

UNIDADE

D

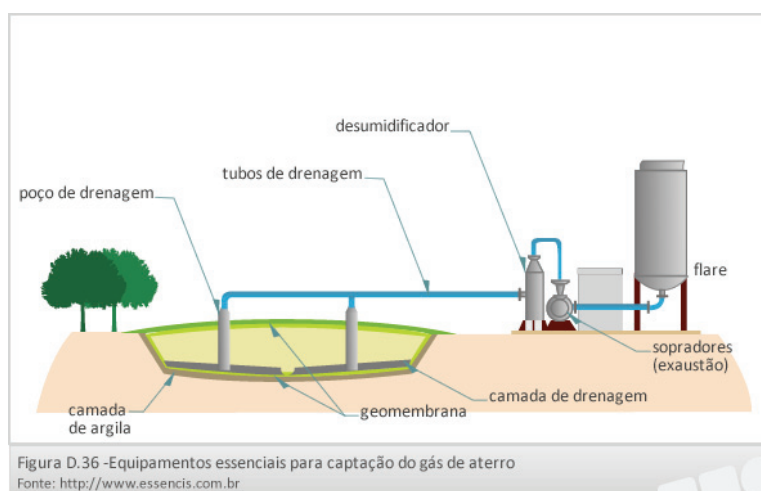
5. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA EXTRAÇÃO DO GÁS DE ATERRO PARA FINS ENERGÉTICO

Um sistema padrão de coleta do biogás de aterro é composto por poços de coleta e tubos condutores, sistema de compressão e sistema de purificação do biogás.

O sistema de coleta possui tubos verticais perfurados ou canais e em alguns casos membrana protetora. Além disso, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energética possui flare para queima do excesso do biogás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos.

Na Figura D.36 são apresentados os equipamentos essenciais para captação de gás de aterro para fins energéticos

Posteriormente iremos discutir em detalhes a finalidade de cada um desses equipamentos.



Captação do Biogás

O sistema de captação do gás de aterro é composto por um conjunto de poços e uma rede de tubulação de PEAD (Polietileno de alta densidade) como mostrado na Figura D.37.

Em aterros sanitários construídos conforme a norma nacional vigente, já está prevista a colocação dessa tubulação para a coleta do gás.



Figura D.37 - Cabeça de poço de captação de gás metano
Fonte: do autor.

Cada uma das pontas do tubo é conectada a uma tubulação lateral que transporta o gás para um coletor principal.

O sistema de coleta deve ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás se necessário.

As tubulações provenientes dos drenos são interligadas aos pontos de regularização de fluxo ou manifolds (Figura D.38). E estes são interligados a uma linha principal, que conduz o biogás para os sistemas de queima (flare) e/ ou para o grupo de geradores.

A força motriz para a extração do biogás é a pressão negativa gerada por um conjunto de sopradores interligados à linha principal.



Figura D.38 - Unidade de controle do fluxo de gás metano (manifold)
Fonte: Vidal Cavalcante/AE

Na linha de entrada do sistema, a vazão de biogás é controlada diretamente por uma válvula borboleta e indiretamente por um inversor de frequência acoplado ao motor do soprador, o qual é acionado através

de um transmissor de pressão, instalado na linha de sucção. Assim, o inversor de frequência regula o ponto de operação do motor do soprador em função da pressão, mantendo a vazão do processo constante.

