso atual do biogás (geração de energia elétrica e biometano).

Tabela II
Informações sobre uso atual da planta de biogás.

Nome	Localização	Escala da atividade produtiva	Volume de dejetos tratados	Produção de biogás	Geração de energia elétrica	Uso do digestato	Geração de energia elétrica	Produção de biometano
Cervejaria	Rio Grande do Sul	NA	11.640 m ³ /dia	2.832 m ³ /dia	1.577 MWh/ano	Efluente - Lançamento em corpo d'água / Lodo - Compostagem	30.000 kWh/mês	-
Usina Cocal – Unidade Naranđiba	Naranđiba – São Paulo	3.500.000 t/ano	1.819.495 t/ano	33.100.000 m ³ /ano	35.060 MWh/ano	Fertirrigação de culturas	4.500 kWh/dia	8.900.000 m ³ /ano

A partir disso, foram elaborados os inventários ambientais de quatro cenários:

- i. Cenário-base, quando o biogás proveniente do tratamento anaeróbio é queimado em *flare* aberto para a indústria de bebidas e, para a indústria sucroenergética, há o armazenamento em lagoa;
- ii. cenário no qual o biogás é utilizado para geração de energia elétrica e, para a sucroenergética, o digestato é aplicado no solo;
- iii. cenário no qual o biogás é utilizado para produção de biometano e usado como combustível em substituição ao diesel, com 12% de biodiesel, e, para sucroenergética, o digestato é aplicado no solo;
- iv. cenário mix – cenário apresentado atualmente na Cocal, onde parte do biogás é utilizado para geração de energia elétrica e outra parte é direcionada para a produção de biometano.

Os limites adotados para a elaboração das avaliações das propriedades sucroenergética e cervejeira estão apresentados nas **Figuras III e IV**, respectivamente.

Figura III
Limite do sistema para a atividade sucroenergética.

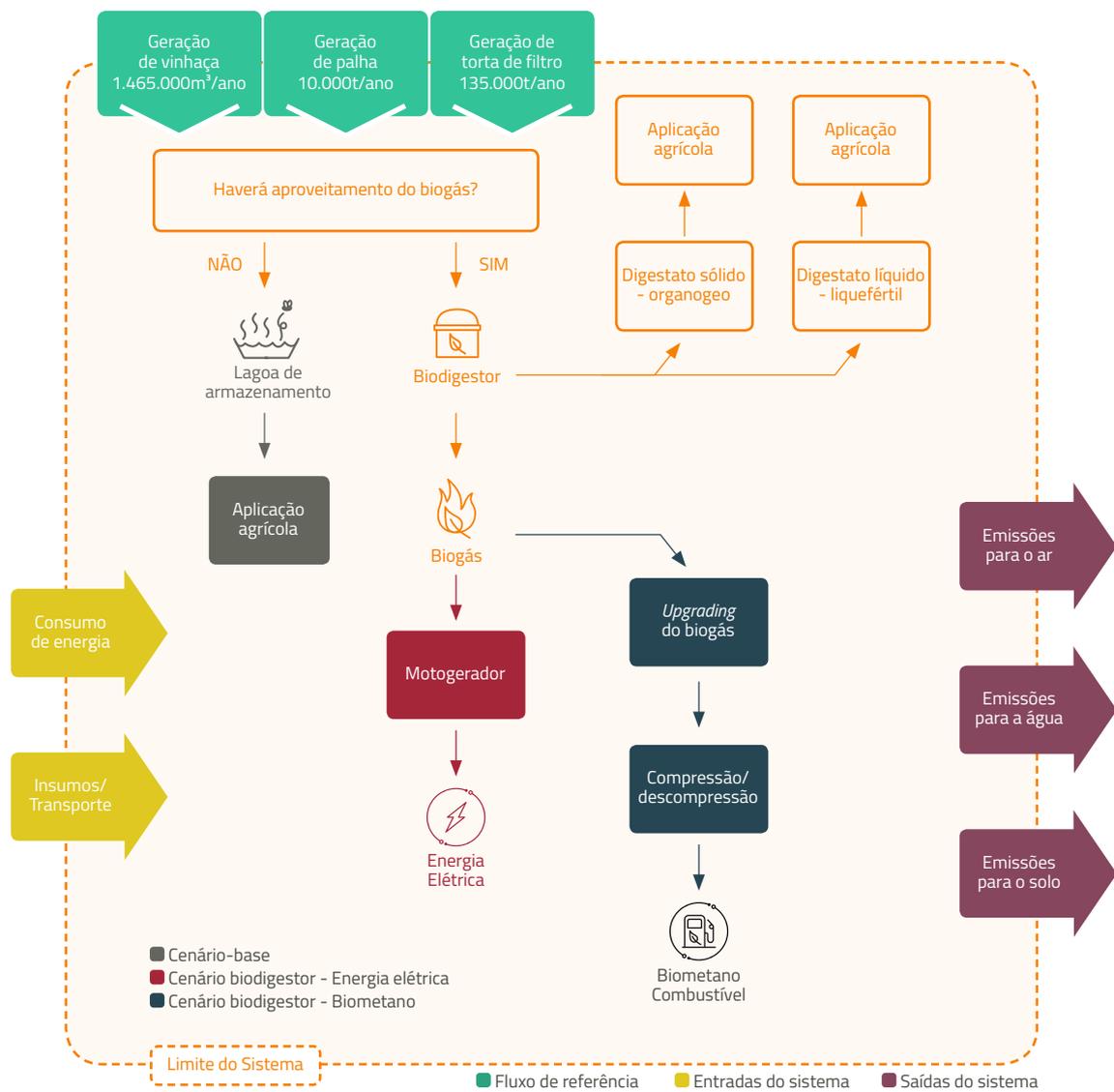
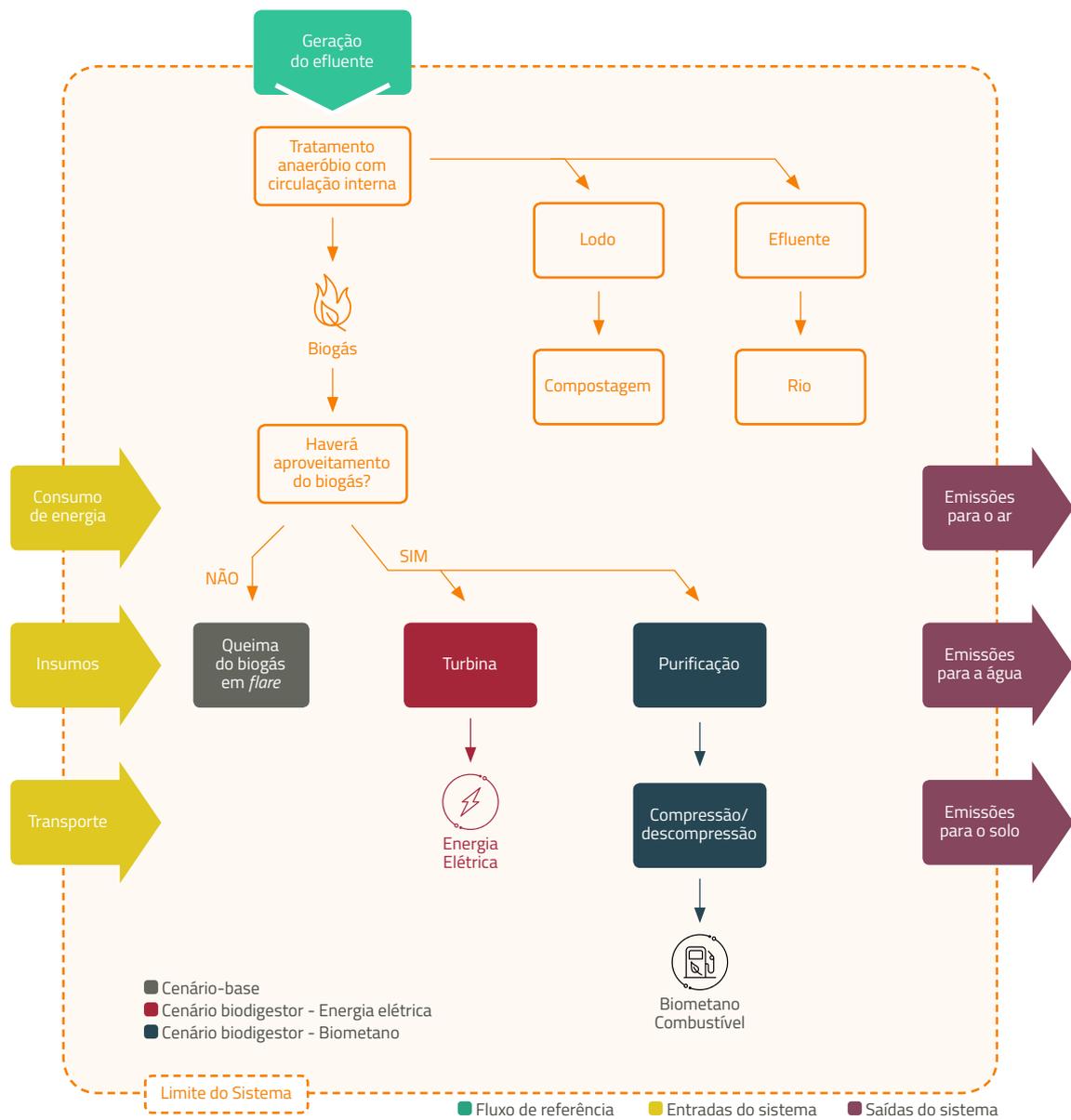


Figura IV
Limite do sistema para a atividade de cervejaria.



III. Caracterização e limite do sistema para as unidades de saneamento

A elaboração do inventário ambiental teve início com a coleta de dados primários das propriedades, sendo estas uma biodigestão e uma estação de tratamento de efluentes. A **Tabela III** apresenta os dados fornecidos pela propriedade para o uso atual do biogás (geração de energia elétrica no caso da biodigestão e sem uso do biogás para a estação de tratamento de esgoto).

Tabela III
Informações sobre uso atual da planta de biogás.

Nome	Localização	Escala da atividade produtiva	Volume de dejetos tratados	Produção de biogás	Capacidade elétrica instalada	Geração de energia elétrica	Uso do digestato
ETE Sanepar	Curitiba – Paraná	440 L/s	13.875.840 m ³ /ano	723.805 m ³ /ano	-	-	Efluente - Lançamento em corpo d'água / Lodo – Aplicação agrícola
CS Bioenergia	São José dos Pinhais - Paraná	-	800 m ³ /dia de lodo e 85t/dia de resíduos orgânicos	350.000 m ³ /mês	10 MW	350 MWh/mês	Compostagem

A partir disso, foram elaborados os inventários ambientais de três cenários:

- i. cenário-base, onde o resíduo é disposto no aterro sanitário, para o caso da biodigestão, e o biogás é direcionado para *flares* abertos, no caso da ETE;
- ii. cenário no qual o biogás é utilizado para geração de energia elétrica e o digestato/lodo é encaminhado para compostagem/aplicação agrícola;
- iii. cenário no qual o biogás é utilizado para produção de biometano (com concentração de 96% de metano) e usado como combustível em substituição ao diesel, com 12% de biodiesel, e o digestato/lodo é encaminhado para compostagem/uso agrícola.

Para a ETE, em todos os cenários, foi considerado o lançamento do efluente tratado em corpo receptor.

Nas **Figuras V e VI**, é possível observar o limite adotado para a avaliação na Estação de tratamento de esgoto e para a biodigestão, respectivamente.

Figura V
Limite do sistema para a atividade de tratamento de esgoto ETE – Sanepar.

