

Nome do autor: Cecília Akemi Beltrame Maronna **Série em 2026:** (X) 3ª; () 2ª ou anterior

Título da redação: Aproveitamento de gás metano na decomposição de substâncias orgânicas para obtenção de energia limpa e mitigação do efeito estufa

Desenvolvimento do texto:

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), criados pela Organização das Nações Unidas em 2015, funcionam como um conjunto de 17 metas globais destinadas a orientar políticas públicas, pesquisas científicas e estratégias econômicas rumo a um modelo de desenvolvimento que concilie crescimento econômico, bem-estar social e preservação ambiental até 2030. Esses objetivos abrangem áreas como erradicação da pobreza, segurança alimentar, acesso universal à educação e à energia, além da mitigação das mudanças climáticas e da proteção dos ecossistemas naturais. Dessa forma, os ODS constituem hoje a principal agenda internacional para enfrentar desafios globais interconectados, servindo como referência para governos, instituições científicas e setores produtivos.

Entretanto, a distância entre os compromissos assumidos e sua efetiva implementação ainda é significativa. Relatórios recentes da própria ONU indicam que o progresso global permanece insuficiente: menos de 20% das metas estão atualmente no caminho adequado para serem atingidas até 2030, enquanto quase metade apresenta avanços lentos ou insuficientes e mais de um terço encontra-se estagnado ou em retrocesso em relação aos níveis observados em 2015. Como resultado, a comunidade internacional enfrenta o risco de não cumprir grande parte das metas estabelecidas, mesmo faltando poucos anos para o prazo final da Agenda 2030.

Entre os objetivos que apresentam maiores dificuldades de avanço destacam-se o ODS número 7, denominado “Energia limpa e acessível”, e o ODS número 13, “Ação contra a mudança global do clima”. A matriz energética mundial ainda depende majoritariamente de combustíveis fósseis, responsáveis por grande parte das emissões de gases de efeito estufa. Ao mesmo tempo, o crescimento da produção de resíduos e das emissões de metano provenientes da decomposição de matéria orgânica representa um desafio ambiental significativo, por ser um gás de alto impacto climático. Assim, soluções tecnológicas que transformam resíduos em fontes de energia renovável tornam-se cada vez mais relevantes para acelerar o cumprimento dessas metas globais.

Atualmente, 99% dos resíduos orgânicos produzidos no Brasil são levados para aterros sanitários, lixões ou incineradores¹. A decomposição da matéria orgânica gera, entre outros, o biogás, mistura de gases gerada pela digestão anaeróbia de matéria orgânica, cuja composição típica inclui entre 40% e 80% do gás metano. Em um ano, aproximadamente 221 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) são gerados no Brasil, dos quais por volta de 100 milhões de toneladas são orgânicos.² Cada tonelada de RSU gera em média 336 m³ de biogás quando decomposto completamente, e tomando como aproximação 50% de concentração de metano (CH_4) no biogás, seu componente com maior potencial energético, o potencial calorífico médio do biogás é de cerca de 5.000 kcal/m³.

Apenas 8% dos resíduos orgânicos e 3,2% do biometano são usados no Brasil para produzir eletricidade.³ Como 1 kWh $\approx$ 860 kcal, isso significa que em torno de 150.000.000 kcal

¹ <https://realixo.com.br/>

²

<https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/promocao-da-alimentacao-adequada-e-saudavel/marco-de-referencia-sobre-sistemas-alimentares-e-clima-para-politicas-publicas/o-futuro-na-mesa.pdf>

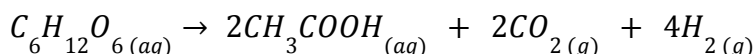
³

<https://ipesi.com.br/brasil-reaproveita-12-dos-residuos-para-geracao-de-energia-renovavel-e-producao-de-biometano/>

provenientes do biogás que tem potencial de se tornarem 170.000 kWh são desperdiçados em apenas um dia no país. Portanto, é necessário que a ciência desenvolva técnicas acessíveis para o aproveitamento energético do biogás no Brasil, aproximando-o do ODS 7.

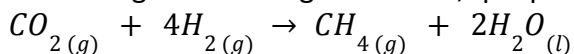
Além disso, o gás metano é o segundo gás de efeito estufa mais emitido no planeta e, apesar de sua vida atmosférica reduzida, impacta de 27 a 30 vezes mais do que o dióxido de carbono em 100 anos. Isso se dá pois o CH_4 (metano) possui modo vibracional forte perto de 7,6 μm , comprimento de onda que não é muito absorvido pelo CO_2 , bloqueando a dispersão de radiação infravermelho térmica que iria ser dissipada, uma vez que outros gases não a absorveriam. Com a combustão completa do metano, obtém-se energia, água e CO_2 , que ainda é um gás agravante do efeito estufa, mas de impacto muito menor quando comparado ao CH_4 . Assim, a queima do metano, além de gerar energia, diminui o efeito da decomposição de matéria orgânica nas mudanças climáticas, permitindo que o país avance na direção do ODS 13.