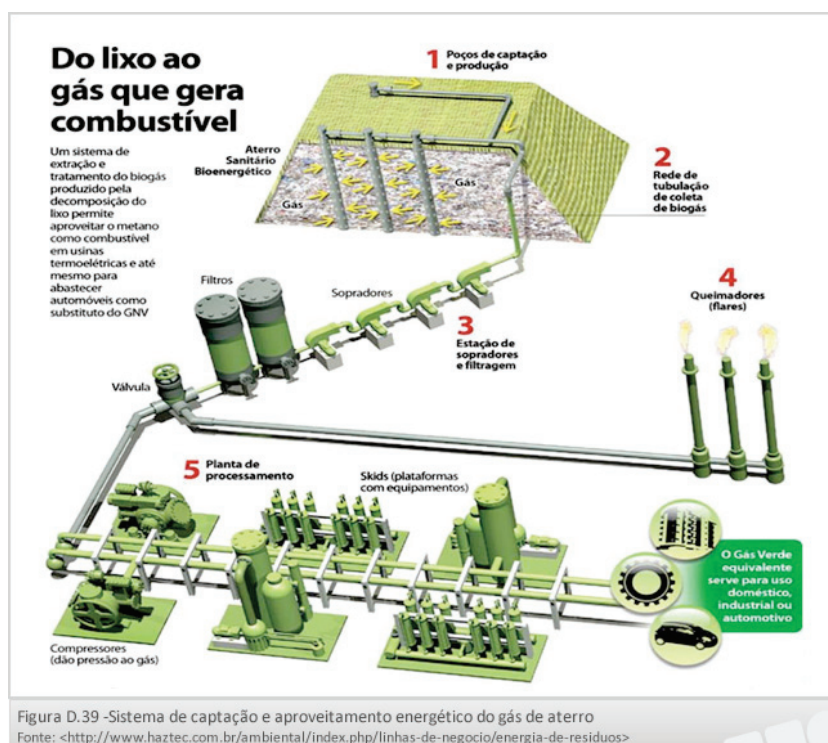
Na mesma linha normalmente é instalado um termômetro, com a finalidade de indicar localmente a temperatura do gás no interior da tubulação. A primeira etapa de tratamento do biogás extraído ocorrerá pela passagem do mesmo através de um filtro, para a remoção de material particulado eventualmente arrastado juntamente com o gás.

À montante e à jusante deste filtro são instalados medidores de pressão (vacuômetros) que possibilitam o monitoramento do aumento da perda de carga e permitem identificar o momento da troca do elemento filtrante.

Sistema de Compressão

A sucção do gás dos poços de coleta é realizada por um compressor. Os compressores também podem ser necessários para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerão da taxa do fluxo de gás e do nível de compressão desejado, que pode ser determinado pelo equipamento de conversão energética.

A Figura D.34 apresenta um esquema gráfico do sistema de captação de gás de aterro e do reaproveitamento energético.



Sistema de Tratamento de Condensado

Juntamente com o biogás é captado vapor de água que condensa após o resfriamento do biogás na tubulação de captação (Figura D.40). Esse condensado deve ser removido do sistema de coleta e deve ser devidamente tratado juntamente com o chorume produzido no aterro.



O controle do condensado tem início no sistema de coleta onde são utilizados conectores e tubos inclinados para permitir a drenagem em tanques e, após a coleta, o condensado é removido. Os métodos para disposição do condensado são: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, e recirculação para o aterro sanitário.

O melhor método dependerá das características do condensado (em função dos componentes do lixo local), do custo do tratamento, além da legislação e regulação vigentes.

Sistema de Tratamento do Biogás

Após a coleta e antes da sua utilização no processo de conversão de energia, o biogás é tratado para a remoção de algum condensado que não foi coletado, assim como particulados e impurezas em geral. Para sua utilização em caldeiras, um tratamento mínimo é requerido; em gasodutos é indispensável um tratamento extensivo para remover o CO₂. No caso da geração de energia podem ser utilizados filtros para a remoção de impurezas, visto que estas podem danificar os componentes do motor ou da turbina, reduzindo a eficiência do sistema.

O gás tratado é direcionado para sistemas de geração de vapor (caldeiras, fornos) ou sistemas geradores de energia elétrica (motores estacionários), podendo ser igualmente aproveitado o calor rejeitado para aquecimento de água.

Sistema de conversor de energia

A conversão energética do biogás é o processo de transformação da energia química das moléculas do biogás, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica, que por sua vez será convertida em energia elétrica.