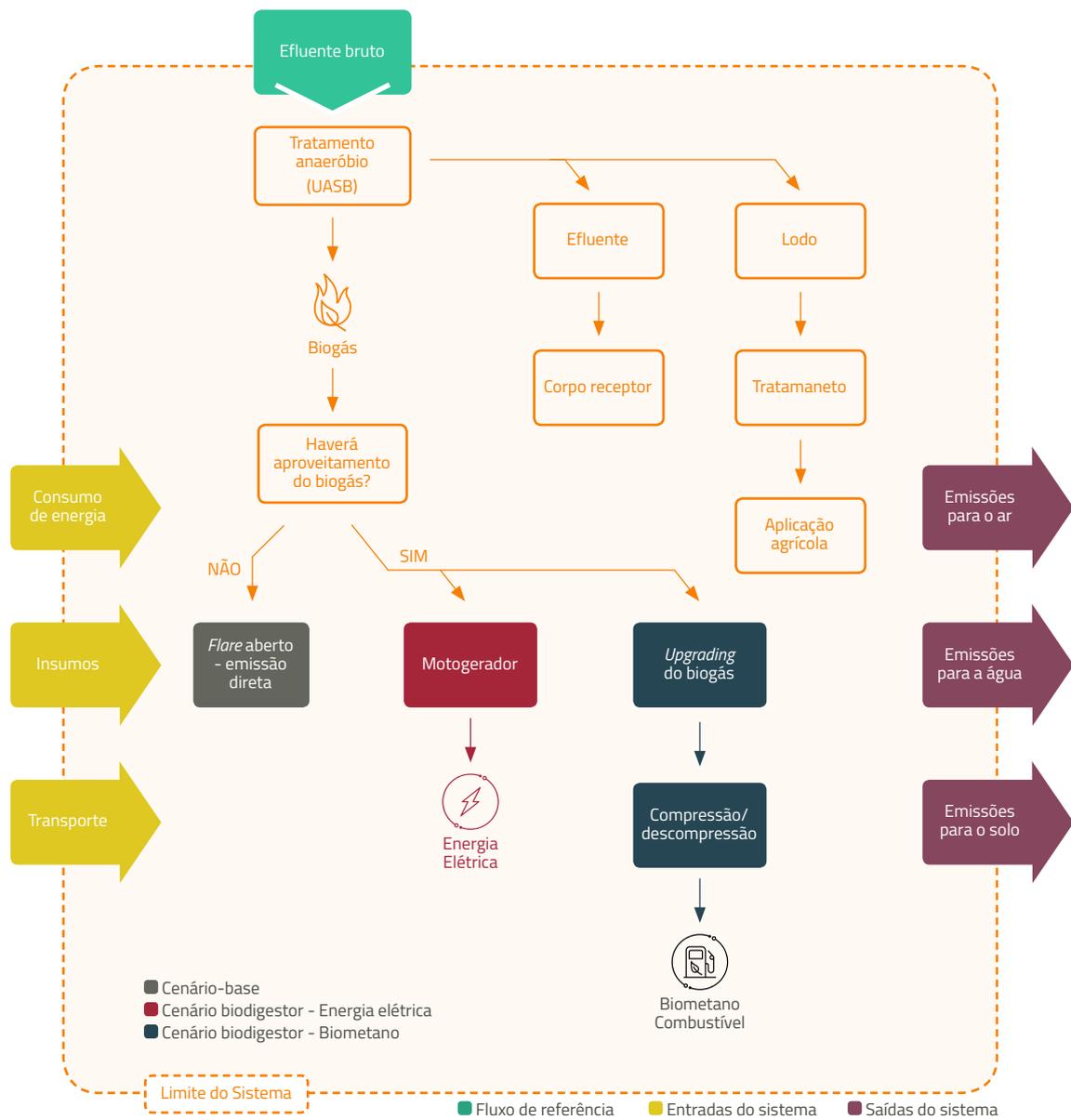
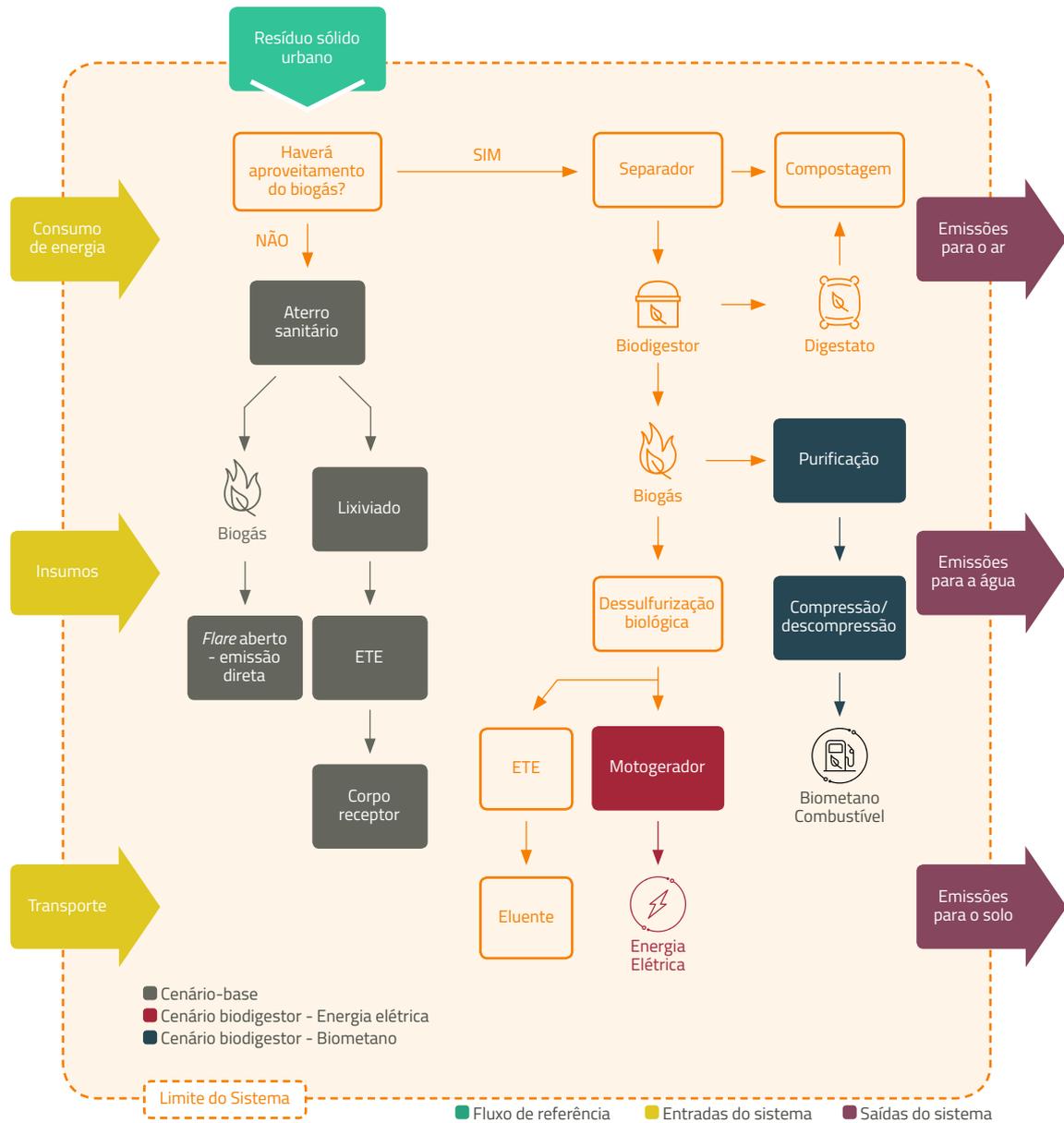


Figura VI
Limite do sistema para a CS Bioenergia.



APÊNDICE II

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE SUINOCULTURA

Para a estimativa da redução dos impactos ambientais, foi realizado o inventário do cenário-base, no qual o dejetos é encaminhado para uma esterqueira.

No inventário do cenário-base (*Tabela IV*), foram considerados o armazenamento do dejetos por 120 dias na esterqueira e posterior aplicação agrícola. No armazenamento, foram consideradas as emissões de CH_4 e de NH_3 . Para a estimativa das emissões de CH_4 , foi utilizado o modelo apresentado por (SARDÁ et al., 2018) e utilizado pela Embrapa Suínos e Aves. O cálculo leva em conta os dias de armazenamento e a concentração de SV no dejetos, a última considerada como 18 g/kg. Para a estimativa de emissão de NH_3 , foi utilizado o modelo apresentado por (KUNZ; MUKHTAR, 2016), que leva em consideração os dias de armazenamento e a concentração de amônia do dejetos, a última considerada como 1.800 mg/L.

As emissões provenientes da aplicação agrícola, consideradas em todos os cenários, foram estimadas de acordo com fatores de emissão apresentados por (CHERUBINI et al., 2015), que utilizam a concentração nitrogênio, amônia, zinco, cobre e fósforo do dejetos e digestato. As emissões consideradas foram: NH_3 , N_2O e NO para o ar, zinco e cobre para o solo e nitrato e fósforo lixiviados para água. Para essa aplicação, foi considerado o uso de trator, a partir de inventário de fertilização da base de dados do *ecoinvent*, com uma taxa de 80 m³/ha, média de aplicação calculada em função da concentração de nutrientes do digestato, para uma cultura de milho.

Foram considerados, ainda, os impactos evitados pela produção e uso dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados, utilizando inventários da base de dados do *ecoinvent*, estimados com base no teor de nitrogênio e fósforo do digestato.

Tabela IV**Inventário para o cenário-base de suinocultura
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto suíno	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW}</i> <i>urea ammonium nitrate production</i> APOS, U	2,9272kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW}</i> <i>single superphosphate production</i> APOS, U	1,832 K
Processo de aplicação no solo	<i>Fertilising, by broadcaster {BR}</i> <i>fertilising, by broadcaster</i> APOS, U	0,0125 ha
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento	<i>Methane, biogenic</i>	3,7268 kg
	<i>Ammonia</i>	0,1728 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo	<i>Ammonia</i>	0,8157 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,0401 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,3186 kg
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Nitrate</i>	1,1562 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,0042 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Zinc</i>	0,0635 kg
	<i>Copper</i>	0,0090 kg

APÊNDICE III

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE BOVINOCULTURA

Para a bovinocultura de corte no inventário do cenário-base (*Tabela I*), foram considerados o transporte interno por caminhão, da base de dados do *ecoinvent*, e o armazenamento por 120 dias na esterqueira e posterior aplicação agrícola. No armazenamento, foram consideradas as emissões de CH_4 e de NH_3 . Para a estimativa das emissões de CH_4 , foi utilizado o modelo apresentado por (SARDÁ et al., 2018). O cálculo leva em conta os dias de armazenamento e a concentração de SV no dejetos, a última considerada como 42% (dado real do dejetos da propriedade). Para a estimativa de emissão de NH_3 , foi utilizado o modelo apresentado por (KUNZ; MUKHTAR, 2016), que leva em consideração os dias de armazenamento e a concentração de amônia do dejetos, a última considerada como 3.023 mg/L.

As emissões provenientes da aplicação agrícola, consideradas em todos os cenários, foram estimadas de acordo com fatores de emissão apresentados por (CHERUBINI et al., 2015), que utilizam a concentração nitrogênio, amônia, zinco, cobre e fósforo do dejetos e digestato. As emissões consideradas foram: NH_3 , N_2O e NO para o ar, zinco e cobre para o solo e nitrato e fósforo lixiviados para água. Para essa aplicação, foi considerado o uso de trator, a partir de inventário de fertilização da base de dados do *ecoinvent*, com uma taxa de 80 m³/ha, média de aplicação calculada em função da concentração de nutrientes do digestato, para uma cultura de milho.

Foram considerados, ainda, em todos os cenários: os impactos evitados dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados, utilizando inventários da base de dados do *ecoinvent*, estimados com base no teor de nitrogênio e fósforo do digestato; e a energia elétrica/combustível evitados.

Tabela V
Inventário para o cenário-base de bovinocultura de corte
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto de bovinocultura de corte	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW}</i> <i>urea ammonium nitrate production</i> APOS, U	159,67 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW}</i> <i>single superphosphate production</i> APOS, U	2,13 kg
Processo de aplicação no solo	<i>Fertilising, by broadcaster {BR}</i> <i>fertilising, by broadcaster</i> APOS, U	0,0125 ha
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i> <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3</i> APOS, U	0,0125 ha
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento	<i>Methane, biogenic</i>	86,96 kg
	<i>Ammonia</i>	0,25 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo	<i>Ammonia</i>	1,13 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	2,19 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,44 kg
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Nitrate</i>	63,07 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,0043 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Zinc</i>	0,060 kg
	<i>Copper</i>	1,10 kg

Para a bovinocultura de leite, (*Tabela VI*), foram considerados o armazenamento por 120 dias na esterqueira e posterior aplicação agrícola. Nesse processo, considerou-se que ocorrem emissões de metano (CH_4) e de amônia (NH_3). Para estimativa das emissões de CH_4 , foi utilizado o modelo apresentado por (SARDÁ et al., 2018), levando-se em conta os dias de armazenamento e a concentração de SV no dejetto, a última considerada como 4,28% (dado real do dejetto da propriedade em 2019). Para a estimativa de emissão de NH_3 , foi utilizado o modelo apresentado por (KUNZ; MUKHTAR, 2016), que leva em consideração os dias de armazenamento e a concentração de amônia do dejetto, a última considerada como 588,32 mg/L, estimada com base na concentração de nitrogênio (análise datada de 06/03/2019).

As emissões provenientes da aplicação agrícola, consideradas em todos os cenários, foram estimadas de acordo com fatores de emissão apresentados por (CHERUBINI et al., 2015), que utilizam a concentração nitrogênio, amônia, zinco, cobre e fósforo do dejetto e digestato. As emissões consideradas foram: NH_3 , N_2O e NO para o ar, zinco e cobre para o solo e nitrato e fósforo lixiviados para água. Para a aplicação agrícola, foi considerado o trator utilizado para a aplicação agrícola, a partir de inventário de fertilização da base de dados do *ecoinvent*. O inventário utilizado considera a aplicação de fertilizante com um trator (120 cv) acoplado a uma emissora (capacidade de carga de 10t). O consumo de combustível é de 12 litros por hora. O conjunto de dados inclui o consumo de óleo diesel e as emissões da combustão do diesel e da abrasão do pneu durante o processo.

Foram considerados, ainda, os impactos evitados pela não utilização de fertilizantes minerais fosfatados e nitrogenados. Os inventários foram coletados da base de dados do *ecoinvent* e estimados com base no teor de nitrogênio e fósforo do digestato e de energia elétrica/combustível evitados.

Tabela VI
Inventário para o cenário-base de bovinocultura de leite
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto de bovinocultura de leite	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	1,59
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,70 kg
Transporte do digestato	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	4 tkm
Processo de aplicação no solo	<i>Fertilising, by broadcaster {BR} fertilising, by broadcaster APOS, U</i>	0,0125 ha
Uso da energia elétrica	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	2,16 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento	<i>Methane, biogenic</i>	8,87 kg
	<i>Ammonia</i>	0,123 kg
	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	12,59 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo	<i>Ammonia</i>	0,61 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,022 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,24 kg
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Nitrate</i>	0,63kg
	<i>Phosphorus</i>	0,0032 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Zinc</i>	0,00298 kg
	<i>Copper</i>	0,00228 kg

APÊNDICE IV

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE OVINOCULTURA

No inventário do cenário-base para ovinocultura (*Tabela VII*), foram considerados o armazenamento do dejetos por 120 dias na esterqueira e posterior aplicação agrícola. Nesse processo, considerou-se que ocorrem emissões de metano (CH_4) e de amônia (NH_3). Para a estimativa das emissões de CH_4 , foi utilizado o modelo apresentado por (SARDÁ et al., 2018), que leva em conta os dias de armazenamento e a concentração de SV no dejetos, a última considerada como 56% (dado real do dejetos da propriedade). Para a estimativa de emissão de NH_3 , foi utilizado o modelo apresentado por (KUNZ; MUKHTAR, 2016), que leva em consideração os dias de armazenamento e a concentração de amônia do dejetos, a última considerada como 1.612 mg/L.

As emissões provenientes da aplicação agrícola em cultura de milho, consideradas em todos os cenários, foram estimadas de acordo com fatores de emissão apresentados por (CHERUBINI et al., 2015), que utilizam a concentração nitrogênio, amônia, zinco, cobre e fósforo do dejetos e digestato. As emissões consideradas foram: NH_3 , N_2O e NO para o ar, zinco e cobre para o solo e nitrato e fósforo lixiviados para água. Para essa aplicação, foi considerado o uso de trator, a partir de inventário de fertilização da base de dados do *ecoinvent*, com uma taxa de 80 m^3/ha , média de aplicação calculada em função da concentração de nutrientes do digestato para uma cultura de milho.

Foram considerados, ainda: os impactos evitados pela produção e uso dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados, utilizando inventários da base de dados do *ecoinvent*, estimados com base no teor de nitrogênio e fósforo do digestato; e a energia elétrica/combustível evitados.

