

MANUAL PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS VOLUME 2 - EFLUENTES URBANOS



MANUAL PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS

Volume 2 - EFLUENTES URBANOS

REALIZAÇÃO



ICLEI - Brasil

PATROCÍNIO



Environmental Protection Agency



ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade

Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010

Bibliografia

ISBN: 978-85-99093-03-0

Copyright © ICLEI- Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe (LACS)
Todos os Direitos Reservados

REALIZAÇÃO

- ICLEI - Brasil

PATROCÍNIO

- EPA - United States Environmental Protection Agency
- Reep - Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership

EQUIPE

Coordenação Geral

- Laura Valente de Macedo

Assessoria de Projeto

- Guilherme Johnston

Consultoria Técnica e Redação

- Patrícia Totti
- Véssia Maria Cordaro

Revisão

- Fabiana Barbi

Diagramação

- Eduardo Nojiri

Impressão

- Improta Gráfica

- *Créditos das fotos de capa: Instituto Agir Sustentável e SXC.hu*

AGRADECIMENTOS

O ICLEI-LACS agradece o apoio da Parceria para Energias Renováveis e Eficiência Energética (REEEP) por meio do projeto “Promovendo o Uso do Biogás Local para o Desenvolvimento Sustentável no Brasil”, que resultou nesta publicação e à Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA) pelo suporte principalmente na primeira fase do projeto.

Aos municípios de Betim, por meio de sua Secretaria de Meio Ambiente e do Centro de Referência em Energias Renováveis (CRER); de Manaus, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMMAS); de Porto Alegre por meio da Secretaria do Meio Ambiente (SMAM) e do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), por terem participado ativamente do projeto e apoiado a coleta de dados e informações necessárias para a elaboração dos estudos de casos.

À empresa COPASA em Betim pelo apoio técnico durante a elaboração desta publicação.

Ao projeto Comunidades-Modelo em Energias Renováveis Locais (Rede Elo) do ICLEI, pela parceria durante a execução do projeto e durante a realização da I Jornada Internacional sobre Energias Renováveis, Eficiência Energética e Poder Local em Betim: Inovação tecnológica para uma Nova Economia ocorrida em Betim em março de 2010 durante a qual também ocorreu o segundo workshop do projeto.

PREFÁCIO

O planeta continua a sofrer os efeitos causados pelas mudanças globais do clima e os líderes mundiais parecem não estar enfrentando essa situação com a seriedade necessária. Eventos extremos como enchentes, furacões e outras intempéries continuam a ocorrer de maneira constante e em locais onde não ocorriam anteriormente. As expectativas eram grandes em relação à última Conferência das Partes das Nações Unidas (COP15) realizada em Copenhague em dezembro de 2009. Porém, mais uma vez, os governos nacionais não chegaram a um acordo capaz de criar um tratado que substituiria o Protocolo de Quioto que estará em vigência até 2012.

Por outro lado, os governos locais do mundo estão cada vez mais conscientes da necessidade de agir para combater os malefícios causados pelas mudanças globais do clima. Várias cidades já desenvolvem suas próprias políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas conscientes da necessidade de agir independentemente do que é decidido em âmbito nacional e internacional.

Como representante dos governos locais nas negociações internacionais sobre as mudanças climáticas, o ICLEI é consciente da necessidade de dotar os municípios das mais variadas ferramentas para implementar políticas públicas que combatam esse problema. Em todo o mundo, é parceiro de cidades em projetos de capacitação, melhoria da sustentabilidade urbana e acesso a boas práticas internacionais na área ambiental. As trocas de experiências entre municípios de continentes diferentes constituem um excelente mecanismo para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos em um mundo cada vez mais urbano.

Tendo como base a importância da ação local, no final de 2009 o ICLEI lançou o Manual para Aproveitamento do Biogás Volume 1- Aterros Sanitários. Essa publicação apresentou aos governos locais ferramentas para a implementação de medidas de redução da emissão do metano gerado em aterros sanitários e para a geração de energia a partir do biogás produzido nos aterros. O objetivo desse manual foi mostrar que é possível transformar resíduos em energia e que projetos podem ser desenvolvidos por municípios de tamanhos e realidades socioeconômicas distintas.

O primeiro volume do Manual foi distribuído para diversos municípios brasileiros, governos estaduais, governo federal, entidades acadêmicas e outras organizações da sociedade civil interessadas pelo tema. Obteve excelente aceitação nos meios onde foi disseminado sendo considerado por diversos municípios como uma importante ferramenta para implementar políticas de melhora na gestão dos aterros sanitários municipais e na geração de energia renovável a partir do biogás.

Outra importante fonte de geração do biogás são os efluentes. Vários países do mundo já o utilizam como uma fonte renovável de energia contribuindo assim para a redução das emissões do metano e gerando eletricidade de modo limpo. No Brasil, a realidade é bem distinta e ainda são poucos os exemplos de estações de tratamento de efluentes que utilizam o biogás como energia. Por isso a importância de dotar os municípios brasileiros de ferramentas para que possam desenvolver atividades relacionadas ao uso do biogás produzido a partir dos efluentes.

Além de reduzir as emissões do gás metano e gerar uma forma de energia renovável, políticas que aproveitem o biogás contribuem para melhorar o saneamento básico no Brasil. Muitas comunidades isoladas ainda não possuem um saneamento adequado. A instalação de biodigestores nessas comunidades contribui, então, para que essas populações tenham acesso ao saneamento básico e possam utilizar-se do biogás como uma fonte alternativa de energia em locais onde muitas vezes não há nem luz elétrica.

O Manual Para Aproveitamento do Biogás Volume 2 – Efluentes Urbanos, desenvolvido no âmbito do projeto “Promovendo o Uso do Biogás Local para o Desenvolvimento Sustentável no Brasil”, que recebeu apoio financeiro da Parceria para a Eficiência Energética e Energias Renováveis (REEEP, na sigla em inglês), pretende dotar os municípios de ferramentas para aproveitar o biogás gerado a partir dos efluentes. As cidades podem, assim, além de melhorar seu saneamento básico, contribuir para o combate global contra as mudanças climáticas.

Nessa publicação, são descritas fontes de recursos, arranjos institucionais, barreiras e exemplos de políticas eficazes do aproveitamento energético do biogás. Além disso, é dado um direcionamento passo a passo de como um município pode implementar um projeto que consiga realizar esse aproveitamento beneficiando sua cidade, seu país e o mundo como um todo.

Desse modo, esperamos que a partir desse Manual, as experiências de sucesso dos governos locais que transformam efluentes em energia constituam a norma, e não apenas exceção à regra. As experiências relatadas neste Manual demonstram ser possível o engajamento dos governos locais brasileiros no efetivo combate às mudanças climáticas, contribuindo para a necessária redução das emissões do metano a partir dos efluentes gerados no município.

SUMÁRIO

1.	MUDANÇAS GLOBAIS DO CLIMA	13
1.1.	A problemática do aquecimento global	13
1.2.	O papel dos governos locais no combate às mudanças globais do clima	15
1.3.	Acordos e mecanismos internacionais para mitigação das mudanças globais do clima	16
1.4.	Ações do Brasil para mitigar as mudanças globais do clima	18
2.	CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO	21
2.1.	Produção e consumo de energia no Brasil	21
2.2.	Emissões de GEE na matriz energética	24
3.	RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	25
3.1.	Recursos hídricos no Brasil e no mundo	25
3.1.1.	Recursos hídricos no Brasil	26
3.2.	Saneamento básico no Brasil	27
4.	SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS	29
4.1.	Caracterização de efluentes sanitários	29
4.2.	Caracterização de efluentes industriais	30
4.3.	Efeitos do lançamento de efluentes em corpos d'água	30
4.4.	Tratamento de esgotos	31
4.4.1.	Tratamento preliminar	32
4.4.2.	tratamento primário	32
4.4.3.	Tratamento secundário	33
4.4.3.1.	Lagoas de estabilização	33
4.4.3.1.1.	Lagoas facultativas	34
4.4.3.1.2.	Lagoas anaeróbias	34
4.4.3.1.3.	Lagoa aerada-facultativa	35
4.4.3.1.4.	Lagoa de mistura completa	35
4.4.4.	Sistemas de lodos ativados	35
4.4.4.1.	Sistema de lodos ativados convencional	36
4.4.4.2.	Sistema de aeração prolongada	36
4.4.4.3.	Sistema de lodos ativados de fluxo intermitente	37
4.4.5.	Filtros biológicos	37
4.4.5.1.	Filtros biológicos de baixa carga	37
4.4.5.2.	Filtros biológicos de alta carga	38
4.4.5.3.	Biodiscos	39
4.4.6.	Tratamento anaeróbio	39
4.4.6.1.	Sistema fossa séptica - filtro anaeróbio	39
4.4.6.2.	Reator anaeróbio de fluxo (RAFA ou UASB)	40
4.5.	Tratamento do lodo	41
4.6.	Considerações sobre o potencial de geração de biogás em ETEs	41
4.7.	Biodigestores: uma alternativa para melhorar o saneamento e gerar energia	42
4.7.1.	Uso de biodigestores no mundo	42
4.7.2.	Uso de biodigestores no Brasil	43
4.7.2.1.	Biodigestores para tratamento de dejetos animais	43
4.7.2.2.	Biodigestores para tratamento de esgotos sanitários e lodo de ETEs	43
5.	ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS	45
5.1.	Geração de energia elétrica	45

5.1.1. Motor de combustão interna - ciclo Otto.....	46
5.1.2. Microturbinas a gás.....	46
5.2. Geração de energia térmica.....	46
5.2.1. Sistemas de ciclo a vapor.....	46
5.2.2. Secagem de lodo.....	47
5.3. Uso veicular.....	48
6. ESTUDOS DE CASO.....	49
6.1. Estudo de caso para o município de Porto Alegre.....	49
6.1.1. Caracterização do município.....	49
6.1.2. Potencial de geração de metano nas ETEs de Porto Alegre.....	50
6.1.3. Alterações possíveis nas ETEs existentes para aumentar a produção de biogás.....	53
6.2. Estudo de caso para o município de Betim.....	57
6.2.1. Caracterização do município.....	57
6.2.2. Potencial de geração de metano na ETE Central.....	58
6.2.3. Alterações possíveis na ETE Central para aumentar a produção de biogás.....	59
6.3. Estudo de caso para o município de Manaus.....	60
6.3.1. Caracterização do município.....	60
6.3.2. Potencial de geração de metano em algumas ETEs de Manaus.....	61
6.3.2.1. Alterações possíveis nas ETEs para aumentar a produção de biogás.....	62
7. PASSO A PASSO.....	65
7.1. Primeiro passo: verificação das condições técnicas, operacionais e geográficas da ETE.....	65
7.2. Segundo passo: cálculo da produção de biogás e do potencial de geração de energia pelo seu uso.....	66
7.3. Terceiro passo: análise das alternativas tecnológicas para o aproveitamento do biogás.....	68
7.4. Quarto passo: análise da viabilidade financeira do sistema para aproveitamento do biogás.....	69
7.4.1. Investimento inicial.....	69
7.4.2. Despesas operacionais.....	69
7.4.3. Receitas e ganhos não mensuráveis.....	69
7.4.4. Análise da atratividade financeira.....	70
7.5. Quinto passo: busca de recursos financeiros para viabilizar os investimentos necessários.....	71
7.5.1. Obtenção de recursos por meio do MDL.....	71
7.6. Sexto passo: elaboração e registro de um projeto no âmbito do MDL.....	72
7.7. Sétimo passo: arranjos políticos e institucionais.....	73
Considerações finais.....	75
Referências bibliográficas.....	76

INTRODUÇÃO

Este manual tem o propósito de conscientizar os governos locais e gestores da área ambiental que atuam nos municípios brasileiros, sobre o potencial de geração e uso energético de biogás no tratamento de efluentes urbanos.

Seu conteúdo está organizado em três partes:

- A primeira parte apresenta informações relevantes sobre: (1) as mudanças globais do clima; (2) o cenário energético brasileiro e a importância da ampliação do uso de energias renováveis; e (3) o cenário dos recursos hídricos e do saneamento básico no Brasil.
- A segunda parte apresenta informações de caráter mais técnico, incluindo: (1) os tipos de tratamento de efluentes mais utilizados no Brasil e seu potencial de geração de biogás; (2) uso de biodigestores como alternativas para melhorar o saneamento de pequenas comunidades; e (3) apresentação de uma síntese dos estudos de caso para os municípios de Betim - MG, Manaus - AM e Porto Alegre - RS.
- A terceira parte apresenta um passo a passo para os gestores que desejarem implementar projetos de geração e aproveitamento energético do biogás em suas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), considerando aspectos de caráter técnico, ambiental, econômico e institucional.

Espera-se que a partir da leitura deste manual, muitos municípios brasileiros implementem projetos de aprimoramento do saneamento básico e aproveitamento energético do biogás gerado no tratamento de efluentes urbanos. O principal objetivo é estimular o uso do biogás como fonte de energia limpa e renovável, em substituição ou adicionalmente a outras fontes de energia. Isto ajudaria também a evitar os impactos negativos ocasionados por sua emissão para a atmosfera ou pela sua simples queima, como vem ocorrendo na grande maioria dos aterros sanitários e Estações de Tratamento de Efluentes Urbanos existentes no país.

Esta é também uma forma dos governos locais contribuírem efetivamente para mitigar as mudanças globais do clima.

Para facilitar a compreensão do que será exposto nos capítulos seguintes, a seguir são apresentadas algumas informações úteis sobre o principal tema desta publicação: o BIOGÁS.

BIOGÁS

O biogás é uma mistura de gases resultante da decomposição anaeróbia (sem oxigênio) da matéria orgânica por micro-organismos específicos, capazes de converter moléculas orgânicas complexas em moléculas mais simples, obtendo nesse processo energia e alimento para se desenvolverem. Isto ocorre, por exemplo, no interior de aterros de resíduos sólidos, no tratamento anaeróbio de efluentes urbanos, industriais e rurais que contenham carga orgânica, além de pântanos e áreas inundadas, tal como para o cultivo de arroz.

A composição do biogás é variável, pois depende do material orgânico que está sendo degradado e da condição em que ele foi gerado. De forma geral, o biogás contém:

Metano (CH_4): 50 – 70% do volume de gás produzido.

Dióxido de carbono (CO_2): 25 – 50% do volume de gás produzido.

Traços de outros gases, tais como: H_2 , H_2S , O_2 , NH_3 , N_2 .

Cada gás acima possui propriedades e potencial de uso específicos. Para os fins desta publicação, enfocaremos a atenção no gás metano (CH_4).

METANO

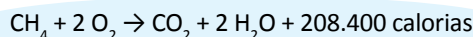
O metano (CH_4) é um gás incolor, composto por 1 átomo de Carbono e 4 átomos de Hidrogênio, cuja molécula é apolar e tetraédrica, conforme ilustração a seguir.



Além dos locais já mencionados onde ocorre a decomposição anaeróbia de moléculas orgânicas gerando o biogás, o metano também é produzido no rúmen de animais ruminantes (tais como bois, cabras, e outros), pois ali vivem em simbiose bactérias anaeróbicas que pré-digerem a celulose ingerida pelo animal, facilitando seu aproveitamento.

O metano é naturalmente encontrado em jazidas de carvão mineral e reservas de petróleo, sendo ele o principal componente do gás natural, que vem sendo canalizado e utilizado como fonte energética em muitos processos industriais.

O metano é pouco solúvel em água, mas quando adicionado ao ar, se transforma em mistura inflamável. A reação de combustão (queima ou reação com O_2), do metano é feita em 3 etapas, e ao final, libera grande quantidade de energia (280.400 calorias por mol queimado), sendo por isso chamada de reação exotérmica. Com a queima do metano, ocorre a transformação da energia química contida em sua molécula em energia térmica e luminosa.