Para tornar a produção e uso de biogás mais eficientes com a ajuda da ciência, é necessário esclarecer alguns pontos sobre a decomposição de matéria orgânica. Na digestão anaeróbia, bactérias e arqueias (seres decompositores) quebram ligações químicas e transformam moléculas orgânicas complexas em outras mais simples em diversas etapas. Para efeitos de simplificação, analisaremos a decomposição da glicose, um carboidrato primário. As bactérias transformam glicose principalmente em ácidos orgânicos, como descrito pela equação:⁴

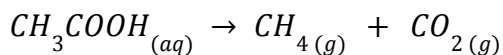


O excesso de ácido provocado por essas reações pode desbalancear o pH do meio e impedir que os outros agentes atuem, deslocando o equilíbrio das reações intermediárias, acumulando ácidos orgânicos e inibindo a ação das arqueias.

As arqueias metanogênicas são as responsáveis por gerar metano, a partir de reações como a metanogênese hidrogenotrófica⁵, que pode ser representada por:



Essa é uma reação de oxirredução, na qual o gás H_2 é o agente redutor e CO_2 o oxidante. Como o CO_2 é um oxidante fraco, em ambientes altamente oxidantes, com presença de oxigênio ou com competição com outros aceptores de elétrons, a metanogênese acima descrita é muito dificultada, já que o CO_2 é umceptor de elétrons fraco frente ao oxigênio, nitrato, sulfato, entre outros. Além disso, em presença de oxigênio, o metano produzido pode ser logo oxidado por bactérias, impedindo que ele seja liberado e utilizado. Outro processo de formação de metano é a metanogênese acetoclástica, dada por:



O [experimento caseiro realizado pelo canal Great Inventions](https://www.youtube.com/watch?v=1hyQscoaGhw&t=676s)⁶ e publicado na plataforma Youtube demonstra como é fácil induzir esse processo a acontecer, apesar dos impasses apresentados pelas reações. Com apenas um pote de plástico com um furo na tampa para conectar o tubo para a passagem do gás e frutas, como exposto na imagem 1, após 7 dias houve considerável decomposição das frutas, vide a imagem 2, e consequente produção de biogás. Ao final do vídeo, ainda é demonstrado como o gás gerado pode ser utilizado para gerar energia a partir de um fogão rudimentar, exposto na imagem 3.

⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429222000748>

⁵ https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/27817/1/TCC_Rodolpho_Lins_EQ.pdf

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=1hyQscoaGhw&t=676s>

		
Imagem 1 - Montagem experimental inicial ⁶	Imagem 2 - Frutas após 7 dias em decomposição⁶	Imagem 3 - Fogão alimentado pelo biogás do experimento⁶

Embora um biodigestor caseiro demonstre que a metanogênese ocorra espontaneamente, apenas a decomposição da matéria orgânica não garante a produção energética eficiente nem ambientalmente segura. Para a sua utilização em ampla escala para geração de energia, é necessário que haja melhor eficiência do processo de decomposição, por meio da manutenção das condições ideais para a produção do metano durante a digestão anaeróbica. Isso pode ser feito pelo controle do pH, balanceamento da proporção entre carbono e nitrogênio, remoção de contaminantes e enriquecimento de metano.

Como exemplificado anteriormente, a digestão bacteriana leva à formação de ácidos orgânicos que reduzem o pH do meio e interferem na atividade das arqueias metanogênicas. A utilização de sistemas tampão, como o par bicarbonato/carbonato⁷, ou a adição controlada de bases como o bicarbonato de sódio mediante monitoramento do pH, neutraliza o excesso de íons H^+ e mantém o pH perto da neutralidade, faixa ótima da ação das arqueias metanogênicas.

Além disso, o ajuste da relação carbono/nitrogênio⁸ é necessário para o rendimento do processo, uma vez que, se houver nitrogênio em excesso no sistema, a formação de amônia livre (NH_3) é favorecida, e essa espécie é tóxica às arqueias. A correção ocorre ao misturar resíduos ricos em carbono, tais como palha ou restos vegetais secos, diluição do substrato e controle térmico.

Outro aspecto relevante é a bioestimulação por meio da adição de micronutrientes⁹ metálicos, como níquel, cobalto e ferro, pois seus íons participam de enzimas fundamentais para a formação de metano, como a metil-coenzima M redutase, catalisadora da última etapa da formação do CH_4 ¹⁰ na metanogênese acetoclástica e que é composta por níquel. Portanto, se não houver suficiente quantidade desses micronutrientes, a formação de metano pode ser freada.