Tabela VII
**Inventário para o cenário-base de ovinocultura
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto da ovinocultura	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW}</i> <i>urea ammonium nitrate production</i> APOS, U	154,5 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW}</i> <i>single superphosphate production</i> APOS, U	10,4 kg
Processo de aplicação no solo	<i>Fertilising, by broadcaster {BR}</i> <i>fertilising, by broadcaster</i> APOS, U	0,0125 ha
Transporte	<i>Transport, tractor and trailer, agricultural {RoW}</i> <i>processing</i> APOS, U	2,5 tkm
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento	<i>Methane, biogenic</i>	115,94 kg
	<i>Ammonia</i>	0,16 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo	<i>Ammonia</i>	0,77 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	2,117 k
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,30 kg
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Nitrate</i>	61,03 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,009 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Zinc</i>	0,001 kg
	<i>Copper</i>	0,00023 kg

APÊNDICE V

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA PARA EFLUENTE DE CERVEJARIA

Para a realização do inventário do cenário-base, foi considerado que o efluente segue para tratamento anaeróbio, o biogás é queimado em *flare* aberto e o lodo é destinado para compostagem. Na etapa de queima do biogás, considerou-se as emissões de CH₄, sulfeto de hidrogênio (H₂S) e dióxido de enxofre (SO₂) para o ar (*Tabela VIII*). Para o efluente líquido, foi considerada a concentração de nitrogênio e fósforo. A distância da geração do lodo até o destino final é de 130 km e a concentração de sólidos totais é de 15%.

Tabela VIII

Inventário para o cenário-base de efluente de cervejaria
(Unidade Funcional= tratamento de 1m³ de efluente).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Efluente de cervejaria	1 m ³
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Transporte até compostagem	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	0,13 tkm
Consumo de energia elétrica	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	0,86 kWh
Compostagem de resíduos industriais	<i>Biowaste {RoW} treatment of biowaste, industrial composting APOS, U</i>	1,03 kg
Substâncias		
Emissões para o ar do <i>flare</i> aberto	<i>Methane, biogenic</i>	0,02 kg
	<i>Hydrogen sulfide</i>	9,98 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Sulfur dioxide</i>	1,88 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões do tratamento de efluente	<i>Nitrogen</i>	0,04 kg
	<i>Phosphorus</i>	7,45 x 10 ⁻⁰⁶ kg

APÊNDICE VI

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO

No inventário do cenário-base de resíduo sucroenergético, considerou-se o armazenamento nas lagoas, para a estabilização dos resíduos e posterior aplicação agrícola. Nesse processo, considerou-se a ocorrência de emissões de CH_4 e de amônia (NH_3). Para a estimativa das emissões de CH_4 , foi utilizado o modelo apresentado por (SARDÁ et al., 2018), que leva em conta os dias de armazenamento (4 dias para vinhaça e 30 dias para a torta) e a concentração de SV (7,7% para vinhaça e 18,32% para torta de filtro).

As emissões provenientes da aplicação agrícola foram estimadas de acordo com fatores de emissão apresentados por (CHERUBINI et al., 2015), que utilizam a concentração nitrogênio, amônia, zinco, cobre e fósforo dos resíduos e digestato. As emissões consideradas foram: NH_3 , N_2O e NO para o ar, zinco e cobre para o solo e nitrato e fósforo lixiviados para a água.

Foram considerados, ainda, em todos os cenários, os impactos evitados por não serem utilizados fertilizantes minerais. Os inventários utilizados são da base de dados do *ecoinvent*, e os valores dos fluxos foram estimados com base na energia elétrica e no combustível evitados e nos teores de nitrogênio e fósforo do digestato.

Tabela IX**Inventário para o cenário-base de manejo de resíduos de atividade sucroenergética (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduo sucroenergético	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Uso da energia elétrica	<i>Electricity, ulfat voltage {BR-South-eastern grid} electricity voltage transformation from high to ulfat voltage APOS, U</i>	0,30 kWh
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	8 tkm
Transporte até uso agrícola	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	29,55 tkm
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	81,15 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante nitrogenado evitado (sólido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	29,84 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	54,73 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante fosfatado evitado (sólido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	47,84 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante de potássio evitado (líquido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	4,53 kg
Fertilizante de potássio evitado (sólido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	7,46 x 10 ⁻⁰² kg
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento (vinhaça)	<i>Methane, biogenic</i>	52,05 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Ammonia</i>	2,33 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Emissões para o ar do armazenamento (torta)	<i>Methane, biogenic</i>	32,13 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Ammonia</i>	9,65 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Emissões para o ar do armazenamento (torta)	<i>Ammonia</i>	1,84 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,11 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Nitrogen</i>	3,33 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,01 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo (torta)	<i>Ammonia</i>	8,10 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	4,09 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Nitrogen</i>	1,22 x 10 ⁻⁰² kg
Emissões para a água da aplicação no solo (liquefétil)	<i>Nitrate</i>	0,32 kg
	<i>Phosphorus</i>	29,84 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Nitrate</i>	0,12 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (torta)	<i>Phosphorus</i>	3,82 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Nitrate</i>	0,12 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo (liquefétil)	<i>Zinc</i>	0,83 g
	<i>Copper</i>	0,46 g
Emissões para o solo da aplicação no solo (liquefétil)	<i>Zinc</i>	0,07 g
	<i>Copper</i>	0,04 g



APÊNDICE VII

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA DE ESGOTO

Para a estimativa de impactos ambientais, foi realizado o inventário do cenário-base de esgoto (**Tabela X**), sendo o cenário-base aquele em que o biogás é direcionado para queima em *flares* abertos.

Foram considerados: o transporte dos resíduos do tratamento preliminar até o aterro, a queima do biogás em *flare* aberto, o tratamento do lodo e o efluente tratado.

Tabela X
Inventário para o cenário-base – ETE Sanepar
(Unidade Funcional= tratamento de 1m³)

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Esgoto a ser tratado	1 m ³
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW}</i> urea ammonium nitrate production APOS, U	3,07 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW}</i> single superphosphate production APOS, U	7,32 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	0,02 tkm
Peróxido de hidrogênio	<i>Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RoW}</i> hydrogen peroxide production, product in 50% solution state APOS, U	0,07 kg
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid}</i> electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U	0,09 kWh
Diesel	<i>Diesel {BR}</i> market for diesel APOS, U	8,89 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	1,21 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Calcário para higienização do lodo	<i>Limestone, crushed, for mill {RoW}</i> production APOS, U	0,03 kg
Diesel para higienização do lodo	<i>Diesel {BR}</i> market for diesel APOS, U	5,60 x 10 ⁻⁰⁷ kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	7,64 x 10 ⁻⁰⁸ kg
Diesel (aterro)	<i>Diesel, burned in building machine {GLO}</i> processing APOS, U	2,55 x 10 ⁻⁰⁴ kWh
Substâncias		
Emissões para o ar do armazenamento (vinhaça)	<i>Ammonia</i>	4,21 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,88 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	3,95 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	3,23 x 10 ⁻⁰⁷ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	7,01 x 10 ⁻⁰⁷ kg
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Particulates</i>	7,01 x 10 ⁻⁰⁹ kg
	<i>Nitrate</i>	5,67 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Phosphate</i>	3,32 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Zinc</i>	1,80 x 10 ⁻⁰⁷ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Copper</i>	2,02 x 10 ⁻⁰⁸ kg
	<i>Zinc</i>	1,35 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Emissões para o ar da higienização do lodo	<i>Copper</i>	1,79 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Ammonia</i>	1,14 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	1,85 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	3,52 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	7,62 x 10 ⁻⁰⁶ kg
Emissões para o ar do flare aberto	<i>Particulates</i>	7,62 x 10 ⁻⁰⁸ kg
	<i>Methane, biogenic</i>	0,01 kg
	<i>Hydrogen sulfide</i>	6,02 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Emissões para o ar no aterro	<i>Sulfur dioxide</i>	1,13 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Methane</i>	8,08 x 10 ⁻¹⁰ t
Emissões para água no aterro	<i>COD, Chemical Oxygen Demand</i>	2,26 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>COD, Chemical Oxygen Demand</i>	5,38 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Solids, inorganic</i>	1,05 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Ammonia</i>	1,19 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Nitrogen</i>	9,15 x 10 ⁻¹¹ t
	<i>Phosphorus</i>	3,65 x 10 ⁻¹¹ t
Emissões para o ar do flare de biogás no aterro	<i>Methane, biogenic</i>	1,59 x 10 ⁻⁰⁶ t
	<i>Nitrogen, total</i>	9,74 x 10 ⁻⁰⁸ t
	<i>Ammonia</i>	2,44 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Carbon monoxide</i>	5,56 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Sulfur dioxide</i>	2,46 x 10 ⁻⁰⁸ t
	<i>Nitrogen oxides</i>	1,34 x 10 ⁻¹² t
	<i>Particulates</i>	8,14 x 10 ⁻¹⁰ t



APÊNDICE VIII

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO-BASE DO CICLO DE VIDA PARA RESÍDUO SÓLIDO URBANO

Neste cenário-base, considera-se que o resíduo é encaminhado para o aterro sanitário, adaptado de acordo com o inventário de um aterro brasileiro, conforme apresentado por (GUTIERREZ; FERNANDES; CHERNICHARO, 2019).

No inventário do cenário-base (*Tabela XI*), foram considerados o transporte da fração sólida até o aterro, o diesel e a queima deste para a operação do aterro, a queima do biogás em *flare* aberto e o tratamento do lixiviado e suas emissões.

Tabela XI
Inventário para o cenário-base (aterro sanitário)
(Unidade Funcional= tratamento de 1t).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduo sólido municipal	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Transporte de fração sólida até o aterro	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i> <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3</i> APOS, U	15 tkm
Utilização e queima de diesel para operação do aterro	<i>Diesel, burned in building machine {GLO}</i> <i>processing</i> APOS, U	4,32 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões provenientes do biogás gerado	<i>Methane, biogenic</i>	0,027 t
	<i>Nitrogen, total</i>	$1,65 \times 10^{-3}$ t
	<i>Ammonia</i>	$4,13 \times 10^{-4}$ t
	<i>Carbon monoxide</i>	$9,43 \times 10^{-5}$ t
	<i>Sulfur dioxide</i>	$4,17 \times 10^{-4}$ t
	<i>Nitrogen oxides</i>	$2,27 \times 10^{-8}$ t
	<i>Particulates</i>	$1,38 \times 10^{-5}$ t
Emissões provenientes do tratamento do lixiviado	<i>Methane</i>	$1,37 \times 10^{-5}$ t
	<i>BOD₅, Biological Oxygen Demand</i>	$3,82 \times 10^{-5}$ t
	<i>COD, Chemical Oxygen Demand</i>	$9,12 \times 10^{-5}$ t
	<i>Solids, inorganic</i>	$1,77 \times 10^{-5}$ t
	<i>Ammonia</i>	$2,02 \times 10^{-5}$ t
	<i>Nitrogen, organic bound</i>	$1,55 \times 10^{-6}$ t
	<i>Phosphorus</i>	$6,19 \times 10^{-7}$ t



APÊNDICE IX

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE SUINOCULTURA

Na consideração dos inventários de cenários de uso de biogás para geração de energia elétrica da suinocultura, foram levados em conta o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado, e as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). Para o transporte dos dejetos até o biodigestor e para a geração de energia elétrica no motogerador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional. O inventário desse cenário tratou da substituição dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados da mesma forma que o cenário-base.

Na **Tabela XII** são apresentados os valores utilizados em cada empreendimento, para realizar o ACV para os casos estudados na suinocultura.

▪ Suinocultura EnerDinBo

Para a estimativa da emissão de metano e amônia na lagoa de armazenamento de digestato, foi considerado o valor real medido de SV, ou seja, 877 mg/L na saída do biodigestor/entrada da lagoa. O cálculo de amônia foi realizado de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016).

▪ Suinocultura Fazenda Recanto 1 e 2

Para a estimativa da emissão de metano e amônia na lagoa de digestato, foram considerados os valores de SV e de amônia para o cálculo, de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). O valor utilizado para SV foi de 7 g/L, conforme boletim informativo da Embrapa e eficiência de remoção dos biodigestores (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998). O digestato sólido, proveniente do separador, é encaminhado para pátio de compostagem. Foram considerados o transporte até o pátio e as emissões provenientes da compostagem, antes da aplicação agrícola. Para o cálculo, foram utilizados: as concentrações de SV e nitrogênio do dejetos e os fatores de emissão apresentados por (CHERUBINI et al., 2015).

▪ Suinocultura Condomínio Entre Rios do Oeste

Para a estimativa da emissão de metano na lagoa de digestato, foi considerado o valor real medido de SV, que foi de 3,95 g/kg. O cálculo de amônia foi realizado de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016).

▪ Suinocultura Granja Romário Schaefer

Foi considerado o tempo atual de armazenamento (100 dias) e, para a estimativa da emissão de metano e amônia na lagoa de digestato, foram considerados os valores de SV e de amônia para o cálculo, de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). O valor de SV foi estimado de acordo com a eficiência do biodigestor (60,7%), sendo utilizado o valor de 7 kg/m³. Para a amônia, foi usado um incremento na concentração de 23%, sendo utilizado o valor de 2.214 mg/L.

Tabela XII

**Inventários para os cenários de geração de energia elétrica proveniente de suinocultura
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Etapas	Processos/Substâncias	EnerDinBo	Fazenda Recanto 1 – Geração de Energia Elétrica	Fazenda Recanto 2 – Geração de Biometano	Condomínio de Entre Rios do Oeste (3Di Engenharia)	Granja Romário Schaefer
Fluxo de referência	Dejeto suíno					1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)						
Energia elétrica evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	44,64 kWh	15 kWh	8,46 kWh	42,01 kWh	2,78 kWh
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	1,81 kg	1,6 kg	1,68 kg	2,86 kg	0,22 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,44 kg	0,92 kg	0,92 kg	0,27 kg	0,10 kg
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	12 tkm	0,2tkm	0,2tkm	0	0
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	0,20 kWh	0,29 kWh	0	1,996 kWh	1,20 kWh
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>	0,20 kWh	0,29 kWh	0	1,996 kWh	1,20 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)						
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	0,045834 kg	0,3658 kg	0,3658 kg	0,206 kg	0,95 kg
	<i>Ammonia</i>	0,029200 kg	0,029200 kg	0,0292 kg	0,029 kg	0,12 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Ammonia</i>	0,61 kg	0,51 kg	0,51 kg	0,64 kg	0,05 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,01436 kg	0,0125 kg	0,0125 kg	0,0223 kg	0,0017 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,24 kg	0,2 kg	0,2 kg	0,25 kg	0,02 kg
Emissões para a água da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Nitrate</i>	0,68kg	0,59 kg	0,59 kg	1,05 kg	0,08
	<i>Phosphorus</i>	0,00316 kg	0,003625 kg	0,003625 kg	0,003 kg	0,00388 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Zinc</i>	0,050705 kg	0,04274 kg	0,04274 kg	0,05342 kg	0,00415 kg
	<i>Copper</i>	0,00707 kg	0,00595 kg	0,00595 kg	0,00744 kg	0,00058 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do biofertilizante sólido	<i>Ammonia</i>	-	0,51 kg	0,51 kg	-	-
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	-	0,0125 kg	0,0125 kg	-	-
	<i>Nitrogen monoxide</i>	-	0,2 kg	0,2 kg	-	-
Emissões para a água da aplicação no solo do biofertilizante sólido	<i>Nitrate</i>	-	0,59 kg	0,59 kg	-	-
	<i>Phosphorus</i>	-	0,00362355 kg	0,00362355 kg	-	-
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato sólido	<i>Zinc</i>	-	0,042736 kg	0,042736 kg	-	-
	<i>Copper</i>	-	0,005952 kg	0,005952 kg	-	-
Emissões para o ar da compostagem	<i>Ammonia</i>	-	0,00052 kg	0,00052 kg	-	-
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	-	0,000104 kg	0,000104 kg	-	-
	<i>Nitrogen monoxide</i>	-	0,000104 kg	0,000104 kg	-	-
	<i>Methane</i>	-	0,04872 kg	0,04872 kg	-	-

* Os valores apresentados na tabela acima não devem ser utilizados para realizar comparações entre as unidades, pois cada unidade produtiva apresenta suas especificidades na execução da atividade.