Por isso, o metano é um gás com alto potencial energético.

A energia térmica liberada pela combustão do metano pode ser utilizada diretamente para aquecimento de água, secagem de chorume de aterros ou lodo de ETEs, geração de calor industrial (vapor), entre outros usos. Pode ainda ser convertida em outras formas de energia, tais como:

- energia elétrica, por meio do uso de geradores ou micro-turbinas a gás;
- energia cinética, quando utilizado em motores de veículos, funcionando como o GNV;
- energia luminosa, quando utilizado em luminárias especiais para iluminação de áreas externas.

METANO E O AQUECIMENTO GLOBAL

O metano é um dos gases causadores do efeito estufa, pois ele tem a capacidade de reter parte da radiação ultravioleta proveniente dos raios solares que deveria ser dissipada para o espaço, ocasionando a intensificação do efeito estufa natural e fazendo com que a temperatura média na superfície terrestre se eleve, ocasionando o aquecimento global.

Seu potencial de aquecimento global é 21 vezes superior ao do dióxido de carbono (CO_2), adotado como referência.

Calcula-se que 60% das emissões mundiais de metano são originadas a partir de ações humanas. Durante os últimos 200 anos, a concentração de metano na atmosfera aumentou de 0,8 para 1,7 ppm (partes por milhão).

O gráfico 1 ao lado evidencia que as emissões de metano aumentaram significativamente nas últimas décadas, apesar de seu grande potencial energético, que poderia suprir diversas demandas atualmente dependentes de recursos não renováveis.

As emissões atmosféricas de metano, bem como de outros Gases do Efeito Estufa (GEE), precisam ser reduzidas drasticamente e urgentemente em todo o planeta. Portanto, os governos locais e empresas cujos processos geram quantidades consideráveis de metano, devem fazer sua parte, promovendo uma eficaz captação e destruição, preferencialmente por meio de seu uso para fins energéticos.

METANO COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL E LIMPA

O calor gerado pela queima do metano pode ser aproveitado diretamente para aquecimento de edifícios, geração de vapor para usos industriais, secagem de lodos e chorume, etc. Essa energia térmica também pode ser aproveitada para produção de energia elétrica, bastando para isso utilizar equipamentos adequados capazes de realizar essa conversão. A energia luminosa gerada pela queima do metano também pode ser utilizada para iluminação de ambientes externos, como vias públicas, por exemplo. Outro uso possível é o uso do metano contido no biogás como combustível limpo para automóveis, caminhões e ônibus.

Enfim, as alternativas tecnológicas para uso do biogás como fonte de energia limpa são inúmeras, englobando diversos níveis de complexidade e custos, e este manual abordará em um capítulo específico as diversas alternativas disponíveis no Brasil.

Entretanto, para que se possa avaliar mais precisamente qual delas pode ser aplicada para aproveitamento do biogás gerado em sistemas de tratamento de efluentes em cada município, é fundamental que se realize um estudo técnico e análise, econômica, ambiental e social específicos. Este manual apresenta também orientações passo a passo para isso.

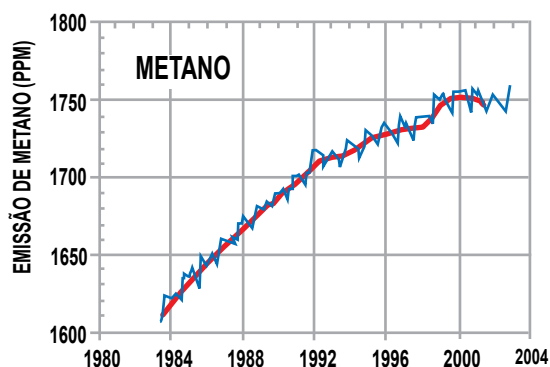


Gráfico 1: Histórico da concentração de dióxido de carbono e de metano na atmosfera. Fonte : IPCC, 2007

CAPÍTULO 1. MUDANÇAS GLOBAIS DO CLIMA

Este capítulo tem por objetivo sensibilizar o leitor sobre a problemática do aquecimento global e das mudanças do clima e conscientizá-lo da importância e urgência de contribuir de forma concreta para promover a redução das emissões de gases do efeito estufa e a maximização da capacidade de seqüestro e estocagem de carbono atmosférico na biomassa vegetal.

1.1. A Problemática do Aquecimento Global

Que o planeta está sofrendo mudanças climáticas significativas não é novidade para ninguém. Todos já percebemos alterações nas estações do ano, que não se mostram mais tão definidas como há algumas décadas. Enfrentamos dias de calor intenso em pleno inverno e frio no auge do verão.

Acidentes naturais como furações, enchentes, maremotos, deslizamentos de terra em grandes proporções, estão cada vez mais freqüentes e intensos, e seus estragos têm ocasionado mortes e sofrimento para milhares de pessoas, além de grandes danos ao meio ambiente e gastos significativos para os governos locais.

No entanto, muitos ainda acreditam que essas catástrofes são mera obra do acaso, ou como muitos dizem: “A natureza está se vingando do homem!”. Não se trata de vingança da natureza, mas sim do aumento significativo da concentração de certos gases na atmosfera.

Efeito Estufa ou Aquecimento Global?

O efeito estufa é um fenômeno natural pelo qual parte da radiação solar que chega à superfície da Terra é retida nas camadas baixas da atmosfera, proporcionando a manutenção de temperaturas numa faixa adequada para permitir a vida de milhares de espécies no planeta.

Entretanto, devido ao aumento da concentração de gases causadores do efeito estufa (GEE) na atmosfera, tem ocorrido uma maior retenção dessa radiação na forma de calor, e conseqüentemente, a temperatura média no planeta está aumentando, provocando o aquecimento global e significativas mudanças climáticas.



A tabela a seguir apresenta os principais GEE de origem antrópica, com seus respectivos potenciais de aquecimento global em comparação ao CO₂ (adotado como referência), seus tempos de vida útil na atmosfera e suas principais fontes.

GEE	POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL	VIDA ÚTIL (ANOS)	PRINCIPAIS FONTES / CAUSAS
CO ₂	1 (referência)	50 a 200	Queima de combustíveis fósseis em veículos, processos industriais, aquecimento de edifícios, etc. Queima de resíduos diversos e também do biogás gerado pela decomposição dos mesmos em aterros, visando evitar explosões. Queima de biomassa vegetal decorrente de incêndios florestais ou de práticas agrícolas como a “queima da cana de açúcar” visando facilitar sua colheita. Redução das áreas florestais, onde normalmente ocorre o seqüestro e estocagem de carbono atmosférico na biomassa vegetal.
CH ₄	21	12	Disposição de resíduos orgânicos em aterros e lixões, sem o devido sistema de captação e destruição ou uso energético do biogás gerado. Cultivo de arroz em áreas inundadas, bem como áreas de pântanos, onde a escassez de oxigênio dissolvido na água, ocasiona a degradação anaeróbica da matéria orgânica, gerando metano. Tratamento ou manejo anaeróbico dos dejetos de animais (ex: suínos, frangos, bois) criados em sistema de confinamento, ou mesmo de esgotos sanitários, onde ocorre a geração e emissões atmosféricas de biogás. Processo digestivo de animais ruminantes (ex: bois e cabras) pois durante o processo de ruminação é produzido e liberado metano. Exploração de jazidas de carvão mineral, petróleo e gás natural.
N ₂ O	310	120	Uso de fertilizantes nitrogenados em atividades agrícolas. Queima de combustíveis fósseis em veículos, processos industriais, aquecimento de edificações, etc.
CFCs, HFCs, PFCs, SF ₆	Variam de 140 até 23.900	1,5 a 50.000	Produção de substâncias refrigerantes para uso em equipamentos e processos industriais

Tabela 1: Principais GEE e suas fontes. Fonte: Adaptado do IPCC, 2007.

Os gráficos a seguir apresentam respectivamente: o histórico da temperatura média da superfície terrestre; a variação do nível médio do mar ao longo do tempo; e a área coberta por neve no hemisfério Norte.

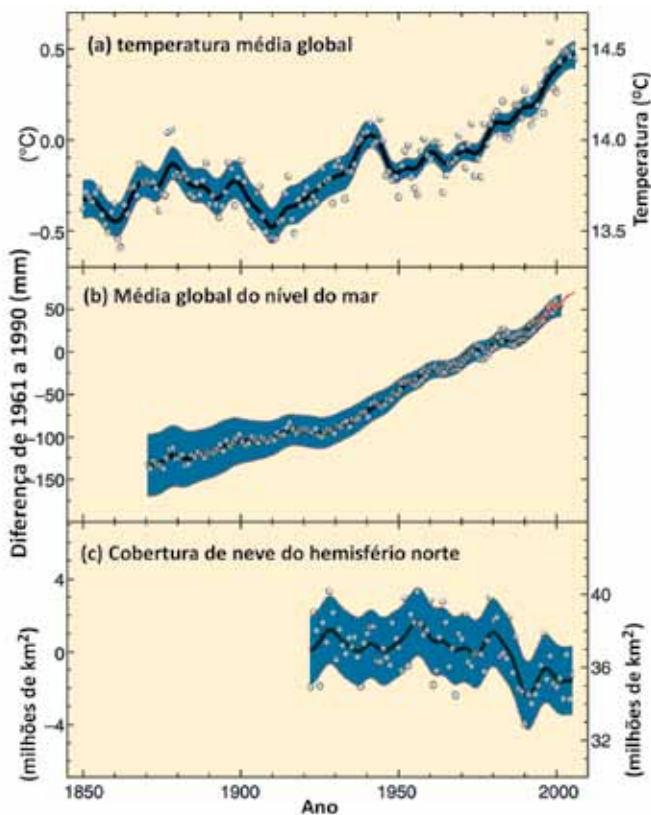


Gráfico 2: a) temperatura média do planeta; b) média global do nível do mar; c) cobertura de neve no Hemisfério Norte. Fonte: IPCC, 2007a.

Analisando esses gráficos, podemos notar que existe uma correlação direta entre a elevação da temperatura média da superfície da Terra e a elevação do nível do mar.

Por sua vez, nesse mesmo período nota-se que tem ocorrido uma diminuição da quantidade de gelo no hemisfério norte. Isto ocorre pois devido ao aumento da temperatura média no planeta, tem ocorrido maior derretimento das geleiras polares e consequentemente, elevação do nível dos oceanos.

Em decorrência dessas alterações, têm ocorrido significativas mudanças globais do clima, envolvendo inclusive alterações nos ciclos hidrológicos do planeta.

Essas alterações já são perceptíveis e muito danosas para a humanidade e para inúmeras espécies vegetais e animais no planeta.

Cientes da gravidade e urgência da situação climática do planeta, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, em inglês) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO, em inglês) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês), que reúne cientistas e governantes do mundo todo para analisar dados científicos sobre as mudanças climáticas e fornecer subsídios técnicos e informações confiáveis sobre o tema.

Entre as principais causas do aquecimento global estão:

- o aumento da população mundial, sua maior concentração em centros urbanos e a adoção de hábitos de consumo mais intensivos. Desta forma, houve significativo aumento das demandas energéticas para produzir quantidades e diversidades crescentes de bens de consumo, transportá-los e permitir sua utilização.
- maior necessidade de transporte de pessoas, alimentos, matérias-primas e produtos industrializados, dentro das cidades, entre a zona rural e urbana, entre cidades e estados, e também entre países, devido à maior globalização. Isso implica em mais automóveis, ônibus, caminhões, trens, navios e aviões circulando, movidos predominantemente a combustíveis fósseis que, quando queimados, liberam poluentes e GEE.
- a maior geração de resíduos sólidos com elevado percentual de materiais orgânicos degradáveis que, quando dispostos em aterros, sofrem decomposição anaeróbica e, como resultado, liberam grandes quantidades de biogás contendo metano, que é um dos GEE. Em grande parte dos países desenvolvidos, esse biogás passou, mais recentemente, a ser captado e utilizado para fins energéticos. Entretanto, na maioria dos aterros de países em desenvolvimento, o metano gerado é em grande parte liberado para a atmosfera.
- a maior produção de efluentes contendo matéria orgânica, que quando manejados ou tratados de forma anaeróbica, resulta na produção de biogás, que contém metano. Da mesma forma que no item anterior, na maioria dos países em desenvolvimento, o biogás gerado é simplesmente liberado para a atmosfera.
- a ampliação do uso de sistemas confinados para criação de gado bovino, suínos, aves, e outros, onde a geração de dejetos é concentrada e demanda tratamento. Devido à alta carga de material orgânico nesses dejetos, quando o tratamento é anaeróbico resulta na geração de biogás contendo metano, que na maioria dos casos de países em desenvolvimento é simplesmente liberado para a atmosfera.
- a expansão da criação de gado bovino e outros animais ruminantes que durante o processo digestivo (no rúmen), produzem e liberam metano para a atmosfera.
- a significativa redução de áreas florestadas, ocasionada principalmente pela exploração de madeira, expansão de pastagens e culturas agrícolas como a soja, por exemplo, e também pela maior ocorrência de incêndios naturais. Com isso, a capacidade de seqüestro e estocagem de carbono atmosférico na vegetação florestal está sendo drasticamente reduzida e, ainda, quando a biomassa vegetal é queimada libera para a atmosfera mais CO₂.

A previsão dos cientistas é de que se nada for feito para reduzir as emissões e a concentração de GEE na atmosfera, os efeitos do aquecimento global se intensificarão e trarão inúmeros danos, muitas vezes irreversíveis, ao meio ambiente e à sociedade, além de grandes prejuízos econômicos a todos os países, incluindo os setores público e privado. A tabela a seguir apresenta algumas das previsões do IPCC nesse sentido:

ASPECTOS	ALTERAÇÕES E IMPACTOS
Ciclo hidrológico	Ocorrerão significativas alterações nos ciclos hidrológicos, fazendo mudar o regime de chuvas em grande parte do mundo. Com isso, ocorrerão estiagens ou inundações em locais onde estes fenômenos não eram usuais e milhares de pessoas serão expostas a um grande stress hídrico. A disponibilidade de água aumentará nas regiões tropicais e nas altas latitudes e diminuirá nas latitudes médias e baixas, onde ocorrerão estiagens e o clima passará a ser semi-árido. Conseqüentemente, ocorrerão alterações na produção agropecuária desses locais.
Ecossistemas	Ocorrerá extinção de um grande número de espécies da fauna e flora, terrestre e aquática, bem como a migração de muitas espécies para outros locais, o que alterará o equilíbrio dos ecossistemas naturais. Isso poderá levar a conseqüências desastrosas no tocante ao aumento e disseminação de pragas e doenças, que poderão afetar inclusive a produção agropecuária no planeta.
Produção de Alimentos	Ocorrerão impactos negativos na produção de alimentos devido às alterações no regime hídrico, às mudanças da temperatura local, à incidência de pragas e doenças e também pela menor disponibilidade de áreas agricultáveis, pois muitas ilhas e regiões costeiras serão inundadas.
Costa Marítima	O aquecimento global faz com que ocorra um maior derretimento do gelo existente nos pólos terrestres e em áreas usualmente cobertas por neve, fazendo com que aumente a quantidade de água nos oceanos e ocorra a elevação do nível do mar. Com isso, prevê-se que muitas ilhas, cidades e áreas costeiras serão inundadas e sofrerão freqüentes invasões por ondas do mar.
Saúde	Aumentará a ocorrência de desnutrição, diarreia, doenças infecciosas e cardiorrespiratórias, bem como a morbidade e mortalidade devido às ondas de calor, inundações e estiagens. Haverá mudanças na incidência de alguns vetores de doenças e os gastos com serviços de saúde aumentarão substancialmente.