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna, que estão detalhadas a seguir. Existem também tecnologias emergentes como as células de combustíveis que, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, pode ser considerada uma tecnologia promissora

Motores combustão interna

O motor ciclo Otto é o equipamento mais utilizado para queima do biogás, devido ao maior rendimento elétrico e menor custo quando comparado às outras tecnologias. Para promover a queima de biogás em

motores ciclo Otto, são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão (Figura D.41).



Figura D.41 - motor Ciclo Otto 4 tempos.
Fonte: do autor

Saiba mais

Os motores ciclo Otto aspiram a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por centelha produzida na vela de ignição. Esses motores são chamados de 4 tempos, pois seu funcionamento ocorre sequencialmente em quatro etapas.

Vantagens

- Geração de energia elétrica para o próprio consumo do aterro;
- Economia de R\$ em relação à energia proveniente da concessionária;
- Possibilidade de obtenção de receita adicional pela venda de excedente de energia;
- Possibilidade de obtenção e comercialização de créditos de carbono (considerada 100% de eficiência de queima).

Desvantagens

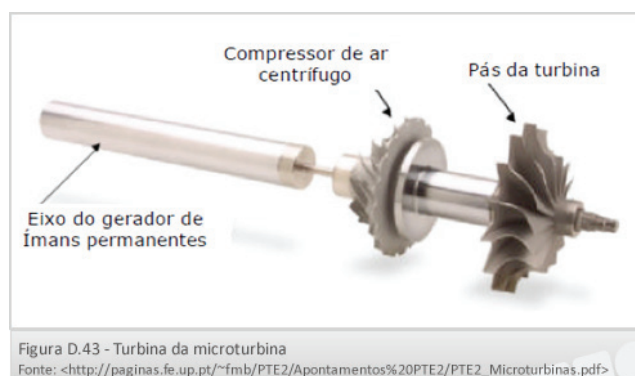
- Motores de grande porte são importados, já que, no Brasil, a maior potência disponível é de aproximadamente 230 kW. Isso faz com que o investimento inicial seja elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 5 kW a 1,6 MW;
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%;
- Altos valores de emissão de NOx (gás de grande impacto ambiental).
- Dependendo do porte do motor, a emissão de NOx varia entre 250 e 3.000 ppm (parte por milhão).

Microturbinas

Nas microturbinas (Figura D32) o ar é aspirado e forçado para seu interior à alta velocidade e pressão, misturado ao combustível (biogás) para, então, ser queimado na câmara de combustão.



Os gases quentes resultantes da combustão são expandidos na turbina e o calor remanescente dos gases de exaustão pode ser aproveitado para aquecimento do ar de combustão (Figura D.43).



Vantagens

- Além das vantagens apresentadas nos motores ciclo Otto, as microturbinas apresentam os seguintes benefícios.
- Baixos níveis de ruídos e vibrações.
- Flexibilidade de combustível, dentre eles o biogás.
- Dimensões reduzidas e simplicidade de instalação, podendo ser instaladas em locais cobertos ou ao ar livre.
- Baixas emissões de NOx.

Desvantagens

- Equipamentos importados: investimento inicial elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 30 kW a 1,0 MW.
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%. Porém, quando utilizadas em instalações de cogeração, sua eficiência pode chegar a mais de 80%.
- Alto custo de operação e manutenção, quando comparada a outras tecnologias existentes.
- Necessidade de um rígido sistema de limpeza do biogás e remodelação da microturbina para sua queima, já que é um gás de baixo poder calorífico.

Queima do biogás

O *flare* (Figura D.44) é um dispositivo utilizado na ignição e queima do biogás. É considerado um componente de cada opção de recuperação de energia, visto que pode ser necessário durante as etapas de início do processo e manutenção do sistema.

Também pode ser utilizado para queima do biogás excedente entre os *upgrades* de sistemas, podendo ser abertos (ou vela) ou enclausurados. Estes últimos são mais caros, mas podem ser requeridos porque proporcionam testes de concentração e podem obter eficiências de combustão altas. Além do que, *flares* enclausurados podem reduzir o nível de ruído e iluminação.