APÊNDICE X

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE BOVINOCULTURA

No inventário do cenário de uso de biogás para geração de energia elétrica (*Tabela XIII*), foram considerados o uso de energia elétrica, da base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado (sudeste), e as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). Para o transporte dos dejetos até o biodigestor e a geração de energia elétrica no motogerador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional. O inventário desse cenário tratou da substituição dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados da mesma forma que o cenário-base.

Para a estimativa da emissão de metano e amônia na lagoa de digestato, foram considerados os valores de SV e de amônia para o cálculo, de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). O valor de SV foi o real do projeto, sendo a eficiência do biodigestor de 50%.

Tabela XIII

Inventário para o cenário de geração de energia elétrica de bovinocultura de corte (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto de bovinocultura de corte	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Energia elétrica evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern-Eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	216,41 kWh
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	149,17 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	1,67 kg
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	1 tkm
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	216,41 kWh
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>	216,41 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	11,52 kg
	<i>Ammonia</i>	0,0569 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Ammonia</i>	1,18 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,16 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,46 kg
Emissões para a água da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Nitrate</i>	55,04 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,0041 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Zinc</i>	0,504 kg
	<i>Copper</i>	0,913 kg

Para o inventário de bovinocultura de leite (*Tabela XIV*), foram considerados o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado, e as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH₄ e NH₃), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). Para o transporte dos dejetos até o biodigestor e a geração de energia elétrica no motorizador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional. O inventário desse cenário tratou da substituição dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados da mesma forma que o cenário-base.

Para a estimativa da emissão de metano e amônia na lagoa de digestato, foram considerados os valores de SV e de amônia para o cálculo, de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). O valor de SV foi o real do projeto, sendo de 0,02% (análise de 06 de março de 2019), após o biodigestor.

Tabela XIV

Inventário para o cenário de geração de energia elétrica de bovinocultura de leite (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto		Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto bovino de leite		1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)			
Energia elétrica evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern-Eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>		8,58 kWh
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>		1,52 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>		0,43 kg
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>		1,26 tkm
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>		4,25 kWh
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>		8,58 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)			
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>		2,30 kg
	<i>Ammonia</i>		0,08 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Ammonia</i>		0,61 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>		0,011 kg
	<i>Nitrogen</i>		0,05 kg
Emissões para a água da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Nitrogen monoxide</i>		0,24 kg
	<i>Nitrate</i>		0,537565 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Phosphorus</i>		0,002717 kg
	<i>Zinc</i>		0,0025 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do biofertilizante sólido	<i>Copper</i>		0,00189 kg
	<i>Ammonia</i>		0,0008 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>		0,000512 kg
Emissões para a água da aplicação no solo do biofertilizante sólido	<i>Nitrogen</i>		0,002295 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>		0,000328 kg
	<i>Nitrate</i>		0,0242 kg
Emissões para o ar da compostagem	<i>Phosphorus</i>		0,000461 kg
	<i>Ammonia</i>		0,0085 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>		0,01 kg
Emissões para o ar da compostagem	<i>Nitrogen monoxide</i>		0,00026 kg
	<i>Methane</i>		0,051 kg

APÊNDICE XI

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE OVINOCULTURA

No inventário do cenário de uso de biogás para a geração de energia elétrica para ovinocultura (**Tabela XV**), foram considerados o uso de energia elétrica, da base de dados do *ecoinvent*, para a região brasileira na qual o projeto está localizado (sudeste), e as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). Para o transporte interno dos dejetos e a geração de energia elétrica no motogerador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional. O inventário desse cenário tratou da substituição dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados da mesma forma que o cenário-base.

Para a estimativa da emissão de metano e amônia na lagoa de digestato, foram considerados os valores de SV e de amônia para o cálculo, de acordo com (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016). O valor de SV foi o real do projeto (0,6% na saída do biodigestor), com uma remoção de SV de 50% no biodigestor.

Tabela XV

Inventário para o cenário de geração de energia elétrica de ovinocultura (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto da ovinocultura	1 t
Inventários adaptados (base: <i>Ecoinvent</i>)		
Energia elétrica evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern-Eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	394,9 kWh
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	144,37 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	8,143 kg
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	2,5 tkm
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	21 kWh
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>	394,9 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	12,54 kg
	<i>Ammonia</i>	0,033 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Ammonia</i>	0,71 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,126 kg
Emissões para a água da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,28 kg
	<i>Nitrate</i>	53,27 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Phosphorus</i>	0,00805 kg
	<i>Zinc</i>	0,00090 kg
	<i>Copper</i>	0,00019 kg

APÊNDICE XII

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE EFLUENTE DE CERVEJARIA

No inventário do cenário energia elétrica (*Tabela XVI*), foi considerado o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado (região sul). A geração de energia elétrica na turbina, o transporte do lodo e a compostagem também foram considerados com base em inventários da base de dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional.

Tabela XVI

Inventário para o e cenário energia elétrica do tratamento de efluente - Cervejaria (Unidade Funcional= 1 m³ de efluente).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Efluente de cervejaria	1 m ³
Inventários adaptados (base: <i>Ecoinvent</i>)		
Transporte até a compostagem	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i> <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3</i> APOS, U	0,13 tkm
Consumo de energia elétrica	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern-Eastern grid}</i> <i>electricity voltage transformation from high to medium voltage</i> APOS, U	0,86 kWh
Compostagem de resíduos industriais	<i>Biowaste {RoW}</i> <i>treatment of biowaste, industrial composting</i> APOS, U	1,03 kg
Uso evitado de energia elétrica	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern-Eastern grid}</i> <i>electricity voltage transformation from high to medium voltage</i> APOS, U	0,37 kWh
Turbina	<i>Electricity, low voltage {CH}</i> <i>biogas, burned in micro gas turbine</i>	0,37 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do flare aberto	<i>Methane, biogenic</i>	0,02 kg
	<i>Hydrogen sulfide</i>	9,98 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Sulfur dioxide</i>	1,88 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões do tratamento de efluente	<i>Nitrogen</i>	0,04 kg
	<i>Phosphorus</i>	7,445 x 10 ⁻⁰³ kg



APÊNDICE XIII

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO

No inventário do cenário de uso de biogás para geração de energia elétrica (*Tabela XVII*), foi considerado o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado. Para o transporte do digestato e a geração de energia elétrica no motogerador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se os fatores da matriz elétrica regional. O inventário desse cenário tratou da substituição dos fertilizantes da mesma forma que o cenário-base.

Tabela XVII
Inventário do cenário de uso do biogás para produção de energia elétrica de atividade sucroenergética (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduo sucroenergético	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Energia elétrica consumida	<i>Electricity, medium voltage {BR-South-eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	9,60 kWh
Transporte até uso agrícola	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	29,55 tkm
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	3,89 tkm
Energia evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-South-eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	32,35 kWh
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	82,06 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante nitrogenado evitado (sólido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	15,21 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	40,66 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante fosfatado evitado (sólido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	14,81 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante de potássio evitado (líquido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	4,68 kg
Fertilizante de potássio evitado (sólido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	4,79 x 10 ⁻⁰² kg
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>	32,35 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido (liquefétil)	<i>Ammonia</i>	10,50 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	6,40 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Nitrogen</i>	28,72 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,04 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato sólido (organogeo)	<i>Ammonia</i>	0,02 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,19 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Nitrogen</i>	5,32 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,01 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato líquido- liquefétil)	<i>Nitrate</i>	0,30 kg
	<i>Phosphorus</i>	3,05 x 10 ⁻⁰³ kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato sólido - organogeo)	<i>Nitrate</i>	0,06 kg
	<i>Phosphorus</i>	2,25 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido – liquefétil	<i>Zinc</i>	69,55 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Copper</i>	38,09 x 10 ⁻⁰² kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido – liquefétil	<i>Zinc</i>	1,12 kg
	<i>Copper</i>	0,64 kg



APÊNDICE XIV

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE ESGOTO

No inventário do cenário de uso de biogás para geração de energia elétrica (*Tabela XVIII*), foi considerado o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado (região sul). Para as estimativas do cenário com geração de energia elétrica no motogerador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional.

Tabela XVIII
**Inventário para o cenário energia elétrica de esgoto a ser tratado
(Unidade Funcional = tratamento de 1 m³ de efluente).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Esgoto a ser tratado	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW}</i> <i>urea ammonium nitrate production</i> APOS, U	3,07 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW}</i> <i>single superphosphate production</i> APOS, U	7,32 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Eletricidade evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-South-eastern grid}</i> <i>electricity voltage transformation from high to medium voltage</i> APOS, U	0,16 kWh
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	0,016 tkm
Peróxido de hidrogênio	<i>Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RoW}</i> <i>hydrogen peroxide production, product in 50% solution state</i> APOS, U	0,07 kg
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW}</i> <i>heat and power co-generation, biogas, gas engine</i> APOS, U	0,16 kWh
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid}</i> <i>electricity voltage transformation from high to medium voltage</i> APOS, U	0,09 kWh
Diesel para aplicação no solo	<i>Diesel {BR}</i> <i>market for diesel</i> APOS, U	8,89 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	1,21 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Calcário para higienização do lodo	<i>Limestone, crushed, for mill {RoW}</i> <i>production</i> APOS, U	0,03 kg
Transporte (higienização do lodo)	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i> <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3</i> APOS, U	2,65 x 10 ⁻⁰⁷ tkm
Diesel	<i>Diesel {BR}</i> <i>market for diesel</i> APOS, U	5,6 x 10 ⁻⁰⁷ kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	7,64 x 10 ⁻⁰⁸ kg
Transporte (resíduo para aterro)	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i> <i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3</i> APOS, U	8,85 x 10 ⁻⁰⁴ tkm
Diesel (aterro)	<i>Diesel, burned in building machine {GLO}</i> <i>processing</i> APOS, U	2,55 x 10 ⁻⁰⁴ kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Aplicação no solo	<i>Ammonia</i>	4,21 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,88 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	3,95 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	3,23 x 10 ⁻⁰⁷ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	7,01 x 10 ⁻⁰⁷ kg
	<i>Particulates</i>	7,01 x 10 ⁻⁰⁹ kg
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Nitrate</i>	5,67 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Phosphorus</i>	3,32 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Zinc</i>	1,80 x 10 ⁻⁰⁷ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Copper</i>	2,02 x 10 ⁻⁰⁸ kg
	<i>Zinc</i>	1,35 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Emissões para o ar da higienização do lodo	<i>Copper</i>	1,79 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Ammonia</i>	1,15 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	1,85 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	3,52 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	7,62 x 10 ⁻⁰⁶ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Particulates</i>	7,62 x 10 ⁻⁰⁸ kg
	<i>Methane</i>	8,08 x 10 ⁻¹⁰ t
Emissões para água no aterro	<i>BOD₅, Biochemical Oxygen Demand</i>	2,26 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>COD, Chemical Oxygen Demand</i>	5,39 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Solids, inorganic</i>	1,05 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Ammonia</i>	1,19 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Nitrogen</i>	9,15 x 10 ⁻¹¹ t
	<i>Phosphorus</i>	3,65 x 10 ⁻¹¹ t
Emissões para o ar do flare de biogás no aterro	<i>Methane, biogenic</i>	1,59 x 10 ⁻⁰⁶ t
	<i>Nitrogen, total</i>	9,74 x 10 ⁻⁰⁸ t
	<i>Ammonia</i>	2,44 x 10 ⁻⁰⁸ t
	<i>Carbon monoxide</i>	5,56 x 10 ⁻⁰⁹ t
	<i>Sulfur dioxide</i>	2,46 x 10 ⁻⁰⁸ t
	<i>Nitrogen oxides</i>	1,34 x 10 ⁻¹² t
	<i>Particulates</i>	8,14 x 10 ⁻¹⁰ t

APÊNDICE XV

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO

No inventário do cenário de uso de biogás para geração de energia elétrica (*Tabela XIX*), foi considerado o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado (região sul). Para o transporte de fração sólida dos resíduos até a unidade, para a geração de energia elétrica no motorizador e para a compostagem, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. Foram considerados os impactos evitados da geração de energia elétrica, utilizando-se fatores da matriz elétrica regional.

Para a estimativa das emissões da queima do biogás em *flare* enclausurado, foram utilizadas as eficiências de queima apresentadas por (WAGNER et al., 2017).

Tabela XIX

Inventário para o cenário energia elétrica do manejo de resíduos sólidos urbanos (Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduo sólido urbano	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Energia elétrica consumida	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	255 kWh
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	7,26 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	6,29 x 10 ⁻² kg
Transporte de fração sólida até biodigestão	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	84,4 tkm
Polímero	<i>Acrylonitrile {RoW} Sohio process APOS, U</i>	1,76 kg
Uso de eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	172,5 kWh
Emissões de motorizador de energia elétrica	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>	255 kWh
Compostagem	<i>Biowaste {RoW} treatment of biowaste, industrial composting APOS, U</i>	75,00 g
Tratamento do efluente	<i>Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 4.7E10l/year APOS, U</i>	0,78 m ³
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
	Biogás	1,91 m ³
Emissões para o ar do <i>flare</i> enclausurado	<i>Methane, biogenic</i>	8,5 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Hydrogen sulfide</i>	1,47 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Sulfur dioxide</i>	5,24 x 10 ⁻⁰³ kg

APÊNDICE XVI

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE SUINOCULTURA

Nos cenários de *upgrading* do biogás para biometano, foram considerados: o consumo de energia elétrica utilizado na base de dados do *ecoinvent* para as regiões sul e sudeste brasileira; as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016); e o processo de *upgrading* do biogás, considerando o teor de metano e a compressão e descompressão, bem como a perda energética. Os processos de *upgrading* do biogás e de compressão e descompressão do biometano foram considerados conforme apresentado por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponível na base de dados do *ecoinvent*.

Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano em veículos foram coletadas do banco de dados do *ecoinvent*, conforme são apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Foi considerado, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, foi adaptado o banco de dados do *ecoinvent*, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Para as emissões evitadas pelo uso da gasolina, para o empreendimento Fazenda Recanto 2, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano em veículos foram extraídas do banco de dados do *ecoinvent*, conforme são apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Para contabilizar o impacto ambiental da produção da gasolina, o inventário do *ecoinvent* foi adaptado com o teor de etanol da gasolina brasileira (27%).

Tabela XX
**Inventários para o cenário de produção de biometano da suinocultura
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Etapas	Processos/Substâncias	EnerDinBo	Fazenda Recanto 1 – Geração de Energia Elétrica	Fazenda Recanto 2 – Geração de Biometano	Condomínio de Entre Rios do Oeste (3Di Engenharia)	Granja Romário Schaefer
Fluxo de referência	Dejeito suíno					1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)						
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U / Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	12,7 kg	3,83 kg	-	10,90 kg	0,67 kg
Produção de gasolina evitada	<i>Petrol, unleaded {BR} market for petrol, unleaded APOS, U Ethanol, without water, in 95% solution state, from fermentation {BR} market for ethanol, without water, in 95% solution state, from fermentation APOS, U</i>	-	-	1,716 kg	-	-
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	1,84 kg	1,60 kg	1,6819 kg	2,86 kg	0,22 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,44 kg	0,93 kg	0,9252 kg	0,27 kg	0,10 kg
Transporte até unidade de biodigestão	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	12 tkm	0,2tkm	0,2tkm	0	0
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	537,75 MJ	162,15 MJ	68,42 MJ	460,71 MJ	28,51 MJ
Uso biometano	<i>Passager car, methane 96% vol., from biogas</i>	15,72 m ³	4,74 m ³	2 m ³	13,47 m ³	0,83 m ³
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	0,20 kWh	0,29kWh	0	1,996 kWh	1,15 kWh

Etapas	Substâncias (calculadas com base nos dados primários)	EnerDinBo	Fazenda Recanto 1 – Geração de Energia Elétrica	Fazenda Recanto 2 – Geração de Biometano	Condomínio de Entre Rios do Oeste (3Di Engenharia)	Granja Romário Schaefer
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	0,0458 kg	0,3658 kg	0,3658 kg	0,206 kg	0,95 kg
	<i>Ammonia</i>	0,029200 kg	0,0292 kg	0,0292 kg	0,029 kg	0,12 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Ammonia</i>	0,61 kg	0,51 kg	0,51 kg	0,64 kg	0,05 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,0144 kg	0,0125 kg	0,0125 kg	0,0223 kg	0,0017 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,24 kg	0,2 kg	0,2 kg	0,25 kg	0,02 kg
Emissões para a água da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Nitrate</i>	0,68kg	0,59 kg	0,59 kg	1,05 kg	0,08
	<i>Phosphorus</i>	0,003162 kg	0,003623 kg	0,003623 kg	0,003 kg	0,00388 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido	<i>Zinc</i>	0,0507 kg	0,0427 kg	0,0427 kg	0,0534 kg	0,0041 kg
	<i>Copper</i>	0,00707 kg	0,0059 kg	0,0059 kg	0,00744 kg	0,000579 kg
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	40,44 kg	10,24kg	-	34,65 kg	1,80 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	50,24 g	18,03g	-	43,04 g	3,17 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	9,67 g	3,47 g	-	8,28 g	0,61 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	108,99 g	39,12g	-	93,38 g	6,88 g
	<i>Particulate matter</i>	1,09 g	0,393 g	-	0,94 g	0,07 g
	<i>Methane</i>	-	-	-	-	-
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato sólido	<i>Ammonia</i>	-	0,51 kg	0,51 kg	-	-
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	-	0,0125 kg	0,0125 kg	-	-
	<i>Nitrogen monoxide</i>	-	0,2 kg	0,2 kg	-	-
Emissões para a água da aplicação no solo do digestato sólido	<i>Nitrate</i>	-	0,59 kg	0,59 kg	-	-
	<i>Phosphorus</i>	-	0,00362355 kg	0,00362355 kg	-	-
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato sólido	<i>Zinc</i>	-	0,0427 kg	0,0427 kg	-	-
	<i>Copper</i>	-	0,0059 kg	0,0059 kg	-	-
Emissões para o ar - compostagem	<i>Ammonia</i>	-	0,00052 kg	0,00052 kg	-	-
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	-	0,0001 kg	0,0001 kg	-	-
	<i>Nitrogen monoxide</i>	-	0,0001 kg	0,0001 kg	-	-
	<i>Methane</i>	-	0,0487 kg	0,0487 kg	-	-
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	-	-	5,45 kg	-	-
	<i>Carbon monoxide</i>	-	-	7,56 kg	-	-
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	-	-	0,86 g	-	-
	<i>Nitrogen oxides</i>	-	-	0,504 g	-	-
	<i>Particulate matter</i>	-	-	0,028 g	-	-
	<i>Methane</i>	-	-	0,278 g	-	-

* Os valores apresentados na tabela acima não devem ser utilizados para realizar comparações entre as unidades, pois cada unidade produtiva apresenta suas especificidades na execução da atividade.



APÊNDICE XVII

RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – GRANJA ROMÁRIO SCHAEFER

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

CENÁRIOS

Granja Romário Schaefer

Localização: Entre Rios do Oeste, Paraná
Quantidade de animais: 4.000 suínos em terminação
Produção de resíduos por animal: 32,85 t/animal no ano
Produção de resíduos: 131.400 t/ano

Operação da planta

Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motogerador/ Processo de *upgrading* do biometano e insumos utilizados

Destino final do digestato

Emissões provenientes da aplicação do digestato líquido no solo

Impactos evitados pela substituição dos produtos

Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica

Queima do biometano em veículos

Emissões geradas pela queima do biometano em veículos

Emissões totais por tonelada de resíduo



Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera



126,71
kg de CO₂/t resíduo

Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás



32,36
kg de CO₂/t resíduo

Biodigestão de resíduos e produção de biometano



33,41
kg de CO₂/t resíduo

11,98
kg de CO₂/t resíduo

0,52
kg de CO₂/t resíduo

0,52
kg de CO₂/t resíduo

-19,79
kg de CO₂/t resíduo

-1,81
kg de CO₂/t resíduo

-3,87
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

0,02
kg de CO₂/t resíduo

118,90
kg de CO₂/t resíduo

31,07
kg de CO₂/t resíduo

30,07
kg de CO₂/t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

74%
redução nas emissões

87,83
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **82mil** árvores



75%
redução nas emissões

88,84
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **83mil** árvores



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
Metodologia: ReCiPe
Banco de dados: Ecoinvent
Software: Simapro
Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (i17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Adam Smith International



Este estudo foi realizado com apoio da Granja Romário Schaefer/Cerâmica Stein.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep



APÊNDICE XVIII

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – FAZENDA RECANTO 1**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

CENÁRIOS

Recanto 1		Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera	Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás	Biodigestão de resíduos e produção de biometano com o biogás
Localização: Patos de Minas, Minas Gerais Quantidade de animais: 12.000 em terminação / 7.000 creche e pré-creche Produção de média total de resíduos por animal: 5,76 t/animal/ano Produção de resíduos: 109.500 t/ano				
Transporte Emissões relacionadas ao transporte (dejeito/ digestato)	-	0,03	0,03	
Operação da planta Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorgerador/ Processo de upgrading do biometano e insumos utilizados	126,71	12,69	18,67	
Destino final do digestato Emissões provenientes da aplicação de digestato líquido no solo, emissões provenientes da aplicação no solo do digestato sólido ao solo e compostagem	11,98	5,41	5,41	
Impactos evitados pela substituição dos produtos Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica	-19,79	-13,97	-24,58	
Queima do biometano em veículos Emissões geradas pela queima do biometano em veículos	-	-	0,09	
Emissões totais por tonelada de resíduo	118,90	4,16	-0,37	

EMISSÕES EVITADAS

96%
redução nas emissões

114,74
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **85mil** árvores

100%
redução nas emissões

119,27
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **93mil** árvores

Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
 Metodologia: ReCiPe
 Banco de dados: Ecoinvent
 Software: Simapro
 Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Esse estudo foi realizado com apoio da Cara Preta e Auma Energia.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep



APÊNDICE XIX

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – FAZENDA RECANTO 2**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

CENÁRIOS

Recanto 2

Localização: Patos de Minas, Minas Gerais
 Quantidade de animais: 1.400 matrizes
 Produção de resíduos por animal: 28,68 t/animal no ano
 Produção de resíduos: 40.150 t/ano

Transporte

Emissões relacionadas ao transporte (dejeito/ digestato)

Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera



Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás



Biodigestão de resíduos e produção de biometano com o biogás



-
kg de CO₂/t resíduo

0,03
kg de CO₂/t resíduo

0,03
kg de CO₂/t resíduo

Operação da planta

Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorizador/ Processo de upgrading do biometano e insumos utilizados

126,71
kg de CO₂/t resíduo

12,54
kg de CO₂/t resíduo

15,04
kg de CO₂/t resíduo

Destino final do digestato

Emissões provenientes da aplicação de digestato líquido no solo, emissões provenientes da aplicação no solo do digestato sólido ao solo e compostagem

11,98
kg de CO₂/t resíduo

5,60
kg de CO₂/t resíduo

5,60
kg de CO₂/t resíduo

Impactos evitados pela substituição dos produtos

Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica

-19,79
kg de CO₂/t resíduo

-12,99
kg de CO₂/t resíduo

-17,43
kg de CO₂/t resíduo

Queima do biometano em veículos

Emissões geradas pela queima do biometano em veículos

-
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

0,04
kg de CO₂/t resíduo

Emissões totais por tonelada de resíduo



118,90
kg de CO₂/t resíduo

5,19
kg de CO₂/t resíduo

-3,28
kg de CO₂/t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

96%
redução nas emissões

113,72
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **32mil** árvores

97%
redução nas emissões

115,62
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **33,1mil** árvores



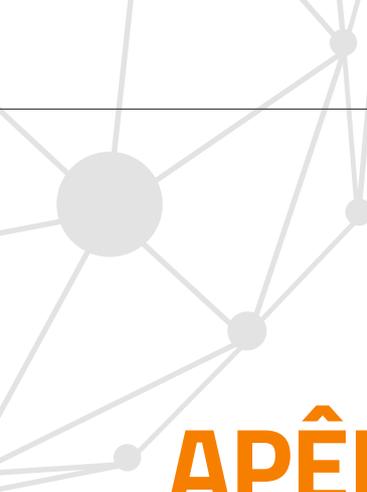
Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
 Metodologia: ReCiPe
 Banco de dados: Ecoinvent
 Software: Simapro
 Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Esse estudo foi realizado com apoio da Cara Preta e Auma Energia.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/117.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep



APÊNDICE XX

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – ENERDINBO**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

CENÁRIOS

EnerDinBo	Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera	Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás	Biodigestão de resíduos e produção de biometano com o biogás
Localização: Ouro Verde do Oeste, Paraná Quantidade de animais: 40 propriedades, 100 mil suínos Produção de resíduos: 163.520 t/ano			
Transporte Emissões relacionadas ao transporte dos resíduos dos geradores até o local de biodigestão	- kg de CO ₂ /t resíduo	5,02 kg de CO ₂ /t resíduo	5,02 kg de CO ₂ /t resíduo
Operação da planta Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motogerador/ Processo de <i>upgrading</i> do biometano e insumos utilizados	126,71 kg de CO ₂ /t resíduo	2,15 kg de CO ₂ /t resíduo	22,04 kg de CO ₂ /t resíduo
Destino final do digestato Emissões provenientes da aplicação do digestato líquido no solo	11,98 kg de CO ₂ /t resíduo	4,28 kg de CO ₂ /t resíduo	4,28 kg de CO ₂ /t resíduo
Impactos evitados pela substituição dos produtos Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica	-19,79 kg de CO ₂ /t resíduo	-17,23 kg de CO ₂ /t resíduo	-57,17 kg de CO ₂ /t resíduo
Queima do biometano em veículos Emissões geradas pela queima do biometano em veículos	- kg de CO ₂ /t resíduo	- kg de CO ₂ /t resíduo	0,31 kg de CO ₂ /t resíduo
Emissões totais por tonelada de resíduo	118,90 kg de CO ₂ /t resíduo	-5,79 kg de CO ₂ /t resíduo	-25,52 kg de CO ₂ /t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

105% redução nas emissões	124,69 kg de CO ₂ /t resíduo	Equivalente ao plantio de 145mil árvores
121% redução nas emissões	144,43 kg de CO ₂ /t resíduo	Equivalente ao plantio de 169mil árvores



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
Metodologia: ReCiPe
Banco de dados: Ecoinvent
Software: Simapro
Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (i17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Adam Smith International



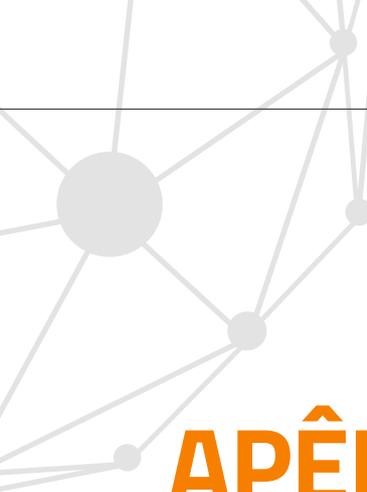
CLT CARBON LIMITING TECHNOLOGIES



FGV

Esse estudo foi realizado com apoio da EnerDinBo.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep



APÊNDICE XXI

RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA – CONDOMÍNIO ENTRE RIOS DO OESTE

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

CENÁRIOS

Condomínio de Entre Rios do Oeste

Localização: Entre Rios do Oeste, Paraná
Quantidade de animais: animais de 17 pequenas propriedades
Produção de resíduos: 88.684,05 t/ano

Operação da planta

Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorizador/ Processo de upgrading do biometano e insumos utilizados

Destino final do digestato

Emissões provenientes da aplicação do digestato líquido no solo

Impactos evitados pela substituição dos produtos

Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica

Queima do biometano em veículos

Emissões geradas pela queima do biometano em veículos

Emissões totais por tonelada de resíduo



Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera



126,71
kg de CO₂/t resíduo

Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás



7,82
kg de CO₂/t resíduo

Biodigestão de resíduos e produção de biometano com o biogás



24,81
kg de CO₂/t resíduo

11,98
kg de CO₂/t resíduo

6,64
kg de CO₂/t resíduo

6,64
kg de CO₂/t resíduo

-19,79
kg de CO₂/t resíduo

-22,24
kg de CO₂/t resíduo

-55,95
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

0,27
kg de CO₂/t resíduo

118,90
kg de CO₂/t resíduo

-7,78
kg de CO₂/t resíduo

-24,22
kg de CO₂/t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

107%
redução nas emissões

126,69
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **80mil** árvores

120%
redução nas emissões

143,13 kg
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **90mil** árvores



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
Metodologia: ReCiPe
Banco de dados: Ecoinvent
Software: Simapro
Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Adam Smith International