Tabela 2: Principais alterações e impactos das mudanças globais do clima - adaptado do IPCC.

Diante destas previsões, é fundamental que todas as pessoas e instituições, do setor público, privado e do terceiro setor, se conscientizem da problemática das mudanças globais do clima e adotem medidas práticas e eficazes para auxiliar a reversão desse quadro.

Existem inúmeras formas de contribuir para mitigar esses problemas. Algumas delas são:

- promover a substituição do uso de combustíveis fósseis (diesel, gasolina, BPF, etc.) por energias limpas e renováveis, como por exemplo, o etanol, biodiesel, biogás, entre outros.
- melhorar a eficiência energética e/ou reduzir o consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis.
- promover a otimização do transporte de pessoas e/ou produtos, de forma que reduza a necessidade de viagens;
- racionalizar o consumo de bens e minimizar a geração de resíduos e seu descarte em aterros, especialmente onde não exista a devida captação e destruição do biogás gerado.
- implantar sistemas de tratamento de efluentes mais adequados e que evitem as emissões de metano para a atmosfera;
- realizar a ampliação e/ou conservação de áreas florestais, ou mesmo, aumentar as áreas verdes urbanas, realizando o plantio de espécies adequadas, visando aumentar o seqüestro e estocagem do carbono atmosférico.

1.2. O papel dos governos locais no combate às mudanças globais do clima

Os governos locais podem e devem contribuir substancialmente para a mitigação do aquecimento global e suas conseqüências. A seguir encontram-se algumas sugestões de ações que podem ser implementadas pelos municípios nesse sentido:

1. Identificar e quantificar as emissões de GEE por meio de inventários específicos.
2. Criar políticas públicas para mitigação e adaptação às mudanças globais do clima, estabelecendo metas claras e estratégias para sua implementação.
3. Realizar as seguintes ações nas áreas de responsabilidade do governo local:
 - Resíduos Sólidos Urbanos – desenvolver campanhas para reduzir o desperdício de alimentos, implantar a coleta diferenciada só para resíduos orgânicos de domicílios, podas e jardinagem, restaurantes, feiras e supermercados e realizar a compostagem adequada dos mesmos, evitando que sejam dispostos em aterros. Se houver aterro no município, implantar sistema de captação forçada do biogás gerado e utilizá-lo como recurso energético renovável e gratuito para geração de energia elétrica, térmica para secagem do chorume do aterro ou fornecimento para indústrias próximas

que precisem de calor em seus processos. Com isso, estará contribuindo para reduzir substancialmente as emissões de metano para a atmosfera.

- Tratamento de Efluentes – se o município já coleta total ou parcialmente o esgoto doméstico (urbano) e o trata em sistema anaeróbico, implantar sistema para captação e uso do biogás gerado. Se o sistema de tratamento é em lagoas aeróbicas, transformar uma ou mais dessas lagoas em anaeróbicas, captando e utilizando o biogás gerado para fins energéticos. Se o município ainda tem deficiências na coleta do esgoto, pode estimular a população a implantar em pequenos bairros ou condomínios, sistemas anaeróbicos e compactos para tratar seus efluentes, e utilizar o biogás gerado in loco.
 - Áreas Verdes - identificar as ruas, avenidas, praças, parques e terrenos não ocupados em seu município onde possa realizar o plantio de árvores de espécies nativas, adquirindo boas mudas, envolvendo a comunidade local e plantando-as. Com isso, estará promovendo melhorias no micro-clima da cidade e contribuirá para aumentar o seqüestro de carbono atmosférico.
 - Mobilidade urbana – Analisar se a definição das vias e regras de tráfego local podem ser melhoradas para evitar percursos adicionais desnecessários. Criar ciclovias e motovias bem planejadas e sinalizadas, e realizar campanhas para estimular o uso da bicicleta pelos habitantes de sua cidade. Melhorar o sistema de transporte coletivo municipal e garantir ou exigir que sejam realizadas freqüentes regulagens dos motores dos ônibus e vans, e também dos automóveis particulares, visando evitar ou minimizar as emissões de poluentes e GEE para a atmosfera. Além disso, investir em meios de transportes coletivos e de cargas que sejam mais limpos, tais como bondes, metrô, trens, hidrovias, entre outros.
 - Compras Públicas – utilizar critérios de sustentabilidade e baixas emissões e/ou compensação de GEE nas compras realizadas pelo governo. Essa prática tem um alcance muito além do município, pois influencia os fornecedores a também atuarem de maneira mais sustentável.
4. Buscar parcerias estratégicas e o engajamento da população por meio de um eficaz trabalho de conscientização ambiental.
5. Interagir e estimular empresas locais e prestadores de serviços atuantes no município a também fazerem sua parte, como por exemplo:
- Promover nas empresas de transporte e coleta de lixo a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis em sua frota de veículos. Exigir que realizem regulagens freqüentes dos motores e se for o caso, instalem sistemas de filtros mais eficazes para reduzir as emissões de poluentes e GEE .
 - Estimular criadores de suínos e outros animais em sistema de confinamento a implantarem biodigestores em suas propriedades para tratar esses dejetos, possibilitando a geração e uso do biogás para fins energéticos.
 - Monitorar propriedades rurais para garantir a manutenção de suas florestas, mata ciliar e outras Áreas de Preservação Permanente (APP), ou mesmo estimulá-los a realizar o reflorestamento, visando promover o seqüestro de carbono atmosférico.
 - Estimular e orientar habitantes da zona rural e urbana a realizarem a compostagem de seus resíduos orgânicos, garantindo condições adequadas de aeração e umidade para evitar a produção de biogás e gerar um composto de qualidade.

1.3. Acordos e mecanismos internacionais para mitigação das mudanças globais do clima

Visando discutir a problemática das mudanças globais do clima e buscar caminhos eficazes para mitigar o aquecimento global, governantes e cientistas do mundo todo se reuniram diversas vezes desde a Eco 92, quando mais de 150 Estados assinaram a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), em junho de 1992 na “Cúpula da Terra”.

Nessa ocasião, a mudança global do clima foi reconhecida pelo governo desses países como uma preocupação comum da humanidade. Eles se propuseram a elaborar uma estratégia global para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras.

Os governos que se tornaram Partes da Convenção assumiram o compromisso de atingir o objetivo final de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático.

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima enfatiza que:

- os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelas emissões históricas e atuais, devendo tomar a iniciativa no combate à mudança do clima;

- a prioridade dos países em desenvolvimento deve ser o seu próprio desenvolvimento social e econômico, e que a sua parcela de emissões globais totais deve aumentar à medida em que eles se industrializam;
- estados economicamente dependentes de carvão e petróleo enfrentarão dificuldades se a demanda de energia mudar;
- e
- países com ecossistemas frágeis, como pequenos países insulares e de terreno árido, são especialmente vulneráveis aos impactos previstos da mudança do clima.

Em uma reunião da CQNUMC realizada em 1997 em Quioto, no Japão, foi adotado o Protocolo de Quioto, que só passou a vigorar em fevereiro de 2005, com a ratificação da participação da Rússia na lista de países industrializados que assumiram a meta de reduzir as emissões de GEE entre 2008 e 2012 a níveis 5% inferiores aos níveis de emissões de 1990. Esses 37 países são listados no Anexo I deste protocolo e são países desenvolvidos. Tal compromisso, com vinculação legal, pretende produzir uma reversão da tendência histórica de aumento das emissões iniciadas nesses países há cerca de 150 anos. Os Estados Unidos não ratificaram sua participação neste protocolo.

As regras detalhadas para a implementação do Protocolo de Quioto foram adotadas na 7ª. Conferência das Partes (COP 7) realizada em Marraqueche em 2001 e ficou assim conhecido como Acordo de Marraqueche.

O Protocolo de Quioto estabelece que os países do “Anexo I” deverão atingir suas metas de redução de emissões de GEE prioritariamente com medidas nacionais, mas poderão complementar seus resultados por meio de três mecanismos econômicos de flexibilidade:

- o Comércio de Emissões (Emissions Trading) – permite que os países que conseguirem alcançar mais reduções de emissões ou seqüestro de carbono do que sua metas possam vendê-las para outros países do “Anexo I” que necessitem complementar seus resultados.
- a Implementação Conjunta (Joint Implementation) – possibilita aos países do Anexo I implementarem projetos em conjunto com outros países do Anexo I.
- o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism - CDM) – possibilita aos países do “Anexo I” investirem na implementação de projetos de redução de emissões de GEE ou seqüestro do carbono atmosférico em países em desenvolvimento (“não Anexo I”), onde o custo/benefício seja menor do que aquele que teria em seu próprio país.

Esses mecanismos de flexibilização do Protocolo de Quioto visam:

- auxiliar os países do “Anexo I” a atingirem suas metas de redução de emissões ou remoção de carbono atmosférico em países onde o custo para viabilizá-las seja menor e mais efetivo;
- estimular o desenvolvimento sustentável pela transferência tecnológica e investimentos financeiros; e
- encorajar o setor privado e países em desenvolvimento a contribuírem para a redução de emissões.

Para viabilizar esses mecanismos de flexibilização foi criado um “Mercado de Carbono” onde são comercializadas internacionalmente:

- RMU (removal unit) para projetos de reflorestamento e mudanças do uso da terra;
- ERU (emission reduction unit) para projetos de implementação conjunta; e
- CER (certified emission reduction) ou RCE (em português, Redução Certificada de Emissões) para projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, também conhecidos como Crédito de Carbono.
- Os países em desenvolvimento (“não Anexo I”) que implementarem projetos no âmbito do MDL e seguirem todas as etapas e exigências estabelecidas para seu tipo de atividade, poderão receber Créditos de Carbono, que podem ser vendidos no “Mercado de Carbono”. Essa venda pode acontecer inclusive de forma antecipada, visando conseguir recursos financeiros para a implantação do projeto.

Esses projetos podem ser implementados por instituições do setor público, privado ou mesmo do terceiro setor, entretanto, algumas condições devem ser satisfeitas para que um projeto possa ser aprovado e registrado no âmbito do MDL.

Para que um projeto de MDL resulte em Créditos de Carbono deverá passar pelas seguintes etapas do ciclo do projeto, que são:

- 1) a elaboração de documento de concepção de projeto (DCP), usando metodologia de linha de base e plano de monitoramento aprovados;
- 2) a validação (verifica se o projeto está em conformidade com a regulamentação do Protocolo de Quioto);
- 3) aprovação pela Autoridade Nacional Designada – AND, que no caso do Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima - CIMGC (verifica a contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável);
- 4) a submissão ao Conselho Executivo para registro;

- 5) o monitoramento;
- 6) a verificação/certificação; e
- 7) a emissão de unidades segundo o acordo de projeto.

O período de obtenção de créditos pode ser de no máximo 10 anos para projetos de período fixo ou de 7 anos renováveis, podendo este renovar por no máximo três períodos de 7 anos, totalizando 21 anos.

1.4. Ações do Brasil para mitigar as mudanças globais do clima

O Brasil apresenta um enorme potencial para implantar projetos que contribuam efetivamente para a mitigação das mudanças globais do clima, seja pela redução das emissões de GEE, seja pela ampliação ou conservação do potencial de sequestro e estocagem de carbono atmosférico em florestas e vegetação perene.

O MDL consiste numa excelente oportunidade para o Brasil, tendo em vista que ao implementar projetos nesse sentido, além de contribuir para mitigar as mudanças globais do clima, está também criando condições para avançar na direção do desenvolvimento sustentável e aprimoramento tecnológico.

Até maio de 2010, um total de 6.205 projetos encontravam-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL, sendo 2.210 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL e 3.995 em outras fases do ciclo.

O gráfico 3 a seguir apresenta a participação de vários países quanto ao número de atividades de projeto no âmbito do MDL. Nota-se que o Brasil ocupa o 3º lugar, com 450 projetos (7%), estando abaixo da China, com 2.331 (38%) e da Índia, com 1.653 projetos (27%).

Entretanto, conforme apresentado no gráfico 4 abaixo, considerando o potencial de reduções de emissões associado aos projetos no ciclo do MDL, para o primeiro período de obtenção de créditos, o Brasil também ocupa a terceira posição, mas é responsável pela redução de 388.772.418 t CO₂e que corresponde a 5% do total.

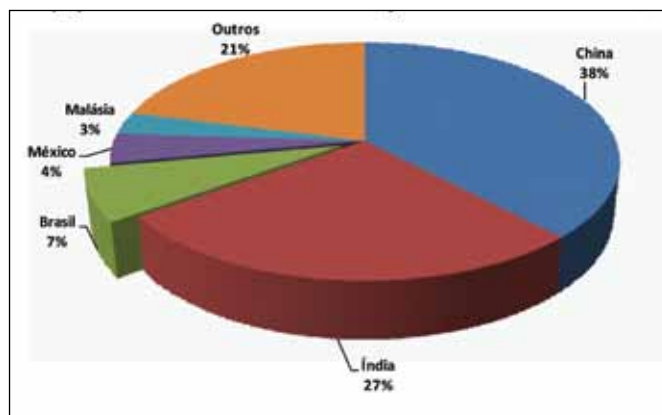


Gráfico 3: Participação no total de atividades no âmbito do MDL no mundo
Fonte: Relatório da CIMGC

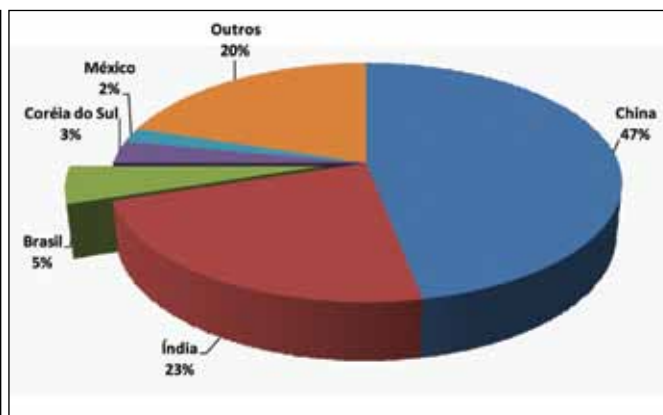


Gráfico 4: Participação no potencial de redução de emissões de GEE para o primeiro período de créditos. Fonte: Relatório da CIMGC

O Gráfico 5 a seguir apresenta a participação das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil, no âmbito do MDL, no que se refere à redução das emissões de gases de efeito estufa, por tipo de gás. Nota-se que, em termos de número de atividades de projeto, o gás carbônico (CO₂) é atualmente o mais relevante, representando 65%, seguido pelo metano (CH₄) que representa 34%.

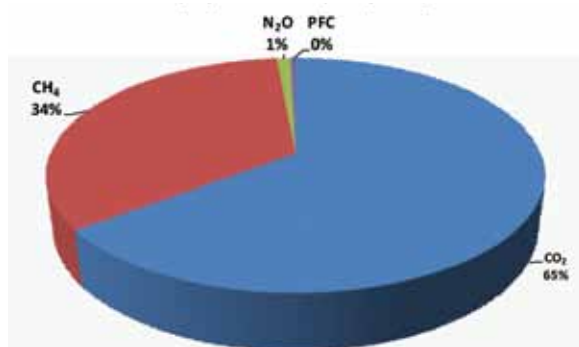


Gráfico 5: Distribuição das atividades de projeto no Brasil, por tipo de GEE reduzido. Fonte: Relatório da CIMGC

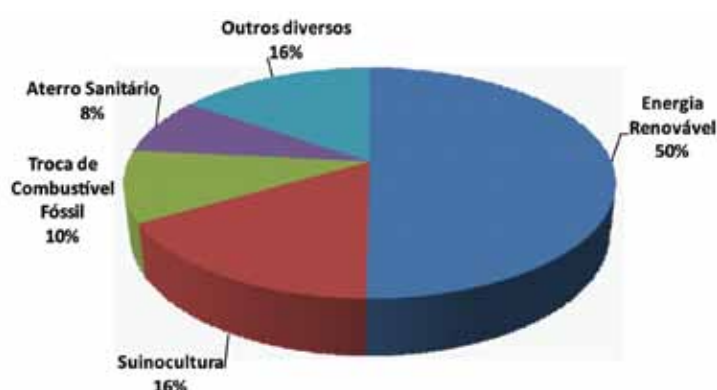


Gráfico 6: Nº de projetos brasileiros por setor. Fonte: Relatório da CIMGC

A tabela a seguir apresenta o número de projetos brasileiros de MDL, por escopo setorial, com suas respectivas reduções de emissões de GEE.