Figura D.44 - Flare do tipo (a) enclausurado e do (b) tipo aberto ou vela.
Fonte: do autor.

Parada obrigatória

Para um melhor entendimento do sistema de captação de gás em um aterro e do sistema de reaproveitamento energético do mesmo assista as animações listadas nos links:

<http://www.youtube.com/watch?v=CROSTc_Ajp8>

<<http://www.youtube.com/user/Planeta3DTV#p/u/1/rF8ujMrZ8sc>>

Métodos para a estimativa de geração de gás

Existem diferentes métodos de estimativa da quantidade de gás de aterro ou biogás gerado, desde métodos que apresentam uma aproximação grosseira, considerando somente a quantidade de resíduo sólido doméstico, disposto no aterro, até métodos que consideram a cinética de geração de biogás em função de importantes parâmetros: condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo.

Algumas metodologias para estimativas teórica da produção de gás metano em locais de deposição de resíduos sólidos urbanos são encontradas na literatura. Esses métodos variam em suas considerações, em sua complexidade e na quantidade de dados de que necessitam.

Os mais conhecidos e empregados são os modelos recomendados pelo Banco Mundial, pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) e pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A seguir é feita uma breve revisão sobre os referidos modelos.

Modelo recomendado pelo Banco Mundial

Conhecido como Scholl-Canyon, esse modelo é recomendado pelo Banco Mundial por ser simples, de fácil aplicação e o mais empregado pelas agências reguladoras e instituições financeiras que apoiam os projetos de aproveitamento do biogás de aterros na América do Sul.

Esse modelo baseia-se na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro sanitário por unidade de tempo, o que se expressa a partir da seguinte equação de primeira ordem:

$$Q_{CH_4} = k \cdot L_o \cdot R_i \cdot e^{-kt}$$

Em que:

- Q_{CH_4} = quantidade de gás gerado durante um ano (m³/ano)
- k = constante de decaimento anual de metano (ano⁻¹)
- L_o = potencial de geração de metano em peso de resíduo (m³/ kg de resíduo)
- R_i = quantidade de resíduos depositados no ano “i” (kg de resíduo/ano)
- t = anos após o encerramento do aterro (anos)

Modelo desenvolvido pela USEPA

Também chamado de Landfill Gas Emission Model (Landgem), foi desenvolvido pela EPA e consta na legislação federal dos EUA sobre diretrizes e regras finais para aterros sanitários ativos e encerrados. É bastante empregado, tendo sido utilizado inclusive no estudo do potencial de geração de energia nos municípios brasileiros realizado pelo Ministério do Meio Ambiente.

Esse método é recomendado para aterros sanitários ainda na fase de projeto, pois ainda não se sabe realmente qual será o fluxo anual de resíduos. Conforme CETESB/SMA (2003), esse método se divide em duas etapas: enquanto o aterro recebe resíduos e após o seu fechamento.

Enquanto o aterro está aberto, o termo de cinética $e^{-k \cdot c}$ será igual a 1. Após o fechamento, esse termo de cinética deverá ser considerado. Assim, pode-se dividir essa equação em duas:

- durante a vida útil:

$$Q_{CH_4} = F \cdot R \cdot L_o (1 - e^{-kt})$$

- após o fechamento do aterro

$$Q_{CH_4} = F \cdot R \cdot L_o (e^{-kc} - e^{-kt})$$

Sendo:

- Q_{CH_4} = metano gerado (m³/ano);
- F = fração de metano no biogás (%);
- R = quantidade de resíduos depositados anualmente durante a vida útil do aterro (kg RSD/ano);
- L_o = potencial de geração de biogás (m³ de biogás/kg RSD);
- k = constante de decaimento (ano⁻¹);
- c = tempo decorrido desde o fechamento do aterro (ano);
- t = tempo decorrido desde a abertura do aterro (anos).