Esse estudo foi realizado com apoio da 3DI Engenharia.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep

APÊNDICE XXII

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE BOVINOCULTURA

▪ Bovinocultura de corte

No cenário de *upgrading* do biogás para biometano (*Tabela XXI*), foram considerados: o consumo de energia elétrica, utilizado da base de dados do *ecoinvent* para a região sudeste brasileira; as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016); e o processo de *upgrading* do biogás, considerando o teor de metano e a compressão e descompressão e a perda energética. Os processos de *upgrading* do biogás e de compressão e descompressão do biometano foram considerados conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano em veículos foram utilizadas do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Foi considerado, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, foi adaptado o banco de dados do *ecoinvent*, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXI
**Inventário para o cenário de produção de biometano de bovinocultura de corte
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto de bovinocultura de corte	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U / Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	75,43 kg
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	149,23 kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	1,67 kg
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	1 tkm
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	3.189 MJ
Uso biometano	<i>Passager car, methane 96% vol., from biogas</i>	93,23 m ³
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	12,023 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	11,52 kg
	<i>Ammonia</i>	0,0569 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Ammonia</i>	1,18 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,16 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,46 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Nitrate</i>	55,04 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,0041 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Zinc</i>	0,504 kg
	<i>Copper</i>	0,913 kg
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	207,53 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	365,37 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	70,30 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	792,71 g
	<i>Particulate matter</i>	7,95 g

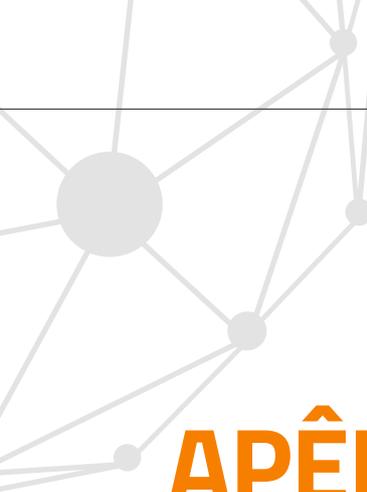
▪ Bovinocultura de leite

No cenário de *upgrading* do biogás para biometano (**Tabela XXII**), foram considerados: o consumo de energia elétrica, utilizado da base de dados do *ecoinvent* para a região sul brasileira; as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016); e o processo de *upgrading* do biogás, considerando o teor de metano e a compressão e descompressão e a perda energética. Os processos de *upgrading* do biogás e de compressão e descompressão do biometano foram considerados conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano consumido em veículos foram provenientes do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Considerou-se, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, os dados do banco de dados do *ecoinvent* foram adaptados, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXII
**Inventário para o cenário de produção de biometano de bovinocultura de leite
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto bovino de leite	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U / Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	4 kg
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	1,52 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,43 kg
Transporte até unidade de biodigestão	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	1,26 tkm
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	169,35 MJ
Uso biometano	<i>Passager car, methane 96% vol., from biogas</i>	4,95 m ³
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	4,25 kWh
Etapas	Substâncias (calculadas com base nos dados primários)	Valor
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	2,30 kg
	<i>Ammonia</i>	0,08 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Ammonia</i>	0,61 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,011 kg
	<i>Nitrogen</i>	0,05 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,24 kg
	<i>Nitrate</i>	0,537565 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,002717 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Zinc</i>	0,0025 kg
	<i>Copper</i>	0,00189 kg
	<i>Ammonia</i>	0,0008 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo (sólido)	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,000512 kg
	<i>Nitrogen</i>	0,002295 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,000328 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (sólido)	<i>Zinc</i>	0,0242 kg
	<i>Copper</i>	0,000461 kg
	<i>Ammonia</i>	0,0085 kg
Emissões para o ar - compostagem	<i>Dinitrogen monoxide</i>	0,01 kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,00026 kg
	<i>Methane</i>	0,051 kg
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	12,74 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	15,82 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	3,04 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	34,32 g
	<i>Particulate matter</i>	0,34 g



APÊNDICE XXIII

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA BOVINOCULTURA DE CORTE – FAZENDA SANTA MÔNICA**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA BOVINOCULTURA DE CORTE

CENÁRIOS

Fazenda Santa Mônica

Localização: São João da Ponte, Minas Gerais
 Quantidade de animais: 6.650
 Produção de resíduos por animal: 1,37 t/animal no ano
 Produção de resíduos: 9.107,59 t/ano

	Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera	Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás	Biodigestão de resíduos e produção de biometano com o biogás
Transporte Emissões relacionadas ao transporte (dejeito e/ou digestato)	- kg de CO ₂ /t resíduo	0,42 kg de CO ₂ /t resíduo	0,42 kg de CO ₂ /t resíduo
Operação da planta Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorizador/ Processo de upgrading do biometano e insumos utilizados	2.956,60 kg de CO ₂ /t resíduo	633,16 kg de CO ₂ /t resíduo	751,17 kg de CO ₂ /t resíduo
Destino final do digestato Emissões provenientes da aplicação do digestato líquido no solo	651,91 kg de CO ₂ /t resíduo	555,78 kg de CO ₂ /t resíduo	555,78 kg de CO ₂ /t resíduo
Impactos evitados pela substituição dos produtos Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica	-873,12 kg de CO ₂ /t resíduo	-862,15 kg de CO ₂ /t resíduo	-1088,45 kg de CO ₂ /t resíduo
Queima do biometano em veículos Emissões geradas pela queima do biometano em veículos	- kg de CO ₂ /t resíduo	- kg de CO ₂ /t resíduo	1,86 kg de CO ₂ /t resíduo
Emissões totais por tonelada de resíduo	2.735,81 kg de CO ₂ /t resíduo	327,21 kg de CO ₂ /t resíduo	220,77 kg de CO ₂ /t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

88% redução nas emissões
2.408,30 kg de CO₂/t resíduo
 Equivalente ao plantio de **157mil** árvores

92% redução nas emissões
2.515,04 kg de CO₂/t resíduo
 Equivalente ao plantio de **163mil** árvores



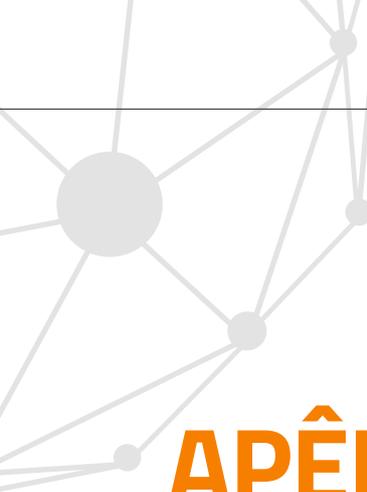
Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
 Metodologia: ReCIPE
 Banco de dados: Ecoinvent
 Software: Simapro
 Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Esse estudo foi realizado com apoio da Cara Preta e Auma Energia.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep



APÊNDICE XXIV

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA PECUÁRIA DE LEITE – FAZENDA VALE DO JOTUVA**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA BOVINOCULTURA DE LEITE

CENÁRIOS

Fazenda Vale do Jotuva

Localização: Carambeí, Paraná
 Quantidade de animais: 850 vacas em ordenha
 Produção de resíduos por animal: 42,94 t/animal no ano
 Produção de resíduos: 36.500 t/ano

Transporte

Emissões relacionadas ao transporte (dejeito e/ou digestato)

Operação da planta

Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorizador/ Processo de upgrading do biometano e insumos utilizados

Destino final do digestato

Emissões provenientes da aplicação de no solo e compostagem

Impactos evitados pela substituição dos produtos

Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica

Queima do biometano em veículos

Emissões geradas pela queima do biometano em veículos

Emissões totais por tonelada de resíduo



Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera



Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás



Biodigestão de resíduos e uso de biogás para produção de biometano



1,67
kg de CO₂/t resíduo

0,53
kg de CO₂/t resíduo

0,53
kg de CO₂/t resíduo

301,77
kg de CO₂/t resíduo

78,82
kg de CO₂/t resíduo

85,16
kg de CO₂/t resíduo

6,53
kg de CO₂/t resíduo

8,31
kg de CO₂/t resíduo

8,31
kg de CO₂/t resíduo

-10,20
kg de CO₂/t resíduo

-10,49
kg de CO₂/t resíduo

-23,82
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

0,10
kg de CO₂/t resíduo

299,77
kg de CO₂/t resíduo

77,17
kg de CO₂/t resíduo

70,27
kg de CO₂/t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

74%
redução nas emissões

222,60
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **58mil** árvores

77%
redução nas emissões

229,50
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **59mil** árvores



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
 Metodologia: ReCiPe
 Banco de dados: Ecoinvent
 Software: Simapro
 Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Adam Smith International



Esse estudo foi realizado com apoio do empreendimento Agropecuária Vale do Jotuva.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep

APÊNDICE XXV

INVENTÁRIOS PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE OVINOCULTURA

No cenário de *upgrading* do biogás para biometano (*Tabela XXIII*), foram considerados: o consumo de energia elétrica, utilizado da base de dados do *ecoinvent* para a região sudeste brasileira; as emissões da lagoa de armazenamento do digestato (CH_4 e NH_3), conforme modelos apresentados por (SARDÁ et al., 2018) e (KUNZ; MUKHTAR, 2016); e o processo de *upgrading* do biogás, considerando o teor de metano e a compressão e descompressão e a perda energética. Os processos de *upgrading* do biogás e de compressão e descompressão do biometano foram considerados conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano em veículos foram utilizadas do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Foi considerado, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, foi adaptado o banco de dados do *ecoinvent*, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXIII
**Inventário para o cenário de produção de biometano de ovinocultura
(Unidade Funcional= tratamento de 1t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Dejeto da ovinocultura	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U / Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	134,59 kg
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	144,40 kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	8,14 kg
Transporte	<i>Transport, tractor and trailer, agricultural {RoW} processing APOS, U</i>	2,5 tkm
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	5.691,07 MJ
Uso biometano	<i>Passager car, methane 96% vol., from biogas</i>	166,35 m ³
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	21 kWh
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar do armazenamento em lagoa	<i>Methane, biogenic</i>	12,54 kg
	<i>Ammonia</i>	0,033 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Ammonia</i>	0,71 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	1,126 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Nitrate</i>	53,27 kg
	<i>Phosphorus</i>	0,00805 kg
Emissões para o solo da aplicação no solo (digestato líquido)	<i>Zinc</i>	0,00090 kg
	<i>Copper</i>	0,00019 kg
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	359,50 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	632,91 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	121,78 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	1.373,18 g
	<i>Particulate matter</i>	13,78 g



APÊNDICE XXVI

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DA OVINOCULTURA – FAZENDA SANTA TERESINHA**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA OVINOCULTURA

CENÁRIOS

Fazenda Santa Teresinha

Localização: São João da Ponte, Minas Gerais
 Quantidade de animais: 27.000
 Produção de resíduos por animal: 0,14 t/animal no ano
 Produção de resíduos: 3.650 t/ano'

Transporte

Emissões relacionadas ao transporte (dejeito e/ou digestato)

Operação da planta

Emissões da lagoa de armazenamento ou digestato/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motogerador/ Processo de *upgrading* do biometano e insumos utilizados

Destino final do digestato

Emissões provenientes da aplicação do digestato no solo

Impactos evitados pela substituição dos produtos

Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica

Queima do biometano em veículos

Emissões geradas pela queima do biometano em veículos

Emissões totais por tonelada de resíduo



Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera



Biodigestor de resíduos e uso elétrico de biogás



Biodigestão de resíduos e uso de biogás para produção de biometano



0,39
kg de CO₂/t resíduo

0,39
kg de CO₂/t resíduo

0,39
kg de CO₂/t resíduo

3.942,13
kg de CO₂/t resíduo

889,67
kg de CO₂/t resíduo

1.100,13
kg de CO₂/t resíduo

630,83
kg de CO₂/t resíduo

335,57
kg de CO₂/t resíduo

335,57
kg de CO₂/t resíduo

-860,91
kg de CO₂/t resíduo

-886,67
kg de CO₂/t resíduo

-1.288,75
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

-
kg de CO₂/t resíduo

3,31
kg de CO₂/t resíduo

3.712,44
kg de CO₂/t resíduo

338,96
kg de CO₂/t resíduo

150,65
kg de CO₂/t resíduo

EMISSÕES EVITADAS

91%
redução nas emissões

3.373,48
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **88mil** árvores



69%
redução nas emissões

3.561,79
kg de CO₂/t resíduo

Equivalente ao plantio de **93mil** árvores



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
 Metodologia: ReCiPe
 Banco de dados: Ecoinvent
 Software: Simapro
 Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (i17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Esse estudo foi realizado com apoio da Cara Preta e Auma Energia.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep

APÊNDICE XXVII

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE EFLUENTE DE CERVEJARIA

No inventário do cenário de uso de biogás para biometano (*Tabela XXIV*), foi considerado o uso de energia elétrica, conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado (região sul). Considerou-se, também, o processo de *upgrading* do biogás, levando-se em conta o teor de metano e a compressão e descompressão e a perda energética, conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Tabela XXIV

Inventário do cenário de biometano do tratamento de efluente de cervejaria (Unidade Funcional= 1 m³ de efluente).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Efluente de cervejaria	1 m ³
Inventários adaptados (base: <i>Ecoinvent</i>)		
Transporte até o biodigestor	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	0,13 tkm
Energia elétrica	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	0,86 kWh
Compostagem de resíduos industriais	<i>Biowaste {RoW} treatment of biowaste, industrial composting APOS, U</i>	1,03 kg
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U</i> <i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	0,09 kg 0,017 kg
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	3,91 MJ
Uso biometano	<i>Passenger car, methane 96% vol., from biogas</i>	0,11 m ³
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões do tratamento de efluente	<i>Nitrogen</i>	0,04 kg
	<i>Phosphorus</i>	7,45 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Carbon dioxide</i>	0,29 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	0,37 g
Queima de diesel evitada	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	0,07 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	0,79 g
	<i>Particulate matter</i>	7,96 x 10 ⁻⁰³ g



APÊNDICE XXVIII

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DE CERVEJARIA**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE EFLUENTES DE UMA CERVEJARIA