PROJETOS EM VALIDAÇÃO/ APROVAÇÃO	NÚMERO DE PROJETOS	REDUÇÃO ANUAL DE EMISSÕES	REDUÇÃO DE EMISSÃO NO 1º PERÍODO DE OBTENÇÃO DE CRÉDITO	NÚMERO DE PROJETOS	REDUÇÃO ANUAL DE EMISSÃO	REDUÇÃO DE EMISSÃO NO 1º PERÍODO DE OBTENÇÃO DE CRÉDITO
Energia renovável	226	19.593.395	145.794.884	50,2%	39,9%	37,5%
Aterro sanitário	36	11.327.606	84.210.095	8,0%	23,1%	21,7%
Redução de N ₂ O	5	6.373.896	44.617.272	1,1%	13,0%	11,5%
Suinocultura	74	4.140.069	38.617.535	16,4%	8,4%	9,9%
Troca de combustível fóssil	45	3.296.291	27.630.240	10,0%	6,7%	7,1%
Eficiência energética	28	2.027.173	19.853.258	6,2%	4,1%	5,1%
Reflorestamento	2	434.438	13.033.140	0,4%	0,9%	3,4%
Processos Industriais	14	1.002.940	7.449.083	3,1%	2,0%	1,9%
Resíduos	17	648.833	5.002.110	3,8%	1,3%	1,3%
Emissões fugitivas	3	269.181	2.564.802	0,7%	0,5%	0,7%

Tabela 3: Projetos Brasileiros de MDL. Fonte: Relatório da CIMGC - Status das atividades de projeto do MDL no Brasil e no mundo 31/ 05/ 2010.

Após análise do Gráfico 6 (na página anterior) e da tabela acima, fica evidente que o maior número de projetos brasileiros é desenvolvido na área de geração de energia e suinocultura, os quais representam a maioria das atividades de projeto (67% somados). Entretanto, os escopos que mais reduzirão emissões de CO₂ e são os de energia renovável, aterro sanitário e redução de N₂O, totalizando 71% do total de emissões de CO₂ e a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos. Esses três setores apresentam um potencial de redução de emissões de 274.622.251 tCO₂ e durante o primeiro período de obtenção de créditos.

Esse número de projetos ainda é pequeno perante o potencial que o Brasil tem de contribuir para a redução das emissões de GEE. Nota-se que a implantação desses projetos tem sido motivada principalmente pela possibilidade de gerar receitas bastante atrativas pela geração e venda dos Créditos de Carbono.

Para estimular a implantação de mais projetos nesse sentido, é fundamental que sejam criadas políticas públicas, que os gestores de instituições públicas e privadas sejam conscientizados do que podem fazer para minimizar as emissões de GEE em seus processos e que saibam como conseguir recursos e apoio técnico específicos para viabilizar a implementação dos mesmos.

Até o final de 2009, o governo brasileiro não havia assumido compromissos e metas específicas para redução das emissões de GEE ou o seqüestro e estocagem de Carbono atmosférico no âmbito da CQNUMC.

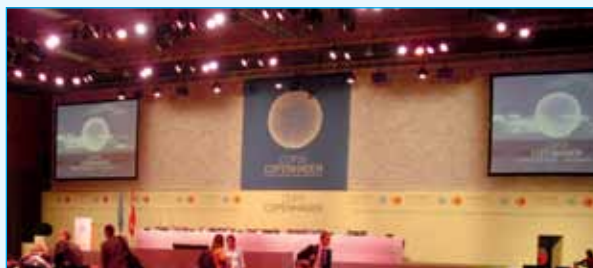
Entretanto, na Conferência entre as Partes realizada em Copenhague em dezembro de 2009, chamada COP 15, o governo brasileiro apresentou metas voluntárias para contribuir com a mitigação das emissões de GEE, comprometendo-se a reduzir entre 36,1% e 38,9% as suas emissões projetadas até 2020. Essa redução está condicionada ao cálculo dos índices de setores econômicos como indústria e agricultura, visando estabelecer uma proporção entre o que se quer tirar da atmosfera versus o desenvolvimento esperado para o país. Os números seriam muito diferentes se fossem tomadas como base as emissões de 1990 ou 2005, como fazem as nações desenvolvidas no Protocolo de Quioto.

Sob o ponto de vista de estoque de carbono, o objetivo brasileiro é reduzir em 80% o desmatamento da Amazônia até 2020.

Outro avanço do Brasil nesse sentido foi a aprovação, em 30/12/2009, da lei nº 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Governos estaduais e locais também estão instituindo suas próprias políticas e legislações para mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Mas não bastam criar as políticas públicas, compromissos e metas. O fundamental é implementar na prática programas, projetos e ações nesse sentido.

Resultados da COP 15 e perspectivas para os governos locais



A última conferência das partes das Nações Unidas realizada em Copenhague em dezembro de 2009 não atingiu os resultados esperados pela maior parte da comunidade internacional. A população mundial aguardava impacientemente por um documento que fosse substituir o Protocolo de Quioto que termina sua vigência em 2012. Porém, não foi possível chegar a um acordo global com metas, prazos e regras para a redução das emissões dos gases de efeito estufa. Apesar disso, alguns aspectos positivos podem ser mencionados, principalmente no que se refere à participação dos governos locais na conferência.

Antes da realização da COP15, a expectativa para os resultados era muito grande. Pensava-se efetivamente que uma conferência com a participação de tantos chefes de estado e de governo deveria atingir os objetivos propostos.

Porém, o que realmente ocorreu durante a Conferência foram longos debates e pouca decisão concreta. Países ricos, países pobres e países emergentes não conseguiram concordar sobre qual seria a melhor forma de dar continuidade ao combate aos efeitos das mudanças climáticas de modo efetivo. Mais uma vez, o que se viu foi os representantes dos estados nacionais defendendo seus próprios interesses, sem pensar no bem estar global. Faltou também uma liderança mundial que pudesse conduzir de modo eficaz o processo. Os Estados Unidos, sem o apoio do congresso não tinham forças suficientes para tomar nenhum engajamento realmente efetivo. Já a China, manteve sua posição de não querer se engajar sem nenhuma contrapartida. A União Européia também não conseguiu impor sua opinião em meio a tantas discórdias.

A conferência demonstrou que as discussões sobre as mudanças climáticas fazem parte dos temas mais relevantes da agenda internacional. O que faltou foi um melhor concerto entre os países para que a defesa do planeta fosse considerada mais importante do que possuir ou não poder nas relações internacionais. Quando as nações realmente pensarem no bem comum, sem dúvida alguma, será mais fácil obter um acordo que possa transformar um mundo dependente dos combustíveis fósseis em um planeta que possa combinar desenvolvimento com sustentabilidade.

Cabe ressaltar, porém, que ocorreram alguns aspectos positivos durante a conferência. Pode-se mencionar, por exemplo, os acordos obtidos no âmbito dos Redd (Redução de Emissões por Desmatamento ou Degradação) que podem ser muito importantes para os países em desenvolvimento. Além disso, os estados nacionais conseguiram acordar ao menos que o teto de 2 graus centígrados no aumento da temperatura da terra deve ser respeitado e que recursos devem ser transferidos para os países pobres para a implementação de políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

O evento contou com a participação de vários líderes internacionais representando governos, a sociedade civil e um número recorde de pequenas e grandes cidades de países em desenvolvimento e desenvolvidos. Se os governos nacionais decepcionaram com suas ações em Copenhague, governos locais de diversas partes do mundo marcaram presença na conferência e demonstraram que têm muito a contribuir para tornar o planeta mais sustentável.

Na medida em que se verificou que não seria possível o estabelecimento de um acordo com compromissos legais por parte dos países, os governos locais continuaram com seu empenho para mostrar ao mundo que atitudes podem ser tomadas mesmo sem o apoio dos governos nacionais.

A troca de experiências entre as cidades e seu engajamento nas negociações internacionais sobre o clima torna-se imprescindível. É por isso que os governos locais continuarão a participar ativamente até conseguirem um reconhecimento efetivo. A participação das cidades continuará durante a COP16 no México.

Espera-se que ocorra uma melhora na ambição dos governos nacionais de chegarem a um acordo efetivo pós-Quito. As constantes ocorrências de eventos climáticos extremos demonstram que um acordo deve ser concluído imediatamente. As disputas internacionais devem ser minimizadas ao menos por um instante para que o mundo possa ter um futuro melhor. Não restam dúvidas que para que isso ocorra o papel das cidades será fundamental.

CAPÍTULO 2. CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

Este capítulo apresenta uma síntese do cenário energético brasileiro, evidenciando a necessidade de ampliação da produção de energias renováveis, enfocando o potencial de aproveitamento energético do biogás gerado no tratamento de efluentes urbanos.

Por definição, “ENERGIA” é a capacidade de produzir trabalho, e pode existir sob diversas formas: elétrica, química, luminosa, térmica, sonora, cinética, potencial, eletromagnética, solar, entre outras. Cada tipo de energia pode ser transformado em outro ou outros tipos, e vice-versa.

A fonte primária de energia na Terra é o Sol, pois a incidência de raios solares (energia luminosa) sobre a Terra permite que as plantas realizem a fotossíntese, convertendo essa energia luminosa em energia química, contida em sua biomassa. Parte dessa biomassa é utilizada como alimento pelos animais, seres humanos e microorganismos, possibilitando a manutenção da cadeia alimentar e a ciclagem de nutrientes e de energia.

A partir da decomposição e sedimentação de animais e plantas, há milhares de anos, que se formaram as reservas de petróleo e jazidas de carvão mineral existentes no planeta. Para formar novas reservas desses compostos fósseis (petróleo, gás natural, entre outros derivados), seriam necessários milhares de anos. Por este motivo, esses recursos energéticos de origem fóssil são chamados “não renováveis” e sua conservação e uso sustentável são de vital importância para que esta e as futuras gerações possam dispor desse precioso recurso energético.

O uso desses recursos fósseis geralmente é a queima (combustão), fazendo com que a energia química contida em suas moléculas transforme-se direta ou indiretamente em outros tipos de energia, tais como: energia térmica (quando o objetivo é produzir calor ou vapor de processo), energia cinética (quando o objetivo final é a movimentação de veículos, trens, navios, aviões, ou motores diversos), energia elétrica, entre outras.

Entretanto, a combustão desses compostos fósseis gera emissões de GEE, gases que provocam a chuva ácida, entre outros poluentes atmosféricos que prejudicam a qualidade do ar.

Portanto, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sócio-políticos, o Brasil e o mundo deveriam reduzir o uso desses recursos energéticos de origem fóssil, e para tanto, existem dois caminhos:

1. Substituí-los por outras fontes de energia, consideradas renováveis e limpas, tais como: hidrelétrica, etanol, biomassa, biodiesel, energia solar, energia eólica, entre outras.
2. Reduzir as demandas energéticas da sociedade moderna, o que pode ser alcançado:
 - Pela redução da produção e consumo de bens e serviços por ela utilizados; e
 - Pela melhoria da eficiência energética em processos produtivos, equipamentos, aquecimento de edifícios e transportes movidos à combustíveis fósseis.

2.1. Produção e Consumo de Energia no Brasil

O Brasil é um grande produtor de energia, mas sua oferta não é suficiente para atender toda sua demanda interna. O gráfico a seguir apresenta a evolução histórica da demanda interna, produção e importação de energia pelo país. Pode-se observar que a produção de energia tem crescido substancialmente nas últimas décadas (quase quadruplicou nos últimos 30 anos) mas sua demanda também cresceu quase que na mesma proporção, devido ao aumento da população e ao desenvolvimento econômico/industrial no país. Durante esse período, o Brasil teve que importar energia, pois sua oferta foi menor que a demanda.

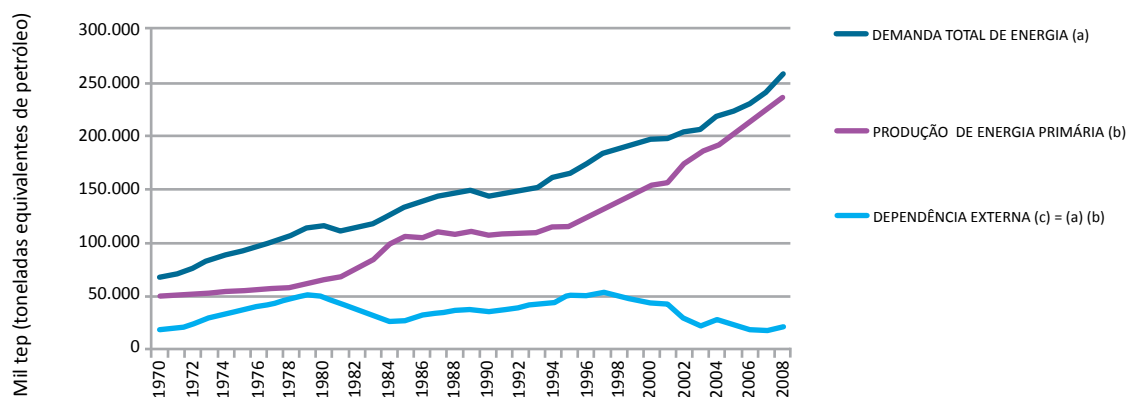


Gráfico 7: Evolução da oferta, produção e dependência externa de energia no Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

O gráfico a seguir apresenta os tipos de recurso energético que o Brasil produziu, importou ou exportou em 2008. Nota-se que as fontes mais utilizadas para produção de energia no país foram o petróleo, o gás natural, as hidrelétricas, a lenha e os produtos da cana-de-açúcar (barras em azul), embora também tenham ocorrido importações de petróleo, gás natural, carvão metalúrgico, óleo diesel, entre outros.

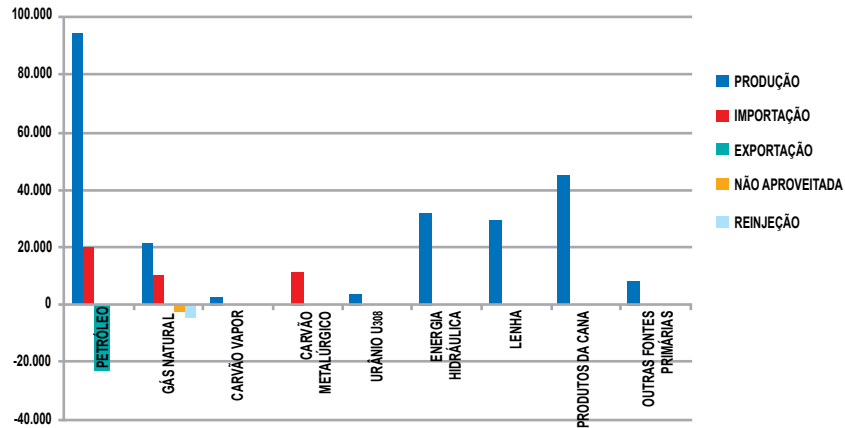


Gráfico 8: Fontes de energia primária - Brasil 2008. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

O gráfico a seguir apresenta a evolução das importações de cada fonte energética. Nota-se que houve significativa redução na importação de petróleo, o que se deve à descoberta e exploração de novas reservas no país. Por sua vez, houve aumento nas importações de gás natural, carvão metalúrgico /vapor e derivados do petróleo (como a gasolina veicular e para aviação, óleo combustível, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo - GLP, entre outros).