Os parâmetros L_0 e k são comuns a todos os modelos e considerados os mais importantes, pois refletem variações de acordo com o local, o clima e a composição dos resíduos, entre outros. A constante, taxa de geração de metano (k), representa a velocidade de decomposição biológica dos resíduos após a disposição no aterro sanitário e é influenciada pelo teor de umidade, pela disponibilidade de nutrientes, pelo pH e pela temperatura.

Os valores de k variam de 0,003, para aterros secos, a 0,21, para aterros úmidos. Estima-se que essa margem reflita as diferentes características geográficas do país e certas condições do aterro.

A constante de decaimento é função de fatores como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e principalmente umidade. Os valores sugeridos para k podem variar de 0,01 ano⁻¹ a 0,09ano⁻¹ conforme pode ser observado na tabela D3.

Precipitação anual	Valores para k (ano ⁻¹)		
	Relativamente inerte	Decomposição moderada	Decomposição alta
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 a <500mm	0,01	0,03	0,05
>500 a <1000 mm	0,02	0,05	0,08
>1000 mm	0,02	0,06	0,09

Tabela D3 – Valores da constante de decaimento (k) dos resíduos sólidos dispostos em aterro sanitário.

Fonte: do autor.

O potencial de geração de metano (L_0) representa a produção total de metano (m³ de metano por kilo de resíduos sólido). O valor de L_0 é dependente da composição do resíduo e, em particular, da fração de matéria orgânica presente.

O valor de L_0 é estimado com base no conteúdo de carbono do resíduo, na fração de carbono biodegradável e num fator de conversão estequiométrico. Valores típicos para esse parâmetro variam de 125 m³ de tonelada de CH₄/tonelada de resíduo a 310 m³ de tonelada de CH₄/tonelada de resíduo.

A maior compactação do resíduo não tem efeito direto no parâmetro de L_0 . No entanto, a compactação e a densidade do resíduo têm um efeito direto na massa de lixo num dado volume e, portanto, no potencial de quantidade de gás de aterro que pode ser produzido durante algum tempo, bem como nas características de desempenho dos sistemas que serão necessários para coletar o gás de aterro.

Modelo adotado pelo IPCC

O Método de Decaimento de Primeira Ordem I (USEPA 2, 1997; IPCC, 1996) considera a geração de metano por uma quantidade de resíduo depositada no ano x durante os anos posteriores. Como a cada ano novas quantidades de resíduos são depositadas, a quantidade de metano gerada em um determinado ano será igual à geração do resíduo depositado no ano T , somada às gerações dos resíduos depositados nos anos anteriores, referenciadas no ano T (CETESB/SMA, 2003).

$$Q_{CH_4} = F.R.L_0.e^{-k(T-x)}$$

Sendo:

- Q = metano gerado no ano T (m^3 /ano);
- F = fração de metano no biogás (%);
- R_x = quantidade de resíduo depositado no ano x (kg);
- k = constante de decaimento (ano^{-1});
- L_0 = potencial de geração de biogás (m^3 de biogás/kg de resíduo);
- T = ano atual;
- x = ano de deposição do resíduo.

O resíduo disposto anualmente (R) é variável e depende de fatores como a taxa de crescimento populacional, taxa de RSD produzido por habitante ao ano e da porcentagem de resíduos que é coletada e disposta no aterro. A multiplicação de todos esses fatores origina o valor de R .

São necessários dados estatísticos sobre a população e sobre os resíduos sólidos urbanos. Caso não haja dados disponíveis para o cálculo no país, poderão ser usados dados padronizados fornecidos pelo IPCC (International Panel on Climate Change), mas a qualidade dos resultados pode ser prejudicada.

A estimativa de soma das vazões (ΣQ_T) de metano é dada pela equação abaixo, que representa a soma das vazões de metano correspondentes às quantidades de resíduo depositadas no aterro ano a ano.