CENÁRIOS

Cervejaria Brasileira		Tratamento anaeróbio do efluente sem aproveitamento do biogás	Tratamento anaeróbio do efluente com aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica	Tratamento anaeróbio do efluente com aproveitamento do biogás para produção de biometano
Localização: Rio Grande do Sul Produção de efluente: 4.248.600 m ³ /ano				
Transporte Emissões relacionadas ao transporte (lodo até o destino)		0,06 kg de CO ₂ /t resíduo	0,06 kg de CO ₂ /m ³ de efluente	0,06 kg de CO ₂ /m ³ de efluente
Operação da planta Emissões do consumo de energia elétrica /Turbina/ Processo de <i>upgrading</i> do biometano e insumos utilizados/Queima em <i>flare</i>		2,18 kg de CO ₂ /t resíduo	1,07 kg de CO ₂ /m ³ de efluente	1,00 kg de CO ₂ /m ³ de efluente
Destino final do digestato Emissões provenientes da compostagem		0,06 kg de CO ₂ /t resíduo	0,06 kg de CO ₂ /m ³ de efluente	0,06 kg de CO ₂ /m ³ de efluente
Impactos evitados pela substituição dos produtos Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica		- kg de CO ₂ /t resíduo	-0,05 kg de CO ₂ /m ³ de efluente	-0,33 kg de CO ₂ /m ³ de efluente
Queima do biometano em veículos Emissões geradas pela queima do biometano em veículos		- kg de CO ₂ /t resíduo	- kg de CO ₂ /m ³ de efluente	0,02 kg de CO ₂ /m ³ de efluente
Emissões totais por m³ de efluente		2,30 kg de CO ₂ /m ³ de efluente	1,13 kg de CO ₂ /m ³ de efluente	0,78 kg de CO ₂ /m ³ de efluente

EMISSÕES EVITADAS



Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Esse estudo foi realizado com apoio da Luming.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep

APÊNDICE XXIX

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO

No cenário de *upgrading* do biogás para biometano (*Tabela XXI*), foram considerados: o consumo de energia elétrica, utilizado da base de dados do *ecoinvent* para a região sudeste brasileira; o processo de *upgrading* do biogás, levando-se em conta o teor de metano e a compressão e descompressão; e a perda energética. Os processos de *upgrading* do biogás e de compressão e descompressão do biometano foram considerados conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano consumido em veículos foram provenientes do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Considerou-se, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, os dados do banco de dados do *ecoinvent* foram adaptados, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXV
Inventário do cenário de uso do biogás para produção de biometano para atividade sucroenergética (Unidade Funcional= 1 t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduo sucroenergético	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Energia elétrica consumida	<i>Electricity, medium voltage {BR-South-eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	9,60 kWh
Transporte até uso agrícola	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	29,55 tkm
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	3,89 tkm
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U / Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	7,79 kg
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	329,35 MJ
Uso biometano	<i>Passenger car, methane 96% vol., from biogas</i>	9,63 Nm ³
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	0,82 kg
Fertilizante nitrogenado evitado (sólido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	0,15 kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,41 kg
Fertilizante fosfatado evitado (sólido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,15 kg
Fertilizante de potássio evitado (líquido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	4,68 kg
Fertilizante de potássio evitado (sólido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	0,05 kg
Etapa	Substâncias (calculadas com base nos dados primários)	Valor
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido (liquefertil)	<i>Ammonia</i>	10,50 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	64,01 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Nitrogen</i>	28,72 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,04 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato sólido (organogeo)	<i>Ammonia</i>	0,02 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	11,86 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Nitrogen</i>	53,23 x 10 ⁻⁰⁶ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,01 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato líquido- liquefertil)	<i>Nitrate</i>	0,30 kg
	<i>Phosphorus</i>	30,48 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato sólido - organogeo)	<i>Nitrate</i>	0,06 kg
	<i>Phosphorus</i>	2,25 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido – liquefertil	<i>Zinc</i>	69,55 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Copper</i>	38,09 x 10 ⁻⁰² kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido – liquefertil	<i>Zinc</i>	1,12 kg
	<i>Copper</i>	0,64 kg
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	24,76 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	30,77 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	5,92 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	66,75 g
	<i>Particulate matter</i>	0,70 g



APÊNDICE XXX

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DE SUCROENERGÉTICA – USINA COCAL**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SUCROENERGÉTICA

CENÁRIOS

Cocal	Armazenamento de resíduos em lagoa e emissão de biogás para a atmosfera	Biodigestor de resíduos e uso do biogás para geração de energia elétrica e biometano	Biodigestor de resíduos e uso do biogás para geração de energia elétrica	Biodigestão de resíduos e uso do biogás para produção de biometano
Localização: Narendiba, São Paulo Quantidade de álcool produzida: 3.500.000 t/ano Produção de resíduos por m³ produzido: 0,52 t/t de álcool/ano Produção de resíduos: 1.819.495 t/ano				
Transporte Emissões relacionadas ao transporte (transporte interno e até o local de aplicação do digestato)	17,33 kg de CO ₂ /t resíduo	13,98 kg de CO ₂ /t resíduo	13,98 kg de CO ₂ /t resíduo	13,98 kg de CO ₂ /t resíduo
Operação da planta Emissões da lagoa de armazenamento/ Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorizador/ Processo de upgrading do biometano e insumos utilizados	28,69 kg de CO ₂ /t resíduo	5,78 kg de CO ₂ /t resíduo	2,57 kg de CO ₂ /t resíduo	14,69 kg de CO ₂ /t resíduo
Destino final do digestato Emissões provenientes da aplicação de digestato no solo	4,53 kg de CO ₂ /t resíduo	2,14 kg de CO ₂ /t resíduo	2,14 kg de CO ₂ /t resíduo	2,14 kg de CO ₂ /t resíduo
Impactos evitados pela substituição dos produtos Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado, fosfatado e potássico), diesel e energia elétrica	-21,73 kg de CO ₂ /t resíduo	-32,24 kg de CO ₂ /t resíduo	-27,52 kg de CO ₂ /t resíduo	-48,64 kg de CO ₂ /t resíduo
Queima do biometano em veículos Emissões geradas pela queima do biometano em veículos	- kg de CO ₂ /t resíduo	0,10 kg de CO ₂ /t resíduo	- kg de CO ₂ /t resíduo	0,19 kg de CO ₂ /t resíduo
Emissões totais por m³ de efluente	28,82 kg de CO ₂ /t resíduo	-10,24 kg de CO ₂ /t resíduo	-8,82 kg de CO ₂ /t resíduo	-17,64 kg de CO ₂ /t resíduo

EMISSÕES EVITADAS



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
Metodologia: ReCiPe
Banco de dados: Ecoinvent
Software: Simapro
Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (i17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Adam Smith International



Esse estudo foi realizado com apoio da usina Cocal de Narendiba-SP, Brasil.

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchimp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep

APÊNDICE XXXI

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE ESGOTO

No cenário de *upgrading* do biogás para biometano (*Tabela XXVI*), foram considerados: o consumo de energia elétrica, utilizado da base de dados do *ecoinvent* para a região sul brasileira; o processo de *upgrading* do biogás, considerando o teor de metano e a compressão e descompressão; e a perda energética, conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para a estimativa da queima evitada do diesel utilizado, foi considerada a diferença entre a energia disponível no biometano (JUNGBLUTH et al., 2007) e a energia do diesel. Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano consumido em veículos foram provenientes do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Considerou-se, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, os dados do banco de dados do *ecoinvent* foram adaptados, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXVI

Inventário para o cenário biometano de esgoto a ser tratado (Unidade Funcional= 1 m³ de efluente).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Esgoto a ser tratado	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	3,07 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	7,32 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Diesel evitado	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U</i>	2,67 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	3,64 x 10 ⁻⁰³ kg
Transporte até biodigestão	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}</i>	1,59 x 10 ⁻⁰² tkm
Peróxido de hidrogênio	<i>Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RoW} hydrogen peroxide production, product in 50% solution state APOS, U</i>	0,07 kg
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	1,28 kWh
Eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	8,50 x 10 ⁻⁰¹ kWh
Diesel para aplicação no solo	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U</i>	8,89 x 10 ⁻⁰⁵ kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	1,21 x 10 ⁻⁰⁵ kg
Calcário para higienização do lodo	<i>Limestone, crushed, for mill {RoW} production APOS, U</i>	3,26 x 10 ⁻⁰² kg
Transporte (higienização do lodo)	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	2,65 x 10 ⁻⁰⁷ tkm
Diesel para higienização do lodo	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U</i>	5,60 x 10 ⁻⁰⁷ kg
	<i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	7,64 x 10 ⁻⁰⁸ kg
Transporte (resíduo para aterro)	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	8,85 x 10 ⁻⁰⁴ tkm
Diesel (aterro)	<i>Diesel, burned in building machine {GLO} processing APOS, U</i>	2,54 x 10 ⁻⁰⁴ kWh

Etapa	Substâncias	Valor
Emissões para o ar da aplicação no solo	<i>Ammonia</i>	$4,21 \times 10^{-04}$ kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	$1,88 \times 10^{-05}$ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	$3,95 \times 10^{-06}$ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	$3,23 \times 10^{-07}$ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	$7,01 \times 10^{-07}$ kg
	<i>Particulates</i>	$7,01 \times 10^{-09}$ kg
Emissões para o ar do uso do biometano em veículos	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	0,22 g
	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	83,75 g
	<i>Methane, biogenic</i>	0,02 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	0,01 g
	<i>Particulates</i>	$3,26 \times 10^{-04}$ g
	<i>Hydrocarbons, unspecified</i>	$5,11 \times 10^{-03}$ g
Emissões para o ar da queima do diesel evitadas	<i>Carbon dioxide, fossil</i>	$9,65 \times 10^{-02}$ kg
	<i>Carbon monoxide, fossil</i>	0,12 g
	<i>Hydrocarbons, unspecified</i>	0,02 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	0,26 g
	<i>Diesel particulates</i>	$2,61 \times 10^{-03}$ g
Emissões para a água da aplicação no solo	<i>Nitrate</i>	$5,6 \times 10^{-05}$ kg
	<i>Phosphate</i>	$3,32 \times 10^{-06}$ kg
	<i>Zinc</i>	$1,80 \times 10^{-07}$ kg
	<i>Copper</i>	$2,02 \times 10^{-08}$ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo	<i>Zinc</i>	$1,35 \times 10^{-05}$ kg
	<i>Copper</i>	$1,79 \times 10^{-06}$ kg
Emissões para o ar da higienização do lodo	<i>Ammonia</i>	$1,14 \times 10^{-03}$ kg
	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	$1,85 \times 10^{-03}$ kg
	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	$3,52 \times 10^{-06}$ kg
	<i>Nitrogen oxides</i>	$7,62 \times 10^{-06}$ kg
	<i>Particulates</i>	$7,62 \times 10^{-08}$ kg
Emissões para o ar no aterro	<i>Methane</i>	$8,08 \times 10^{-10}$ t
Emissões para água no aterro	<i>BOD₅, Biochemical Oxygen Demand</i>	$2,26 \times 10^{-09}$ t
	<i>COD, Chemical Oxygen Demand</i>	$5,38 \times 10^{-09}$ t
	<i>Solids, inorganic</i>	$1,05 \times 10^{-09}$ t
	<i>Ammonia</i>	$1,19 \times 10^{-09}$ t
	<i>Nitrogen</i>	$9,14 \times 10^{-11}$ t
	<i>Phosphorus</i>	$3,65 \times 10^{-11}$ t
Emissões para o ar do flare de biogás no aterro	<i>Methane, biogenic</i>	$1,59 \times 10^{-06}$ t
	<i>Nitrogen, total</i>	$9,74 \times 10^{-08}$ t
	<i>Ammonia</i>	$2,44 \times 10^{-08}$ t
	<i>Carbon monoxide</i>	$5,56 \times 10^{-09}$ t
	<i>Sulfur dioxide</i>	$2,46 \times 10^{-08}$ t
	<i>Nitrogen oxides</i>	$1,34 \times 10^{-12}$ t
	<i>Particulates</i>	$8,14 \times 10^{-10}$ t



APÊNDICE XXXII

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS DE ESGOTO DOMÉSTICO – ETE SANEPAR**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ESGOTO DOMÉSTICO

CENÁRIOS

ETE Sanepar

Localização: Curitiba, Paraná
 Vazão de entrada: 440 L/s
 Produção de resíduos por habitante: 59,05 m³/habitante no ano
 Produção de efluentes: 13.875.840 m³/ano
 População atendida: 235.000 habitantes

Transporte

Emissões relacionadas ao transporte dos insumos e resíduos

Operação da planta

Consumo de energia elétrica /Emissões de motorizador/ Processo de *upgrading* do biometano/ Emissões do *flare*

Insumos utilizados no processo

Produção do peróxido

Destino final do digestato

Aplicação do lodo higienizado no solo

Impactos evitados pela substituição dos produtos

Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica

Queima do biometano em veículos

Emissões geradas pela queima do biometano em veículos

Emissões totais por m³ de efluente



Tratamento anaeróbio do efluente sem aproveitamento do biogás



0,007
kg de CO₂/m³ de efluente

Tratamento anaeróbio do esgoto e aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica



0,007
kg de CO₂/m³ de efluente

Tratamento anaeróbio do esgoto e aproveitamento do biogás para produção de biometano



0,007
kg de CO₂/m³ de efluente

0,454
kg de CO₂/m³ de efluente

0,014
kg de CO₂/m³ de efluente

0,060
kg de CO₂/m³ de efluente

0,095
kg de CO₂/m³ de efluente

0,095
kg de CO₂/m³ de efluente

0,095
kg de CO₂/m³ de efluente

0,006
kg de CO₂/m³ de efluente

0,006
kg de CO₂/m³ de efluente

0,006
kg de CO₂/m³ de efluente

-0,002
kg de CO₂/m³ de efluente

-0,024
kg de CO₂/m³ de efluente

-0,112
kg de CO₂/m³ de efluente

-
kg de CO₂/m³ de efluente

-
kg de CO₂/m³ de efluente

0,001
kg de CO₂/m³ de efluente

0,61
kg de CO₂/m³ de efluente

0,15
kg de CO₂/m³ de efluente

0,11
kg de CO₂/m³ de efluente

EMISSÕES EVITADAS

51%
redução nas emissões

1,16
kg de CO₂/m³ de efluente

Equivalente ao plantio de **35mil** árvores



66%
redução nas emissões

1,52
m³ de efluente

Equivalente ao plantio de **46mil** árvores



Estudo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental
 Metodologia: ReCiPe
 Banco de dados: Ecoinvent
 Software: Simapro
 Não avaliado por terceira parte.

Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).