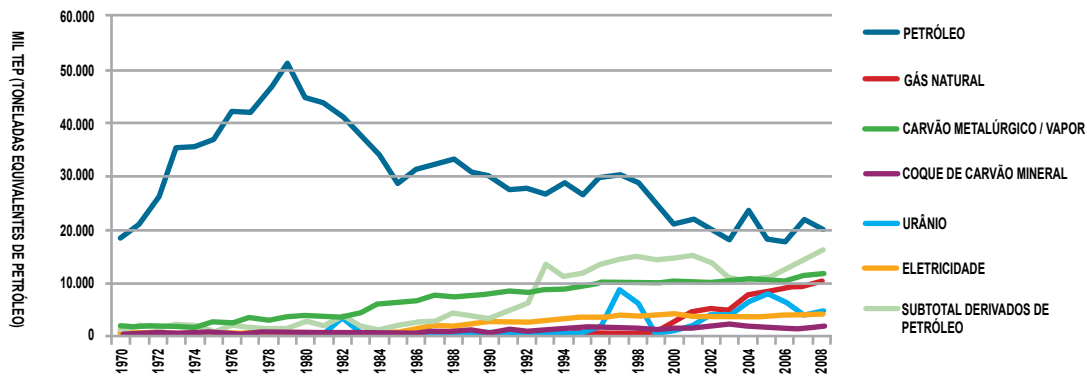


Gráfico 9: Evolução das importações de energia - Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

O gráfico a seguir apresenta o histórico da produção de energia primária no Brasil. Nota-se que nos últimos anos, ocorreu um significativo aumento da produção de petróleo, gás natural, produtos da cana-de-açúcar e energia hidrelétrica.

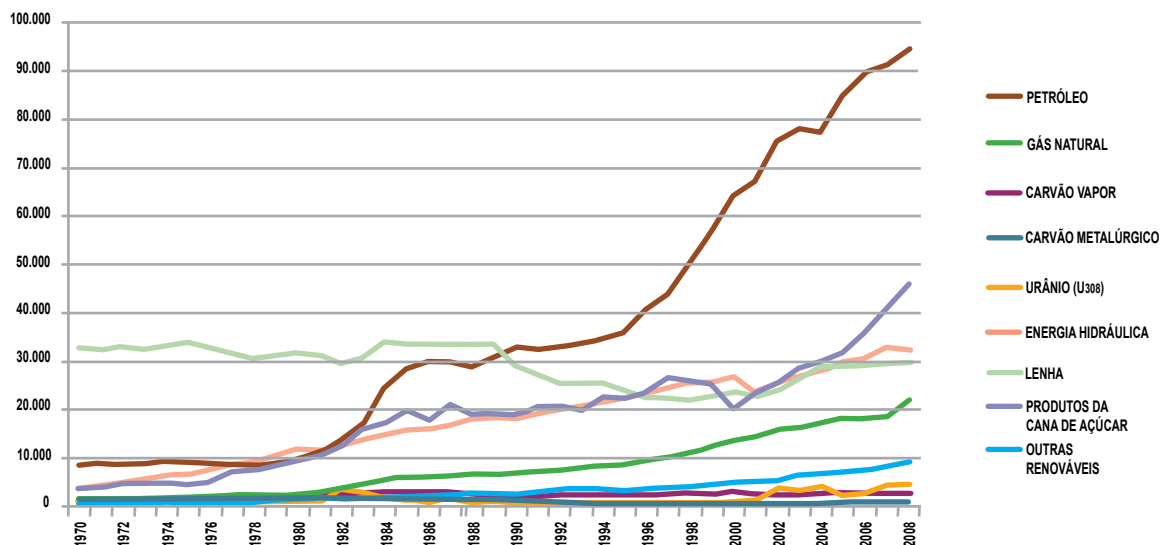


Gráfico 10: Evolução da oferta interna de energia - Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

O gráfico a seguir apresenta o histórico da participação das energias renováveis e das não renováveis na matriz energética brasileira. Nota-se que as energias renováveis representaram nas últimas décadas entre 45% e 55% da matriz energética brasileira, tendo aumentado de forma discreta nos últimos anos. Isto ocorreu principalmente devido a novas instalações de centrais hidrelétricas de pequeno e médio portes, e também pelo aumento da produção de cana-de-açúcar e seus derivados.

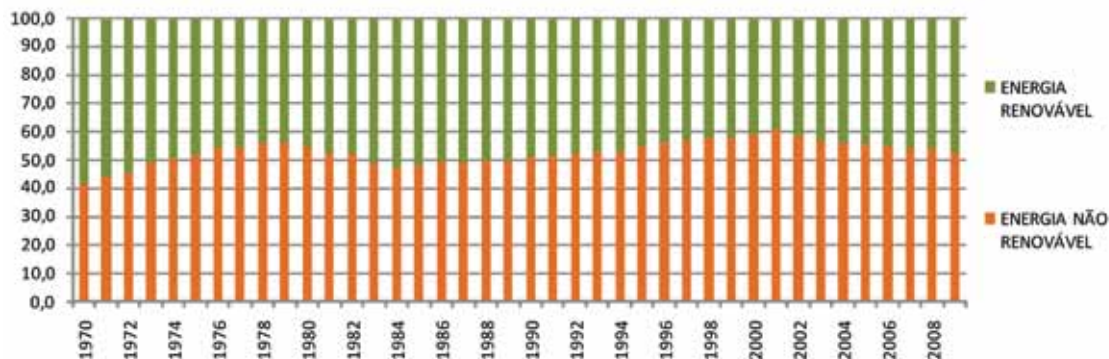


Gráfico 11: Evolução da participação das energias renováveis na matriz energética brasileira. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

O gráfico...a seguir apresenta a evolução da produção de energias renováveis pelo Brasil.

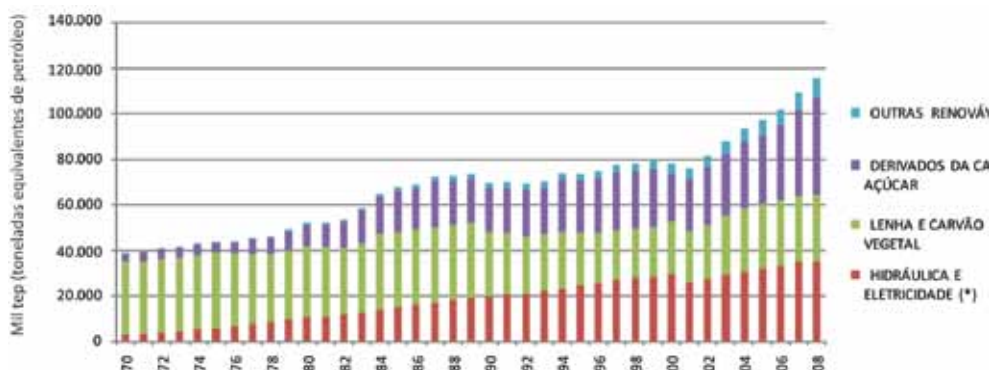


Gráfico 12: Evolução da oferta das energias renováveis no Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

O aumento no consumo de derivados da cana deve-se principalmente ao uso do bagaço na co-geração de eletricidade e à intensificação do uso do etanol pelo aumento da quantidade de motores flex fuel entre os veículos leves.

O crescimento contínuo da geração de energia hidrelétrica é decorrente da implantação de novas hidrelétricas de pequeno e médio porte. A eletricidade de origem renovável aumentou de 85,1%, em 2008, para 89,8% em 2009, devido à maior utilização das usinas hidrelétricas, em detrimento às termelétricas. Embora as hidrelétricas sejam uma fonte renovável de energia, elas causam muitos impactos ambientais e sociais pela inundação de grandes áreas. Além disso, seu potencial de geração de energia será afetado pelas mudanças globais do clima, que já estão alterando os ciclos hidrológicos, e também pelo contínuo processo de assoreamento dos cursos d'água.

O aumento da produção de outras energias renováveis ainda está muito discreto e estas ainda representam muito pouco em relação às demais fontes de energia da matriz energética brasileira.

O gráfico a seguir apresenta a participação de cada fonte na oferta nacional de energia no ano de 2008.

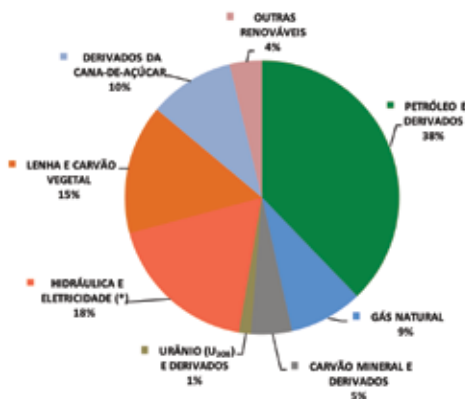


Gráfico 13: Participação das diferentes fontes na oferta interna de energia - Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2009.

Constata-se que a participação de outras fontes de energia renovável no país é de apenas 4%, o que é muito pouco quando comparado ao enorme potencial do Brasil para aproveitamento de diversos tipos de energia renovável, tais como: energia solar, energia eólica, energia das marés, energia proveniente da queima de biomassa vegetal, do biogás gerado em aterros, ETEs e no tratamento de dejetos animais, entre outras.

2.2. Emissões de GEE na matriz energética

O indicador de emissões atmosféricas decresceu de 1,478 tCO₂e/tep, em 2008, para 1,428 tCO₂e/tep, em 2009. Esta é a maior redução (3,4%) deste parâmetro registrada nos últimos dez anos no Brasil.

A participação dos biocombustíveis líquidos no setor de transportes tem aumentado, bem como a produção de biodiesel, que em 2009 cresceu 37,7% em relação a 2008, sinalizando uma tendência de redução nos índices de emissão de CO₂ no setor. A produção de biodiesel aumentou em virtude das políticas de incentivo, que viabilizaram o aumento de 3% para 4% do mesmo na mistura com o óleo diesel no ano de 2009.

O quadro a seguir apresenta um indicador das emissões de CO₂ decorrentes da produção de energia em alguns países. Comparando com as emissões de GEE nos demais países, as emissões do Brasil são relativamente pequenas.

INDICADOR	BRASIL	EUA	JAPÃO	MUNDO
t CO ₂ / hab	1,78	19,00	9,49	4,28
t CO ₂ / tep OIE	1,48	2,45	2,30	2,39
t CO ₂ / mil US\$ de PIB (valores US\$ de 2000)	0,43	0,50	0,24	0,73
t CO ₂ / km ² de superfície	41	630	3299	140

Tabela 4: Emissões de CO₂ no Brasil - 2007. Fonte: Agência Internacional de Energia (IEA).

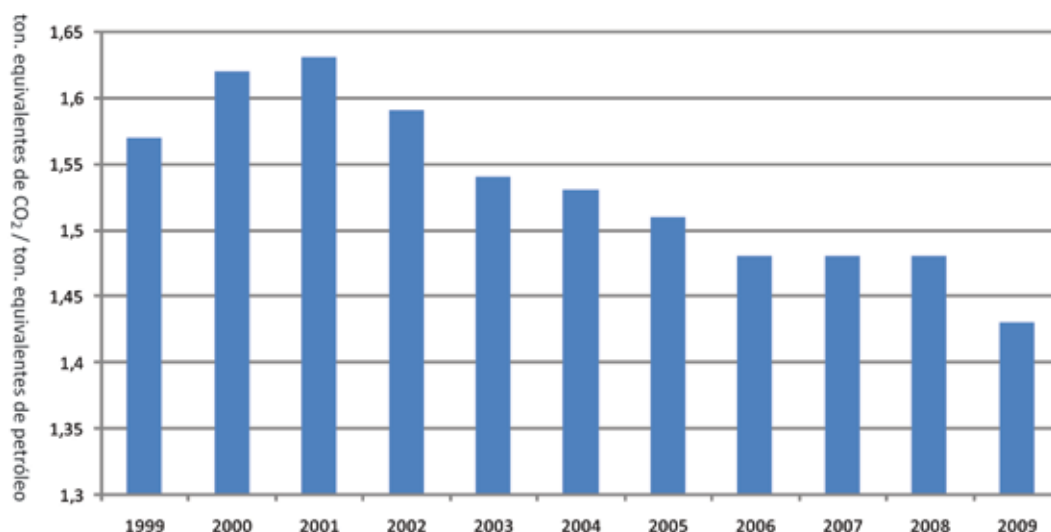


Gráfico 14: Série histórica das emissões de CO₂ no Brasil. Fonte: Balanço Energético Nacional – Matrizes consolidadas - 2008.

Diante do exposto, fica evidente que para suprir as demandas de energia decorrentes do crescimento industrial e econômico do país, será necessário aumentar e diversificar a produção de energias renováveis, priorizando as de menor impacto ambiental e social, além de encontrar formas para melhorar a eficiência nos processos de distribuição e consumo de energia, nas mais diversas atividades: industrial, doméstica, agrícola, transportes, etc.

Neste sentido, aproveitar o potencial energético do biogás gerado em aterros, e no tratamento de efluentes urbanos, agrícolas e industriais é fundamental, por ser este um recurso gratuito e de produção contínua.

CAPÍTULO 3. RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Este capítulo visa apresentar alguns conceitos essenciais e uma visão geral do cenário dos recursos hídricos e do saneamento no Brasil, com o propósito de conscientizar o leitor sobre a importância de conservar a qualidade das fontes de água doce, que já estão e ficarão ainda mais disputadas em todo o planeta.

Entende-se por recursos hídricos o conjunto de águas superficiais e subterrâneas disponíveis no planeta, compreendendo os oceanos, mares, lagos, rios, riachos, canais e lagoas, e também as águas contidas no solo e subsolo (lençol freático).

A água é um bem natural essencial para a sobrevivência de seres vivos na Terra. Desde a antiguidade os povos sempre buscaram habitar em locais de fácil disponibilidade de água, tanto para consumo humano, como para viabilizar a produção de alimentos e a criação de animais.

A figura a seguir apresenta esquematicamente o ciclo da água, pois ela se encontra sob diferentes formas e em contínuo movimento:



Figura 1: Ciclo da Água. Fonte: www.weather.josephturnerdesign.com.

3.1. Recursos hídricos no Brasil e no mundo

O volume aproximado de água na Terra é de 1.360.000.000 km³ representando aproximadamente $\frac{1}{3}$ da superfície terrestre. Porém, deste total, 97,50% é água salgada contida nos oceanos e mares. Apenas 0,77% desse total é água doce e, portanto, aproveitável para as atividades humanas. A maior parte da água doce no planeta é subterrânea, enquanto cerca de 1,70% se encontra nas calotas polares e nas geleiras e apenas 0,017% está distribuída entre o solo, rios, lagos e na atmosfera.

A disputa pela água doce no planeta irá aumentar consideravelmente nas próximas décadas, tendo em vista que: a população mundial tem aumentado aceleradamente e já ultrapassa os 6 bilhões de habitantes; o consumo *per capita* de água doce vem aumentando para atender às novas demandas da sociedade moderna; e a disponibilidade de água no planeta é constante. Nota-se que em muitas regiões do planeta já ocorre um estresse hídrico, ou seja, falta água doce, principalmente junto aos grandes centros urbanos. Pesquisadores estimam que em 2025, mais da metade da população mundial sofrerá com a falta de água potável.

A qualidade da água é um fator essencial para que o homem possa utilizá-la para diversos fins: consumo humano, irrigação, dessedentação animal, usos industriais, etc.