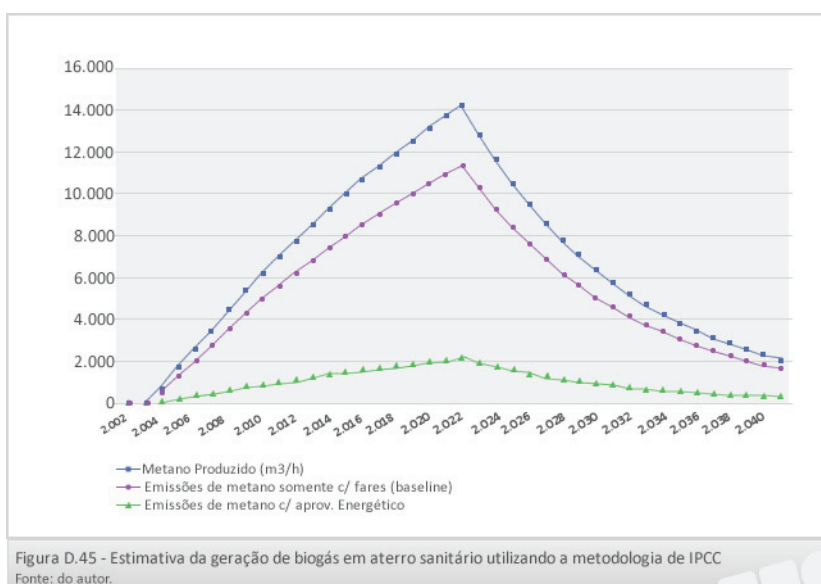
$$\Sigma Q_T = F \cdot k \cdot L_0 \cdot \Sigma R_x \cdot e^{-k \cdot (T-x)}$$

Sendo:

- ΣQ_T = estimativa da soma das vazões de metano no ano considerado [m^3CH_4 /ano].

Portanto, essa estimativa é feita ano a ano, obtendo-se assim a emissão de metano do aterro durante toda a sua vida útil e pelos anos seguintes, após o seu fechamento.

Na Figura D.45, é apresentado uma estimativa de geração de biogás em aterro utilizando o modelo do IPCC.



RESUMO

No quadro abaixo são apresentados os principais equipamento utilizados na captação de biogás em aterro para aproveitamento energético

Equipamento	Função
Captação do Biogás	- Composto por um conjunto de poços e uma rede de tubulação de PEAD (polietileno de alta densidade). - Deve ser planejado para que permita o monitoramento do fluxo de gás. - As tubulações provenientes dos drenos são interligadas aos pontos de regularização de fluxo ou manifolds. - Uma linha principal conduz o biogás para o sistema de queima (flare) e/ ou para o grupo de geradores.
Sistema de Compressão	- A sucção do gás dos poços de coleta é realizada por um compressor. - Os compressores também podem ser necessários para comprimir o gás antes de entrar no sistema de recuperação energética. - O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerão da taxa do fluxo de gás e do nível de compressão.
Sistema de Tratamento de Condensado	- O controle do condensado tem início no sistema de coleta onde são utilizados conectores e tubos inclinados para permitir a drenagem em tanques e após a coleta o condensado é removido. - Os métodos para disposição do condensado são: descarga no sistema público de esgoto, sistema de tratamento local, e recirculação para o aterro sanitário.
Sistema de Tratamento do Biogás	- Sistema utilizado para remoção de algum condensado que não foi coletado, assim como particulados e impurezas em geral. - São utilizados filtros para a remoção de impurezas, visto que estas podem danificar os componentes do motor ou da turbina, reduzindo a eficiência do sistema. - O gás tratado é conduzido para sistemas de geração de vapor (caldeiras, fornos) ou sistemas geradores de energia elétrica (motores estacionários), podendo ser igualmente aproveitado o calor rejeitado para aquecimento de água.
Sistema de conversor de energia	- As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são: – turbinas a gás; – motores de combustão interna; – células de combustíveis (em fase de desenvolvimento).

Tabela D4 - resumo

Fonte: do autor