Este estudo foi realizado com apoio da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Para acessar essa e outras publicações da série Biogás no Brasil: https://mailchi.mp/i17.org/publicacoes_biogas_no_brasil_bep

APÊNDICE XXXIII

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO DE USO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE BIOMETANO E SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO

No cenário de *upgrading* do biogás para biometano (*Tabela XXVII*), foram considerados: o consumo de energia elétrica, utilizado da base de dados do *ecoinvent* para a região sul brasileira; o processo de *upgrading* do biogás, considerando o teor de metano e a compressão e descompressão; e a perda energética, conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para a estimativa da queima evitada do diesel utilizado, foi considerada a diferença entre a energia disponível no biometano (JUNGBLUTH et al., 2007) e a energia do diesel. Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano consumido em veículos foram provenientes do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Considerou-se, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, os dados do banco de dados do *ecoinvent* foram adaptados, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXVII**Inventário para o cenário biometano do manejo de resíduos sólidos urbanos
(Unidade Funcional= 1 t de resíduo).**

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduos sólidos urbanos	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Produção evitada de diesel	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U</i> <i>Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	70,73 kg
Fertilizante nitrogenado evitado	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	7,26 kg
Fertilizante fosfatado evitado	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	0,063 kg
Transporte de fração sólida até unidade de biodigestão	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	84,4 tkm
Polímero	<i>Acrylonitrile {RoW} Sohio process APOS, U</i>	1,76 kg
Upgrading, compressão e descompressão de biometano	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	2990,59 MJ
Uso de biometano	<i>Passager car, methane 96% vol, from biogas</i>	87,41 m ³
Uso de eletricidade	<i>Electricity, medium voltage {BR-Southern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	172,5 kWh
Compostagem	<i>Biowaste {RoW} treatment of biowaste, industrial composting APOS, U</i>	0,075 kg
Tratamento do efluente	<i>Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 4.7E10l/year APOS, U</i>	0,78 m ³
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
	<i>Biogas</i>	1,91 m ³
Emissões para o ar do flare enclausurado	<i>Methane, biogenic</i>	8 g
	<i>Hydrogen sulfide</i>	1,47 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Sulfur dioxide</i>	5,24 x 10 ⁻⁰³ kg
Queima evitada de diesel em veículos	<i>Carbon dioxide</i>	224,90 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	332,59 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	63,99 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	721,59 g
	<i>Particulate matter</i>	7,24 g



APÊNDICE XXXIV

**RESUMO DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E LODO DE ETE – CS BIOENERGIA**

EMISSÕES DE CARBONO NO GERENCIAMENTO DE CODIGESTÃO RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS E LODO DE ETE

CENÁRIOS

CS Bioenergia	Destinação dos resíduos no aterro	Biodigestor de resíduos e do biogás para geração de energia elétrica	Codigestão de resíduos e uso do biogás para produção de biometano
Localização: São José dos Pinhais, Paraná Produção de resíduos: 31.025 t/ano			
Transporte Emissões relacionadas ao transporte (até o biodigestor/ aterro)	6,27 kg de CO ₂ /t resíduo	35,29 kg de CO ₂ /t resíduo	35,29 kg de CO ₂ /t resíduo
Operação da planta Consumo de energia elétrica/ Emissões de motorizador/ Processo de <i>upgrading</i> do biometano/ Emissões do <i>flare</i>	919,33 kg de CO ₂ /t resíduo	27,14 kg de CO ₂ /t resíduo	137,67 kg de CO ₂ /t resíduo
Insumos utilizados no processo Produção do peróxido	- kg de CO ₂ /t resíduo	5,51 kg de CO ₂ /t resíduo	5,51 kg de CO ₂ /t resíduo
Destino final do digestato Emissões provenientes da compostagem/ tratamento do lixiviado	0,47 kg de CO ₂ /t resíduo	0,10 kg de CO ₂ /t resíduo	0,10 kg de CO ₂ /t resíduo
Impactos evitados pela substituição dos produtos Emissões evitadas pela produção evitada de fertilizantes (nitrogenado e fosfatado), diesel e energia elétrica	- kg de CO ₂ /t resíduo	-75,69 kg de CO ₂ /t resíduo	-296,91 kg de CO ₂ /t resíduo
Queima do biometano em veículos Emissões geradas pela queima do biometano em veículos	- kg de CO ₂ /t resíduo	- kg de CO ₂ /t resíduo	1,74 kg de CO ₂ /t resíduo
Emissões totais por m³ de efluente	926,07 kg de CO ₂ /t resíduo	-7,65 kg de CO ₂ /t resíduo	-116,60 kg de CO ₂ /t resíduo

EMISSÕES EVITADAS



Estes dados são parte do documento "Biogás no Brasil: Potencial de descarbonização", produto do Programa de Energia para o Brasil (BEP), do governo Britânico, o qual é executado por um consórcio de organizações liderado pela Adam Smith International (ASI), com a participação do Instituto 17 (I17), Carbon Limiting Technologies (CLT), hubz e Fundação Getúlio Vargas (FGV).

APÊNDICE XXXV

INVENTÁRIO PARA ANÁLISE DO CENÁRIO MIX DE USO DO BIOGÁS PARA ENERGIA ELÉTRICA E BIOMETANO DO CICLO DE VIDA DE RESÍDUO SUCROENERGÉTICO

O projeto em implantação prevê que 47% do biogás seja utilizado para a geração de energia elétrica e 53%, para a produção de biometano.

No inventário do cenário mix (*Tabela XXVIII*), foi considerado o uso de energia elétrica conforme a base de dados do *ecoinvent* para a região brasileira na qual o projeto está localizado (região sudeste). Para o transporte interno e do digestato (sólido e líquido) até a aplicação e a geração de energia elétrica no motogerador, também foram utilizados dados do *ecoinvent*. O inventário desse cenário tratou da substituição dos fertilizantes da mesma forma que o cenário-base.

Para a contabilização do biometano, foram considerados: o processo de *upgrading* do biogás, levando-se em conta o teor de metano e a compressão e descompressão; e a perda energética, conforme apresentados por (JUNGBLUTH et al., 2007) e disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Para as emissões evitadas pelo uso do diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011). As emissões provenientes do biometano consumido em veículos foram provenientes do banco de dados do *ecoinvent*, conforme apresentadas por (JUNGBLUTH et al., 2007). Considerou-se, também, o impacto evitado da produção do diesel. Para isso, os dados do banco de dados do *ecoinvent* foram adaptados, incluindo-se o teor de biodiesel do diesel brasileiro (12%).

Tabela XXVIII

Inventário para o cenário mix (uso do biogás para energia elétrica e biometano) de atividade sucroenergética – Unidade Naranjiba - Usina Cocal (Unidade Funcional= 1 t de resíduo).

Avaliação do impacto	Processos/Substâncias	Valor
Fluxo de referência	Resíduo sucroenergético	1 t
Inventários adaptados (base: Ecoinvent)		
Energia elétrica consumida	<i>Electricity, medium voltage {BR-South-eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	9,60 kWh
Transporte até o uso agrícola	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	29,55 tkm
Transporte interno	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 APOS, U</i>	3,89 tkm
Produção de diesel evitada	<i>Diesel {BR} market for diesel APOS, U / Soy biodiesel, production, at plant/kg/RNA</i>	2,09 kg
Energia elétrica evitada	<i>Electricity, medium voltage {BR-South-eastern grid} electricity voltage transformation from high to medium voltage APOS, U</i>	19,27 kWh
Purificação de biometano a partir do biogás	<i>Methane, 96% by volume, from biogas, low pressure, at user {RoW} production APOS, U</i>	88,55 Nm ³
Uso de biometano	<i>Passenger car, methane 96% vol, from biogas</i>	4,89 Nm ³
Fertilizante nitrogenado evitado (líquido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	82,06 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante nitrogenado evitado (sólido)	<i>Nitrogen fertiliser, as N {RoW} urea ammonium nitrate production APOS, U</i>	15,21 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante fosfatado evitado (líquido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	40,66 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante fosfatado evitado (sólido)	<i>Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {RoW} single superphosphate production APOS, U</i>	14,81 x 10 ⁻⁰² kg
Fertilizante de potássio evitado (líquido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	4,68 kg
Fertilizante de potássio evitado (sólido)	<i>Potassium fertiliser, as K₂O {RoW} potassium oxide production APOS, U</i>	4,79 x 10 ⁻⁰² kg
Gerador	<i>Electricity, high voltage {RoW} heat and power co-generation, biogas, gas engine APOS, U</i>	19,27 kWh
Etapa		
Substâncias (calculadas com base nos dados primários)		
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato líquido (liquefêrtil)	<i>Ammonia</i>	10,50 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	6,40 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Nitrogen</i>	28,72 x 10 ⁻⁰³ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,04 kg
Emissões para o ar da aplicação no solo do digestato sólido (organogeo)	<i>Ammonia</i>	0,02 kg
	<i>Dinitrogen monoxide</i>	11,86 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Nitrogen</i>	53,23 x 10 ⁻⁰⁴ kg
	<i>Nitrogen monoxide</i>	0,01 kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato líquido- liquefêrtil)	<i>Nitrate</i>	0,30 kg
	<i>Phosphorus</i>	30,48 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões para a água da aplicação no solo (digestato sólido - organogeo)	<i>Nitrate</i>	0,06 kg
	<i>Phosphorus</i>	2,25 x 10 ⁻⁰⁴ kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido – liquefêrtil	<i>Zinc</i>	69,55 x 10 ⁻⁰² kg
	<i>Copper</i>	38,09 x 10 ⁻⁰² kg
Emissões para o solo da aplicação no solo do digestato líquido – liquefêrtil	<i>Zinc</i>	1,12 kg
	<i>Copper</i>	0,64 kg
Queima de diesel evitada	<i>Carbon dioxide</i>	6,66 kg
	<i>Carbon monoxide</i>	8,27 g
	<i>Non-methane hydrocarbons</i>	1,59 g
	<i>Nitrogen oxides</i>	17,95 g
	<i>Particulate matter</i>	0,18 g



APÊNDICE XXXVI

**EMISSÕES POTENCIALMENTE EVITADAS DE GEE NO BRASIL A CURTO PRAZO
POR TIPO DE SUBSTRATO**

Região	Estado	Suinocultura em terminação		Bovinocultura de leite		Sucrenergética		Resíduos sólidos urbanos		Esgoto	
		Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário energia elétrica (kg CO ₂ eq./ano)	Cenário biometano (kg CO ₂ eq./ano)
Centro-Oeste	Distrito Federal	15.244.995	15.418.912	900.889	928.814	0	0	219.697.266	245.367.886	60.016.067	2.236.310
	Goiás	145.972.585	147.637.867	351.954.776	362.864.425	1.580.410.724	1.950.740.761	511.538.157	571.309.051	73.818.372	9.972.720
	Mato Grosso do Sul	127.077.339	128.527.061	35.368.080	36.464.395	1.066.314.047	1.316.178.284	202.024.903	225.630.589	28.098.789	9.772.285
	Mato Grosso	172.551.115	174.519.610	45.216.433	46.618.021	387.319.268	478.077.928	253.572.213	283.200.966	25.731.840	1.435.615
	Alagoas	0	0	6.863.136	7.075.874	514.035.958	634.487.529	166.129.394	185.540.854	9.213.510	113.848.985
	Bahia	1.802.399	1.822.961	33.607.251	34.648.986	77.322.045	95.440.548	740.082.160	826.557.376	105.181.812	45.467.875
	Ceará	1.409.434	1.425.514	11.052.269	11.394.860	19.215.220	23.717.830	455.386.626	508.596.470	42.006.466	64.961.500
	Maranhão	0	0	827.180	852.820	57.645.660	71.153.490	352.656.629	393.862.943	9.908.977	43.592.005
	Paraíba	0	0	604.005	622.728	96.719.810	119.383.697	200.219.016	223.613.692	25.263.709	79.901.140
	Pernambuco	0	0	4.684.622	4.829.833	305.329.846	376.876.319	476.676.988	532.374.514	41.272.912	10.725.495
Nordeste	Piauí	0	0	864.034	890.817	28.822.830	35.576.745	162.656.509	181.662.178	7.398.491	217.443.530
	Rio Grande do Norte	0	0	6.226.371	6.419.372	67.925.803	83.842.529	175.181.608	195.650.777	17.098.013	30.414.180
	Sergipe	0	0	2.067.950	2.132.050	56.077.698	69.218.115	114.939.446	128.369.594	12.108.789	27.852.190
	Acre	842.655	852.268	88.041	90.770	19.215.220	23.717.830	40.995.096	45.785.186	2.066.063	5.693.875
	Amazonas	0	0	649.050	669.168	9.223.306	11.384.558	192.846.759	215.380.021	9.028.334	27.345.485
	Amapá	0	0	0	0	0	0	39.496.537	44.111.526	1.326.324	44.673.875
	Pará	0	0	2.248.127	2.317.813	16.970.882	20.947.587	398.311.769	444.852.677	5.260.408	8.008.140
	Rondônia	0	0	2.303.409	2.374.809	9.415.458	11.621.737	82.334.847	91.955.297	1.419.736	202.608.465
	Roraima	0	0	255.934	263.888	0	0	28.928.109	32.308.226	7.907.119	237.660.410
	Tocantins	0	0	3.808.303	3.926.350	46.116.528	56.922.792	72.883.797	81.399.935	7.972.446	18.506.920
Sudeste	Espirito Santo	9.599.015	9.708.522	23.666.761	24.400.367	134.506.540	166.024.810	693.202.862	774.200.446	40.273.403	1.536.725
	Minas Gerais	345.166.230	349.103.949	722.177.122	744.562.666	1.495.686.746	1.846.163.821	3.631.877.004	4.056.245.222	200.889.841	8.558.680
	Rio de Janeiro	0	0	29.235.993	30.142.127	92.675.006	114.391.094	2.962.140.226	3.308.252.764	219.567.637	69.348.270
Sul	São Paulo	46.312.309	46.840.649	69.204.648	71.349.806	6.921.949.256	8.543.936.303	7.895.543.192	8.818.101.303	824.151.107	47.446.280
	Paraná	546.504.692	552.739.318	91.253.904	94.082.529	982.760.313	1.213.045.806	1.064.524.030	1.188.908.794	187.184.150	13.106.575
	Rio Grande do Sul	486.952.208	492.507.448	21.330.592	21.991.783	2.497.979	3.083.318	1.055.847.719	1.179.218.696	64.068.878	892.062.660
	Santa Catarina	769.151.214	777.925.832	6.826.281	7.037.877	0	0	670.362.934	748.691.777	43.834.257	8.629.390
Brasil	2.668.586.190	2.699.029.910	1.473.285.062	1.518.952.928	13.988.156.142	17.265.933.432	22.860.055.794	25.531.148.763	2.072.067.447	2.242.809.580	



ISBN: 978-65-997883-8-3

CBL



9 786599 788383