A qualidade da água é determinada por um conjunto de fatores e parâmetros, tais como a presença de coliformes fecais, microorganismos patogênicos, teor de metais pesados, carga orgânica medida pela DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), entre outros.

Esses parâmetros podem ser alterados naturalmente ou por origem antrópica, ou seja, provocado por atividades humanas, tais como:

- a aplicação de pesticidas e fertilizantes químicos em culturas agrícolas, pois essas substâncias podem ser arrastadas juntamente com a água de chuva, chegando aos rios e mananciais;
- o descarte de esgotos urbanos e efluentes industriais diretamente nos rios, sem o adequado ou suficiente tratamento dos

mesmos; Isto geralmente ocorre quando são lançadas, muitas vezes clandestinamente, nos rios e córregos que atravessam as grandes cidades, dificultando os processos naturais de autodepuração e deteriorando cada vez mais a qualidade dos recursos hídricos.

- o descarte de dejetos animais diretamente nos cursos d'água, ou com tratamento insuficiente; entre outras.

A degradação da qualidade das águas, principalmente devido à poluição por esgotos domésticos e industriais, está ocasionando a falta de água para abastecimento, especialmente em grandes centros urbanos. Desta forma, a captação de água para abastecimento destes grandes centros ocorre em pontos cada vez mais distantes, ocasionando danos em outras áreas e elevação dos custos de transporte de água, com consumo de energia cada vez maior.

Diante do exposto, é imprescindível e urgente que em todo o planeta sejam adotadas ações efetivas para a gestão sustentável dos recursos hídricos, que busquem garantir sua conservação em termos quantitativos e qualitativos.

A Agenda 21 aborda a questão dos recursos hídricos do planeta em seu capítulo 17 que trata da “Proteção dos oceanos e dos mares de todo tipo, incluídos os mares fechados e semi-fechados e as zonas costeiras, e o uso racional e o desenvolvimento de seus recursos vivos” e no capítulo 18 que trata da “Proteção da qualidade dos recursos de água doce: aplicação de critérios integrados para o aproveitamento, ordenação e uso dos recursos de água doce”.

As ações no âmbito da gestão sustentável dos recursos hídricos devem ser tanto preventivas como corretivas, realizadas de forma pontual e regional, incluindo ações educativas e medidas legislativas.

3.1.1. Recursos hídricos no Brasil

O Brasil conta com a maior reserva de água doce do planeta (aproximadamente 13%) e possui o maior potencial hídrico do planeta, bem como uma das mais amplas, diversificadas e extensas redes fluviais do mundo.

O CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos e a ANA – Agência Nacional de Águas propuseram a definição de 12 principais bacias hidrográficas, conforme mapa a seguir:



Figura 2: Mapa Hidrográfico do Brasil. Fonte: Instituto Agir Sustentável.

A maior parte dos rios brasileiros é de planalto, apresentando-se encachoeirados e permitindo, assim, o aproveitamento hidrelétrico. As bacias Amazônica e do Paraguai ocupam extensões de planícies, mas as bacias hidrográficas do Paraná e do São Francisco são tipicamente de planalto. Merecem destaque as quedas-d'água de Urubupungá (no rio Paraná), Iguazu (no rio Iguazu), Pirapora, Sobradinho, Itaparica e Paulo Afonso (no rio São Francisco), onde estão localizadas usinas hidrelétricas.

Estima-se que 70% da água disponível no Brasil encontra-se na Bacia Amazônica, onde vivem apenas 7% da população brasileira, enquanto 6% está localizada no Sudeste, onde vivem 42% da população brasileira, e muitas cidades e regiões rurais de Nordeste sofrem com longos períodos de estiagem.

A distribuição de água irregular no país e no mundo faz com que certas regiões já sofram as conseqüências da má gestão dos recursos hídricos ao longo de séculos, com: desmatamentos, contaminação do lençol freático e das águas superficiais, falta de tratamento adequado de esgotos urbanos e efluentes industriais e da agropecuária, contínuos desperdícios, entre outros fatores, que comprometeram grande parte dos recursos hídricos do país em termos qualitativos e quantitativos.

Para minimizar o comprometimento da qualidade das águas, atualmente quase todos os países já adotaram uma legislação específica para regulamentar a utilização e conservação deste recurso natural.

No Brasil a Lei nº 9.433/97, também denominada Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

Os objetivos principais da Lei das Águas são:

- assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

A Resolução CONAMA 357/05 estabelece o enquadramento das águas doces, salobras e salinas do território nacional em treze classes de qualidade, de acordo com os usos.

As águas doces são classificadas da seguinte forma:

- Classe especial: águas destinadas ao consumo humano, com desinfecção e à manutenção do equilíbrio natural de comunidades aquáticas;
- Classe 1: águas destinadas ao consumo humano após tratamento simplificado, à proteção de comunidades aquáticas e à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças e à proteção de comunidades aquáticas em terras indígenas;
- Classe 2: águas destinadas ao consumo humano após tratamento convencional, à proteção de comunidades aquáticas e à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças e à proteção de comunidades aquáticas, à aqüicultura e atividades de pesca;
- Classe 3: águas destinadas ao consumo humano após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais.
- Classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação e harmonia paisagística.

As águas salinas e salobras são classificadas de forma semelhante.

A cobrança pelo uso da água é um instrumento de gestão e é uma das ferramentas das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, juntamente com a outorga e os Planos de Bacias. Ela integra o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) instituído através da Lei nº 7.663/91.

Os princípios da cobrança pelo uso da água são fundamentados nos conceitos de “usuário pagador” e do “poluidor pagador”, adotados com o objetivo de combater o desperdício e a poluição das águas, de forma com que quem desperdiça e polui paga mais.

3.2. Saneamento Básico no Brasil

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social.

De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar a salubridade ambiental.

O saneamento básico engloba as seguintes áreas:

- abastecimento de água às populações, com a qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto;
- coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuárias (esgotos sanitários, resíduos líquidos industriais e agrícola);
- acondicionamento, coleta, transporte e/ou destino final dos resíduos sólidos (incluindo os rejeitos provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública); e
- coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações.

O saneamento básico adequado é fundamental para a conservação da qualidade dos corpos d'água e também para evitar a difusão de doenças que podem levar à morte ou, na grande maioria das vezes, exigem tratamento hospitalar.

De acordo com a OMS, o Brasil gasta aproximadamente US\$ 2,5 bilhões por ano com doenças relacionadas à água contaminada e falta de esgotamento sanitário. Estima-se que o valor gasto com melhoria no saneamento seja ¼ (um quar-

to) do valor gasto com as doenças de veiculação hídrica decorrentes da falta de saneamento. Assim, além da questão social, o investimento em saneamento básico é uma questão de economia dos gastos com serviços de saúde.

No Brasil, o saneamento básico apresenta um déficit persistente no atendimento de grande parcela de sua população. Uma das metas do ODM (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio) é reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população sem acesso permanente e sustentável à água potável segura e esgotamento sanitário. Em 1992, 33,9% da população urbana não tinham acesso ao esgotamento sanitário adequado e a meta até 2015 é que esse número seja reduzido a 16,95%. Segundo o 4º Relatório de Acompanhamento do ODM, em 2008 esse percentual era de 19,5%. Segundo esse mesmo documento, a falta de soluções adequadas para a coleta e o baixo índice de tratamento dos esgotos domésticos são os principais responsáveis pela poluição dos recursos hídricos no Brasil. Esses problemas são mais críticos em municípios densamente povoados de regiões metropolitanas e cidades de grande e médio porte.

O levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2000, através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico mostrou que:

- do total de 9.848 distritos brasileiros, apenas 4.097 possuem coleta de esgoto sanitário, e apenas 1.383 realizam algum tipo de tratamento;
- existem 15.015.071 ligações de esgoto, sendo coletados 14.570.079 m³ de esgoto por dia. Desse total, apenas 5.137.171 de m³ (35,2%) de esgoto são tratados de alguma forma;
- do total de 4.097 distritos com coleta de esgoto, 476 lançam o esgoto coletado via emissários, sendo que 385 o lançam diretamente em rios, 22 em mar e 41 em lagoas, contaminando os recursos hídricos;
- do total dos 5.751 distritos que não possuem rede coletora de esgoto, 2.776 utilizam fossas sépticas e sumidouros, 2.431 fazem uso de fossas secas, 197 adotam valas abertas e 143 fazem o lançamento direto em cursos d'água.

O gráfico a seguir apresenta o número de distritos que utilizam cada tipo de tratamento de esgotos.

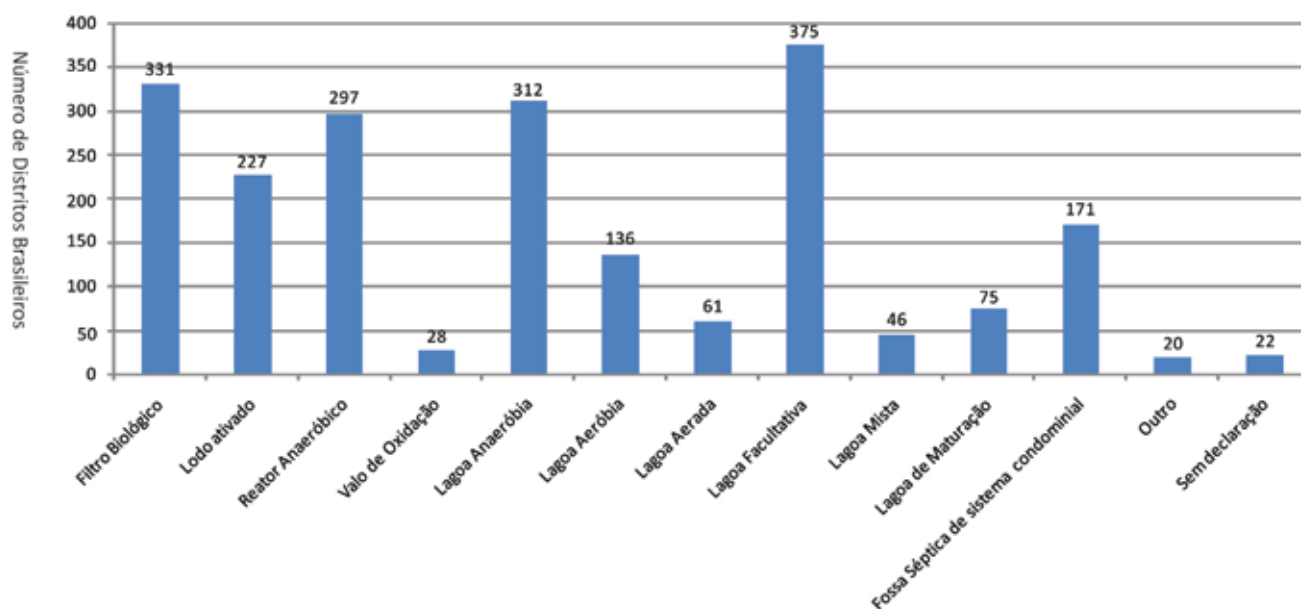


Gráfico 15: Tipos de tratamento de esgoto adotados pelos distritos com coleta e tratamento de seus efluentes urbanos. Fonte: IBGE – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000

Considerando os dados apresentados, que embora estejam defasados em relação à data atual, pois a Pesquisa de Saneamento Básico foi realizada em 2000, fica nítida a necessidade e urgência da implantação / ampliação da rede coletora de esgotos e a realização de tratamentos efetivos dos mesmos para evitar mais contaminações e perda da qualidade dos recursos hídricos de água doce, que precisam ser utilizados para diversas atividades, inclusive o consumo humano.

O capítulo a seguir apresenta brevemente os tipos de tratamento de esgotos existentes no Brasil.

CAPÍTULO 4. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar alguns conceitos teóricos fundamentais sobre a caracterização e tratamento de esgotos (efluentes) sanitários, bem como, o que pode ser feito para viabilizar a produção e aproveitamento energético de biogás.

4.1. Caracterização de efluentes sanitários

A composição dos esgotos sanitários é função do uso ao qual a água foi submetida e pode variar bastante dependendo do clima, das condições sociais e econômicas e dos hábitos da população.

Usualmente os esgotos são constituídos de 99,9% de água e 0,1% de carga poluidora, que precisa ser tratada antes do lançamento em corpos d'água. A qualidade dos esgotos pode ser determinada por análises físicas, químicas e biológicas, que servirão de base para o projeto do sistema de tratamento.

Os principais parâmetros a serem analisados em esgotos domésticos são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal.

Os sólidos podem ser classificados da seguinte forma:

- quanto ao tamanho e estado:
 - sólidos em suspensão: são sólidos não filtráveis, com diâmetros inferiores a 10^{-3} μm ;
 - sólidos coloidais: são sólidos não filtráveis, com diâmetros entre 10^{-3} a 1 μm ;
 - sólidos dissolvidos: são sólidos com diâmetros superiores a $1\mu\text{m}$.
- quanto à decantabilidade:
 - sólidos sedimentáveis: são aqueles capazes de decantar em um período de uma hora, em um recipiente chamado cone de Imhoff
 - sólidos não sedimentáveis: são aqueles que não decantam, permanecendo em suspensão.
- quanto às características químicas:
 - sólidos fixos: são compostos inorgânicos ou minerais que compõem os sólidos; são inertes e não biodegradáveis;
 - sólidos voláteis: é a parcela de matéria orgânica presente nos sólidos; é denominada volátil pois quando submetida à elevadas temperaturas é oxidada e se volatiliza, permanecendo na amostra apenas a parcela inorgânica.

A matéria orgânica presente nos esgotos é composta por uma grande variedade de compostos de proteínas, carboidratos, óleos e gorduras, uréia, surfactantes e diversos outros compostos em menores concentrações. Pode ser classificada da seguinte maneira:

- quanto à forma e tamanho:
 - em suspensão ou particulada;
 - dissolvida ou solúvel;
- quanto à biodegradabilidade:
 - inerte ou não biodegradável;
 - biodegradável;

A quantificação da matéria orgânica em esgotos pode ser feita de forma direta, através da análise de carbono orgânico total (COT ou TOC) ou de forma indireta, através de análises de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio).

Na análise de DBO o consumo de oxigênio em uma amostra de esgoto é medido em laboratório, por um período de 5 dias, à temperatura constante de 20°C , denominando-se DBO padrão e sendo representada por DBO_{5}^{20} . O resultado desta análise fornece a quantidade de oxigênio necessária para degradar bioquimicamente a matéria orgânica presente no efluente, sendo, portanto, uma medida indireta da fração de matéria orgânica degradável no esgoto.

A análise de DQO é feita pela oxidação química em meio ácido, utilizando-se um oxidante forte (dicromato de potássio). Assim, esta análise fornece a quantidade de oxigênio necessário para oxidar toda a matéria orgânica total presente no esgoto, abrangendo a fração biodegradável e não a biodegradável, além da oxidação de alguns compostos inorgânicos também.

A principal vantagem da análise de DQO é que o teste dura de 2 a 3 horas, dando uma indicação rápida da quantidade de

oxigênio requerida para estabilização da matéria orgânica, embora esta quantidade seja superestimada para o processo de biodegradação.

Os esgotos domésticos apresentam DBO média de 300mg/L e relação DQO/ DBO₅²⁰ entre 1,7 a 2,4.

Quanto ao nitrogênio, é um elemento indispensável para o crescimento dos microorganismos que promovem o tratamento dos esgotos. Este elemento pode ser encontrado no meio líquido em várias formas e estados de oxidação, tais como nitrogênio molecular (N₂, gasoso), nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão), amônia (livre – NH₃ e ionizada NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻).