Por fim, a purificação do biogás é um mecanismo importante para seu uso energético. Por ser proveniente de matéria orgânica, no biogás está presente o enxofre na forma de gás sulfídrico (H_2S). Esse gás é altamente corrosivo e inviabiliza motores e turbinas. Para removê-lo¹¹, pode-se usar uma reação de adsorção com carvão ativado ou reação com óxido de ferro, cuja equação

⁷ https://professor.ufrgs.br/sites/default/files/lucasalvares/files/poligrafo_3_-_tampoes_biologicos_-_pdf

⁸

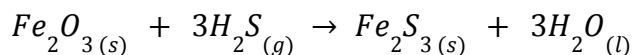
[https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/c-n-ratio#:~:text=The%20carbon:nitrogen%20\(C:.to%20achieve%20the%20desired%20balance](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/c-n-ratio#:~:text=The%20carbon:nitrogen%20(C:.to%20achieve%20the%20desired%20balance)

⁹ <https://biogaseenergia.com.br/digestao-anaerobia-e-o-papel-das-enzimas-naturais-episodio-2>

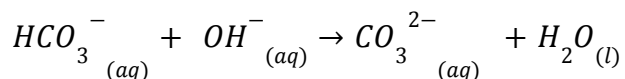
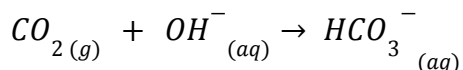
¹⁰ <https://www.scielo.br/j/qn/a/krqntpnLymDBqJrYV9m5k9w/?format=pdf&lang=pt>

¹¹ <https://www.scielo.br/j/esa/a/KLsC48SCw9wGbwYdBkq66Wx/?format=pdf&lang=pt>

química é:



Também é possível aumentar a concentração de metano do biogás tornando-o biometano por meio da remoção do CO_2 , o outro componente principal da mistura, de modo a aumentar a concentração de metano e, consequentemente, o poder calorífico. Ela pode ser feita pela absorção com soluções aminas ou alcalinas¹², como por exemplo:



O carbonato resultante da reação irá formar um sal com o cátion da base, fazendo com que o CO_2 saia da fase gasosa e se torne uma espécie dissolvida. Nesses processos, o teor de metano pode ser elevado a valores superiores a 95%, permitindo que ele seja utilizado na rede de gás nacional ou até mesmo como combustível veicular.

Com essas técnicas, o biogás poderá ser aproveitado para utilização energética com muito mais eficiência, segurança e estratégia ambiental. Sob a perspectiva do ODS 7, que busca assegurar energia limpa e acessível, o domínio químico do processo de produção e purificação do biogás permite o aproveitamento de materiais antes desprezados, diversificando a matriz energética com uma fonte renovável de alta eficiência. Apesar de emitir dióxido de carbono, a queima de metano é considerada renovável, pois o carbono liberado pelo gás faz parte do ciclo biogênico do carbono atualmente, não está acumulado há milhões de anos como as fontes fósseis. A matéria orgânica que origina o metano capturou dióxido de carbono da atmosfera recentemente por meio da fotossíntese, assim, tornando o “saldo” de dióxido de carbono na atmosfera nulo. Ademais, por usar uma matéria prima sem valor algum, que é literalmente lixo, o custo de produção da energia proveniente do biogás é extremamente baixo, tornando a energia elétrica no país mais acessível. Portanto, a matriz energética renovável brasileira será ampliada e barateada, promovendo autonomia energética regional em municípios e comunidades e contribuindo para a gestão de resíduos. Em áreas carentes, por exemplo, o uso de biodigestores pode ajudar ainda com o tratamento de efluentes, de modo a gerar também gás de cozinha para as casas e fertilizante para as plantações.

Já em relação ao ODS 13, voltado à ação contra a mudança global do clima, a captura e a combustão completa do metano, realizada por sua queima que gera energia à sociedade, é uma medida concreta de mitigação das mudanças climáticas, ao converter um gás de elevado potencial de aquecimento global em dióxido de carbono, que ainda é um gás do efeito estufa, mas de menor impacto relativo. O gás metano que iria para a atmosfera caso os resíduos fossem encaminhados para aterros sanitários ou lixões, como ocorre atualmente, com o uso dos biodigestores, poderá ter um impacto reduzido. Além disso, a substituição de combustíveis fósseis é mais um passo importante para a atenuação da ação antrópica sobre o clima.

Em suma, o aprimoramento químico do processo de decomposição de matéria orgânica que está amplamente disponível e inutilizada no Brasil pode ser uma alternativa para tornar a matriz energética mais limpa e acessível e mitigar os efeitos climáticos causados pela liberação de metano por resíduos orgânicos. Assim, o país poderá estar mais próximo de cumprir o seu compromisso internacional assumido na Agenda 2030 com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

¹² [https://sphinxesai.com/2013/conf/PDFS%20ICGSEE%202013/CT=51\(886-890\)ICGSEE.pdf](https://sphinxesai.com/2013/conf/PDFS%20ICGSEE%202013/CT=51(886-890)ICGSEE.pdf)