O processo de conversão da amônia a nitrito e este a nitrato é chamado de nitrificação e implica no consumo de oxigênio e alcalinidade. Outro processo que pode ocorrer nas estações de tratamento de esgotos é a desnitrificação, que consiste na conversão do nitrato a nitrogênio gasoso, consumindo oxigênio e alcalinidade.

Outro nutriente essencial para o crescimento dos microorganismos que estabilizam a matéria orgânica é o fósforo, que em meio aquoso apresenta-se nas formas de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico.

Os ortofosfatos são moléculas prontamente disponíveis para o metabolismo biológico. A forma em que se apresentam na água depende do pH, incluindo PO₄³⁻, HPO₄²⁻ (esta é a forma predominante em esgotos), H₂PO₄⁻, H₃PO₄.

Polifosfatos são moléculas com dois ou mais átomos de fósforo, que são convertidos a ortofosfatos por hidrólise, transformação que usualmente é lenta.

O fósforo orgânico ocorre mais comumente em lodos de esgotos e efluentes industriais que em esgoto bruto.

Microorganismos patógenos, como bactérias, protozoários e vírus, são de difícil detecção em amostras de água. Por este motivo, analisa-se a presença de bactérias do grupo coliformes, presentes em grande quantidade nas fezes humanas e de animais de sangue quente, tais como coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), estreptococos fecais (EF). Estes são indicadores de contaminação fecal, medindo indiretamente a possibilidade da presença de microorganismos patógenos, transmissores de doenças.

4.2. Caracterização de efluentes industriais

A composição dos efluentes industriais varia grandemente com o tipo de indústria da qual os mesmos são provenientes e com os tipos de processos utilizados nas mesmas.

Os efluentes industriais podem conter elevada carga de compostos orgânicos, elevada carga de compostos inorgânicos ou de ambos. Assim, a tratabilidade de um efluente por processos biológicos depende da quantidade de carga orgânica presente no mesmo.

A relação entre DQO/ DBO₅²⁰ é normalmente utilizada para avaliar a aplicabilidade de processos biológicos ao tratamento de efluentes, sendo que relações inferiores a 1,5 indicam limitações à aplicação deste tipo de técnica.

Por outro lado, efluentes que apresentam relação DQO/DBO elevadas e também elevadas concentrações de compostos inorgânicos, potencialmente tóxicos, precisam ser precedidos de tratamento físico-químico para remoção dos inorgânicos, antes de serem direcionados ao tratamento biológico.

Convém ressaltar que o tratamento biológico só ocorre em condições controladas e equilibradas, sendo que alterações bruscas em alguns parâmetros de processo, como carga orgânica, pH, temperatura ou concentração de algum elemento tóxico podem prejudicar grandemente o tratamento, causando a redução do metabolismo e a morte das bactérias.

Além da relação DQO/DBO, a proporção de concentrações de matéria orgânica biodegradável, nitrogênio e fósforo (C:N:P = 100:5:1) deve ser mantida no reator para que a eficiência de remoção de DBO seja satisfatória.

Assim, para que um efluente industrial seja lançado na rede coletora de esgotos é preciso que o mesmo atenda a certos padrões de lançamento para não prejudicar o tratamento do esgoto de uma determinada população.

4.3. Efeitos do lançamento de efluentes em corpos d'água

O principal efeito do lançamento de esgotos num curso d'água é o consumo de oxigênio dissolvido devido aos processos de estabilização da matéria orgânica realizada por microorganismos decompositores, que utilizam o oxigênio dissolvido no meio líquido para a respiração celular.

O decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido constitui um dos principais problemas de poluição dos corpos d'água no Brasil. Isto ocorre devido ao lançamento de carga orgânica excessivamente acima da capacidade de autodepuração de um rio. O processo de autodepuração consiste na restauração das condições de equilíbrio do meio aquático, que ocorre naturalmente pela capacidade de conversão da matéria orgânica em produtos inertes, além do restabelecimento das concentrações de oxigênio, ocasionada pela movimentação natural das águas.

O conhecimento do processo natural de autodepuração é de fundamental importância para que o efluente não seja lançado com carga orgânica maior do que o corpo hídrico possa suportar.

A presença ou ausência de poluição pode ser caracterizada através da observação da diversidade de espécies presente em um meio. Normalmente, ecossistemas em condições naturais apresentam elevada diversidade de espécies e reduzido número de indivíduos em cada espécie. Em situações de contaminação este equilíbrio é perturbado e muitas espécies morrem, permanecendo apenas aquelas que se adaptam às novas condições ambientais. Assim, em meios poluídos, é comum a ocorrência de baixa diversidade de espécies e grande número de indivíduos em cada espécie.

À jusante do lançamento de um despejo predominantemente orgânico e biodegradável, ocorrem quatro zonas de autodepuração: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas.

A zona de degradação ocorre no ponto de lançamento do efluente contendo alta carga orgânica. A água apresenta-se turva, devido aos sólidos presentes, que decantam formando um banco de lodo. Os microorganismos decompositores apresentam-se ainda em fase de adaptação, havendo oxigênio dissolvido na água suficiente para os peixes, embora o número de espécies comece a reduzir. Ocorre o desaparecimento de formas menos adaptadas e o desenvolvimento maior de algumas espécies que se adaptam melhor ao meio. Assim, hidras, esponjas, musgos, crustáceos, moluscos e peixes tendem a desaparecer, enquanto bactérias do tipo coliformes e protozoárias tendem a aumentar.

Após a fase inicial de adaptação, os microorganismos decompositores começam a digerir ativamente a matéria orgânica, utilizando o oxigênio dissolvido no meio. Inicia-se então a zona de decomposição ativa, onde a qualidade da água encontra-se no estado mais deteriorado, com baixíssima concentração de oxigênio dissolvido. Quando o oxigênio todo é consumido há o desenvolvimento de bactérias anaeróbias e predominância de processos anaeróbios, com geração de gases como metano, gás sulfídrico, mercaptanas e outros, sendo que estes últimos podem causar odores desagradáveis. Nestas condições do meio, as bactérias entéricas, patogênicas ou não, tendem a desaparecer por não resistirem às novas condições ambientais. Os protozoários, que se alimentam de bactérias tendem a aumentar, bem como larvas de insetos e alguns microorganismos.

Após o consumo da matéria orgânica, inicia-se a zona de recuperação, onde os compostos orgânicos já estabilizados exigem menor consumo de oxigênio pelas bactérias aeróbias, que voltam a aparecer devido à melhor oxigenação do meio, que ocorre porque a taxa de re-aeração atmosférica é maior que a taxa de consumo de oxigênio, ocasionando aumento da concentração de oxigênio dissolvido no meio. Simultaneamente, como as águas neste estágio são menos turvas, ocorre maior incidência de raios solares e as algas voltam a aparecer, realizando fotossíntese e contribuindo para melhorar a oxigenação do meio. Neste estágio, a amônia é convertida a nitritos e nitratos e os compostos contendo fósforo são transformados em fosfatos, havendo assim nutrientes para a proliferação das algas. Outros microorganismos voltam a se desenvolver e as condições de equilíbrio começam a ser restabelecidas.

Finalmente ocorre a zona de águas limpas, onde a concentração de oxigênio dissolvido volta às condições normais e um novo equilíbrio é estabelecido. No entanto, a composição da água é afetada pelos subprodutos das etapas anteriores, havendo maior produção de algas devido à maior disponibilidade de nutrientes devido à mineralização da matéria orgânica nas etapas anteriores. A diversidade de espécies volta a aumentar e o ecossistema estabiliza-se novamente.

4.4. Tratamento de esgotos

O tratamento de esgotos pode ser classificado em quatro níveis:

- Preliminar: processo físico que consiste basicamente na remoção de sólidos grosseiros e areia;
- Primário: processo físico para remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica (DBO) em suspensão, usualmente feito por meio de sedimentação. As eficiências de remoção para este processo são de 60 a 70% para sólidos sedimentáveis e de 30 a 40% para DBO;
- Secundário: predominam processos biológicos para remoção de matéria orgânica em suspensão fina e em forma de sólidos dissolvidos, além de nutrientes (nitrogênio e fósforo). As eficiências de remoção variam de 60 a 99% para DBO e coliformes e de 10 a 50% para nutrientes.
- Terciário: usualmente processos físico-químicos destinados à remoção de compostos específicos não biodegradáveis, tóxicos ou remoção complementar de poluentes não biodegradados na etapa secundária.

A eficiência de remoção de um poluente no sistema de tratamento ou em uma etapa do mesmo é dada pela seguinte equação:

$$E = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100$$

Onde:

E = eficiência de remoção (em porcentagem);

C_o = concentração do composto de interesse na entrada do sistema (mg/L);

C_e = concentração do composto de interesse na saída do sistema de tratamento (mg/L).

4.4.1. Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar é a primeira etapa do tratamento, que consiste em processos físicos que tem por objetivos a remoção de sólidos grosseiros e areia, para evitar danos às tubulações e sistemas de bombeamento, protegendo assim as etapas subsequentes do processo.

Os sólidos grosseiros são comumente removidos por meio de gradeamento, podendo também serem usadas peneiras rotativas ou trituradores, embora os dois últimos sejam menos freqüentes no Brasil. No gradeamento podem ser utilizadas grades grossas, médias e finas, de acordo com o espaçamento entre as barras, para retenção de sólidos de diferentes tamanhos. Assim, sólidos maiores que as aberturas entre as grades ficam retidos no início do processo e podem ser removidos de forma manual ou mecanizada.

Após a remoção de sólidos grosseiros, na etapa preliminar são inseridos também medidores de vazão. Usualmente utiliza-se a calha Parshall, que é uma calha com dimensões padronizadas por onde o líquido passa e, através da medida de nível do líquido é possível fazer uma correlação com a vazão do mesmo. Além da calha Parshall podem ser utilizados também vertedouros triangulares ou retangulares, também com dimensões padronizadas e correlacionando a medida de nível do líquido com a vazão.

Os esgotos normalmente contêm muita areia, carregada durante o percurso dos coletores até a estação de tratamento. A entrada deste material no sistema provoca abrasão nos equipamentos e tubulações, além da obstrução em linhas, tanques, orifícios e sifões dificultando o transporte de líquidos.

A remoção da areia contida nos esgotos é feita nos desarenadores, que são tanques de sedimentação onde os grãos de areia, que possuem densidade maior que a da água, se depositam no fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica em suspensão, sendo de sedimentação mais lenta, permanecem na fase líquida e é direcionada para as etapas subsequentes do tratamento. A remoção e transporte da areia sedimentada no fundo do tanque podem ser feitos por processos manuais ou mecanizados.



Figura 3: Gradeamento em ETE
Fonte: Instituto AGIR



Figura 4: Calha Parshall em ETE
Fonte: Instituto AGIR



Figura 5: Desarenador após gradeamento
Fonte: Instituto AGIR

4.4.2. Tratamento Primário

O tratamento primário tem a finalidade de remoção de sólidos sedimentáveis e de sólidos flutuantes e consiste basicamente em um decantador, onde o líquido passa com uma velocidade muito baixa, permitindo que os sólidos se depositem gradualmente no fundo.

Como parte destes sólidos sedimentáveis é constituída de matéria orgânica, o tratamento primário contribui para a redução de parte da DBO no efluente, que é encaminhado para o tratamento secundário.

Os decantadores podem ser circulares ou retangulares e o lodo depositado no fundo dos mesmos é denominado lodo primário bruto. Essa massa é removida do tanque por meio de raspadores de fundo, que direcionam o lodo para uma tubulação de saída interligada a bombas, que fazem sua remoção.

Materiais flutuantes, como óleos, graxas e outros com densidades menores que a do líquido circundante, sobem para a superfície do tanque e são removidos do sistema para posterior tratamento.



Figura 6: Tanque de decantação retangular
Fonte: Instituto AGIR Sustentável



Figura 7: Tanque de decantação circular
Fonte: Instituto AGIR Sustentável

4.4.3. Tratamento Secundário

O principal objetivo do tratamento secundário é a remoção de matéria orgânica solúvel (DBO solúvel) e de matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada). Grande parte da matéria orgânica em suspensão é removida no tratamento primário, porém, sólidos com velocidade de decantação mais lentas permanecem no efluente.

Enquanto nos tratamentos preliminares e primários predominam processos físicos, no tratamento secundário prevalecem reações bioquímicas, realizadas por microorganismos, para a remoção de matéria orgânica.

Bactérias, protozoários e fungos fazem parte do processo biológico, cuja base é o contato da matéria orgânica presente nos esgotos com estes microorganismos, que a utilizam como alimento, produzindo gás carbônico, água e material celular para crescimento e reprodução. Esta decomposição biológica da matéria orgânica ocorre na presença de oxigênio e sob condições de processo controlada, tais como pH e tempo de contato.

Os tratamentos secundários normalmente são precedidos de gradeamento e desarenação (tratamento preliminar), podendo conter ou não sistema de tratamento primário.

Existe uma grande variedade de tratamentos biológicos aplicáveis para esgotos, sendo os principais:

- Lagoas de estabilização;
- Lodos ativados;
- Filtros biológicos;
- Tratamento anaeróbio; e
- Disposição em solo.

Cada um dos itens acima apresenta ainda diversos processos segundo os quais a matéria orgânica dos efluentes pode ser removida. A seguir serão apresentados os principais sistemas de tratamentos secundários utilizados para tratamento de esgotos.

4.4.3.1. Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização podem ser dos seguintes tipos:

- Lagoa Anaeróbia;
- Lagoa Facultativa;
- Lagoa Aerada-facultativa;
- Lagoa Aerada de Mistura Completa; e
- Lagoa de Decantação.

4.4.3.1.1. Lagoas facultativas

As lagoas facultativas constituem os processos de tratamento mais simples dentre as lagoas de estabilização. Neste tipo de lagoa o esgoto entra por uma extremidade e sai pela extremidade oposta. Durante o período de permanência do líquido na lagoa, que varia de 15 a 30 dias, a matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a decantar, constituindo o lodo de fundo. Este lodo é decomposto por microorganismos anaeróbios, gerando gás carbônico, água, metano e outros compostos. A fração não biodegradável (inerte) permanece no fundo da lagoa.

A matéria orgânica dissolvida no líquido (DBO solúvel) e a matéria orgânica de pequenas dimensões em suspensão (DBO finamente particulada) não sedimentam, permanecendo no líquido, onde são decompostas por bactérias facultativas.

Estas bactérias sobrevivem tanto na presença como na ausência de oxigênio. Na respiração aeróbia o oxigênio é fornecido por algas que vivem na lagoa e realizam a fotossíntese. Existe assim um equilíbrio entre o consumo de oxigênio e produção de gás carbônico: as algas utilizam o gás carbônico gerado pelas bactérias aeróbias e, utilizando energia solar, produzem oxigênio e água; as bactérias aeróbias, por sua vez, consomem o oxigênio e a matéria orgânica no processo de respiração celular, transformando-os em água e gás carbônico, que é consumido pelas algas. Assim, existe um perfeito equilíbrio entre a produção e consumo de gás carbônico e oxigênio.

A fotossíntese só ocorre na presença de luz solar, portanto, durante o dia. Além disto, nas camadas mais profundas da lagoa, onde a penetração dos raios solares ocorre, prevalecem os processos anaeróbios, devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido. Assim, neste processo as bactérias devem ser facultativas, de forma a poderem sobreviver e se multiplicarem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio.

O processo de lagoa facultativa é essencialmente natural, não necessitando de equipamentos, mas requer uma área grande, pois o tempo para estabilização da matéria orgânica é elevado (superior a 20 dias) e há necessidade de grande exposição superficial à luz solar para favorecer a fotossíntese.

A Figura xxx apresenta um fluxograma típico de processo de lagoa facultativa.

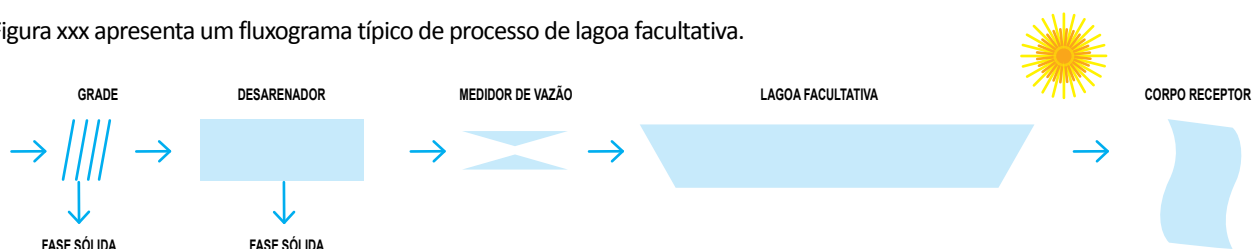


Figura 8: Lagoa Facultativa. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.3.1.2. Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias são mais profundas e de menores dimensões em relação às lagoas facultativas. Com a penetração de raios solares reduzida devido à pouca extensão e maior profundidade, o mecanismo de fotossíntese é menor, predominando processos anaeróbios.

Este tipo de lagoa é normalmente utilizada em série com uma lagoa facultativa, sendo conhecida como processo australiano. Neste sistema, a carga orgânica é parcialmente reduzida na primeira lagoa (anaeróbia) e em seguida é encaminhada para a lagoa facultativa. Como a carga na entrada da lagoa facultativa é menor, sua dimensão é menor. Neste sistema se obtém uma economia de 1/3 da área que seria utilizada para um sistema com lagoa facultativa única.

Na lagoa anaeróbia, o tempo de residência é de 3 a 5 dias, havendo uma redução de 50 a 60 % na carga de DBO. Assim, a lagoa facultativa é projetada para 40 a 50% da carga orgânica do esgoto bruto.

O sistema composto por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa apresenta eficiência um pouco superior quando comparado a um sistema de lagoa facultativa única, mas há o inconveniente da possibilidade de emissão de gás sulfídrico na etapa anaeróbia, causando emissão de odores desagradáveis. Embora esta emissão possa ser controlada com uma boa operação do sistema, a utilização do sistema australiano deve ser limitada à áreas distantes de residências.

A Figura a seguir apresenta um fluxograma típico do processo australiano.

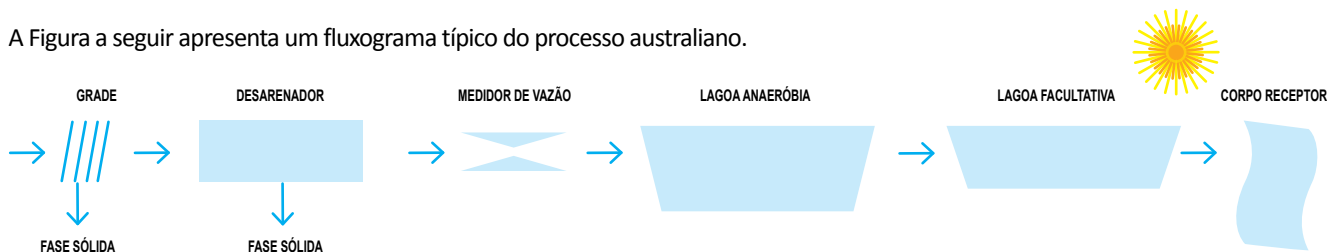


Figura 9: Lagoa Anaeróbia - Lagoa Facultativa. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.3.1.3. Lagoa Aerada- Facultativa

A lagoa aerada facultativa difere da lagoa facultativa convencional quanto à forma de suprimento de oxigênio. Enquanto na lagoa facultativa convencional o oxigênio é fornecido por algas, através da fotossíntese, na lagoa aerada-facultativa ele é fornecido através de aeradores.

Existem diversos tipos de aeradores, mas o comumente utilizado em lagoas aeradas-facultativas é do tipo mecânico de eixo vertical, que ao rodarem em alta velocidade, causam um turbilhonamento no efluente, permitindo que o oxigênio do ar penetre e se dissolva no efluente.

A movimentação causada pelo aerador, no entanto, não é suficiente para manter a massa sólida (bactérias e sólidos do esgoto) em suspensão, de forma que esta tende a decantar no fundo da lagoa. Esta camada de lodo depositada é digerida anaerobicamente, enquanto a DBO solúvel e a finamente particulada, que permanecem no líquido, são digeridas aerobicamente.

Assim a lagoa se comporta como uma lagoa facultativa convencional, porém, devido à maior eficiência de oxigenação provida pelo aerador, o tamanho de uma lagoa aerada- facultativa é menor que o de uma lagoa facultativa convencional.

Em termos de manutenção e operação, a inclusão do aerador aumenta o grau de complexidade e o consumo de energia elétrica em relação à lagoa convencional.

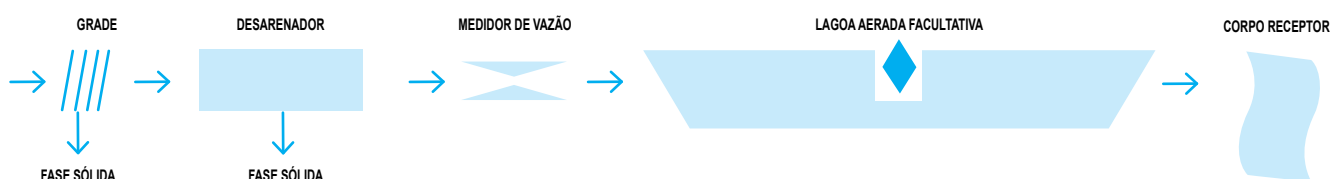


Figura 10: Lagoa Aerada - Facultativa. Fonte: Von Sperling,1995

4.4.3.1.4. Lagoa de mistura completa

Na lagoa de mistura completa utilizam-se aeradores para proporcionar um turbilhonamento de tal forma que toda a massa sólida (biomassa e sólidos do esgoto) seja mantida em suspensão. Isto faz com que haja maior contato entre as bactérias e a matéria orgânica, aumentando a eficiência do processo. O tempo de residência médio em uma lagoa aerada é de 2 a 4 dias e, conseqüentemente, o tamanho desta lagoa é bastante reduzido.

Como a biomassa permanece em suspensão, ela sai da lagoa juntamente com o efluente tratado e precisa ser separada do mesmo antes do lançamento em um corpo receptor. Esta separação é feita por uma lagoa de decantação, instalada a jusante da lagoa de mistura completa.

Na lagoa de decantação, o tempo de residência é de aproximadamente 2 dias. Neste período, a biomassa decanta e é depositada no fundo da lagoa, podendo permanecer ali por um período de 2 a 5 anos, após os quais deve ser removida e adequadamente destinada.

A tarefa de remoção de lodo é trabalhosa e cara. Existe a possibilidade de remoção contínua do lodo de fundo da lagoa de decantação, através de bombeamento do mesmo.

O conjunto lagoa de mistura completa – lagoa de decantação, dentre os sistemas de lagoas, é que demanda menor área, porém o consumo de energia e a complexidade de operação e manutenção são maiores.

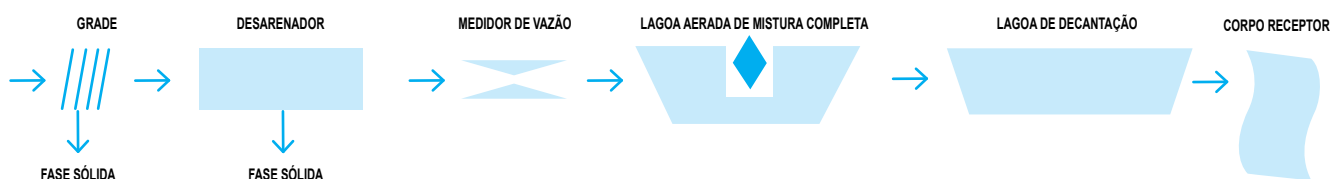


Figura 11: Lagoa Aerada de Mistura Completa. Fonte: Von Sperling,1995

4.4.4. Sistemas de Lodos Ativados

Os sistemas de lodos ativados são tratamentos aeróbios de fluxo contínuo que apresentam maior eficiência e requerem áreas muito menores em relação aos sistemas de lagoas de estabilização.

Além do sistema de lodos ativados convencional, existem várias variantes deste processo. Duas delas são as mais usuais e serão abordadas neste capítulo: sistemas de aeração prolongada e de fluxo intermitente (batelada).

4.4.4.1. Sistema de lodos ativados convencional

O sistema de lodos ativados convencional normalmente é precedido de tratamento preliminar (composto por gradeamento, desarenador e medidor de vazão) e primário (composto por um decantador primário). Diferentemente do sistema de lagoas, os sistemas de lodo ativado utilizam tanques, normalmente de concreto.

O conceito do tratamento por lodos ativados consiste em manter a biomassa e a matéria orgânica em suspensão, aumentando o contato entre as mesmas em um tanque de aeração. Semelhantemente ao sistema de lagoas de mistura completa, a biomassa sai do sistema com o efluente e é removida em um decantador secundário.

Para aumentar a concentração de biomassa no tanque de aeração, parte da biomassa depositada no decantador secundário é re-introduzida no tanque de aeração, através de um sistema de bombeamento do lodo.

O aumento da concentração de biomassa no tanque de aeração aumenta a eficiência de degradação da matéria orgânica, reduzindo o tempo de residência para 6 a 8 horas e, conseqüentemente, o tamanho do tanque é bem menor. A concentração de biomassa no tanque de aeração é em média 10 vezes maior que a concentração em uma lagoa aerada.

Com a recirculação do lodo, o tempo de residência da biomassa no tanque é maior que o do líquido, sendo usualmente de 4 a 10 dias. Este período é denominado de idade do lodo.

Como as bactérias se reproduzem de forma acelerada neste sistema, para manter o equilíbrio e a eficiência do mesmo é necessário remover diariamente uma quantidade de lodo equivalente àquela que é produzida. Esta remoção é feita usualmente na linha de recirculação de lodo, mas pode ser feita diretamente do tanque de aeração também.

O lodo removido do sistema, denominado lodo biológico excedente, deve ser tratado antes da disposição final. Os sistemas para tratamento de lodo serão abordados em capítulos subseqüentes.

As vantagens da utilização deste sistema são as menores áreas requeridas e maior eficiência de remoção de matéria orgânica. Porém, o processo é mais complexo, exigindo maior especialização da mão-de-obra de operação e manutenção, além de apresentar elevado consumo de energia elétrica.

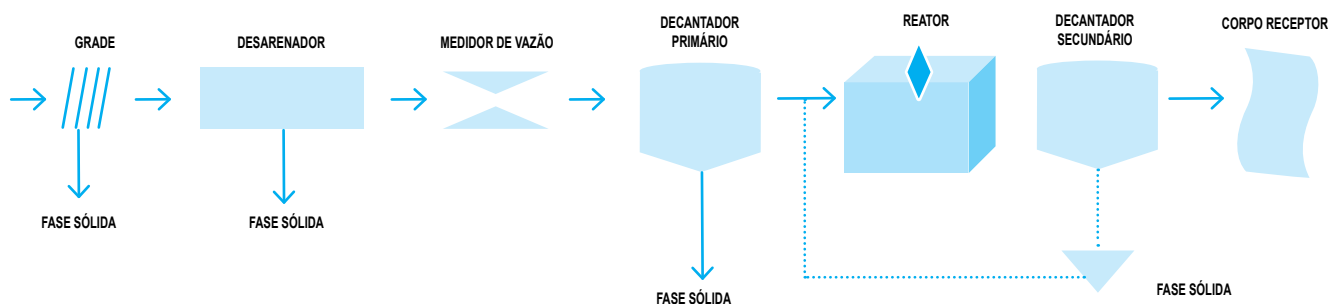


Figura 12: Lodos Ativados Convencional. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.4.2. Sistema de Aeração Prolongada

Nos sistemas de aeração prolongada, o lodo e o esgoto permanecem mais tempo no reator aeróbio que no processo de lodos ativados convencionais. Enquanto nestes o lodo permanece de 4 a 10 dias, nos sistemas de aeração prolongada a permanência da biomassa é de 20 a 30 dias e o tempo de residência do esgoto é de 16 a 24 horas. Conseqüentemente, o tamanho dos tanques é maior.

A vantagem deste sistema é que ocorre a estabilização do lodo no próprio reator, não havendo necessidade de etapas subseqüentes para estabilização do lodo. Isto ocorre porque, sendo o tempo de retenção maior, a disponibilidade de matéria orgânica diminui, fazendo com que os microorganismos consumam o próprio material celular. Assim, além de melhor remoção da matéria orgânica disponível no reator, o material celular é transformado em gás carbônico e água, por meio da respiração.

Como o lodo é digerido no reator aeróbio, não é necessário utilizar um decantador primário no processo, o que geraria a necessidade de tratar o lodo primário bruto.

Desta forma, o fluxograma de processo é simplificado, mas em contra-partida, o consumo de energia é maior para manutenção dos aeradores em funcionamento por mais tempo.

Por outro lado, a reduzida disponibilidade de alimento faz com que ele seja totalmente consumido, e sendo assim, os sistemas de aeração prolongada são os mais eficientes na remoção de DBO.

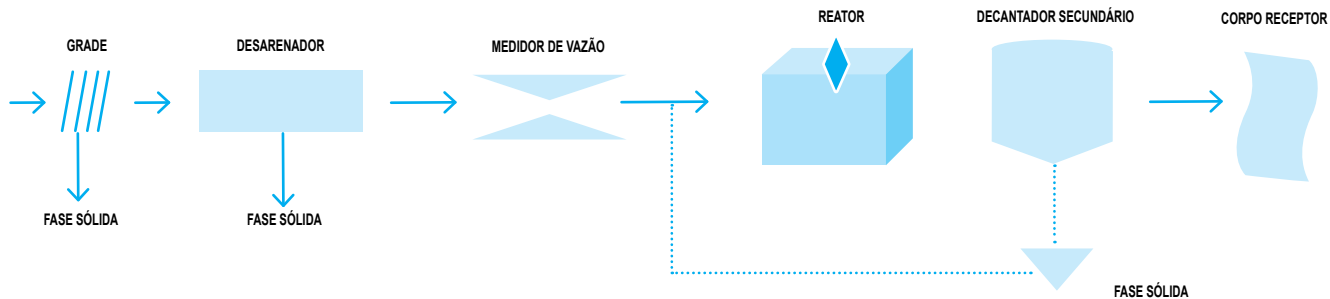


Figura 13: Sistema Aeração Prolongada Fonte: Von Sperling,1995

4.4.4.3. Sistema de Lodos Ativados de fluxo intermitente

O processo de lodos ativados de fluxo intermitente consiste em um processo em batelada, onde todas as etapas de um sistema de lodos ativados convencional ocorrem em um único reator de mistura completa. Assim, num mesmo tanque ocorrem as etapas de decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, sendo que estas operações passam a ser uma seqüência no tempo dentro do mesmo reator e não em unidades separadas, como ocorre no processo contínuo.

É importante ressaltar que as etapas preliminares de gradeamento, desarenação e medição de vazão precedem o início do tratamento no reator.

Os ciclos de tratamento em fluxo intermitente, também denominado processo em batelada, são os seguintes: enchimento do reator com esgoto bruto, aeração, sedimentação (separação dos sólidos do esgoto tratado), esvaziamento (saída do esgoto tratado) e repouso para ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente.

É possível também efetuar o processo de aeração prolongada em batelada. Neste caso, o sistema é composto por grades, desarenador, reator, adensador de lodo e etapa de desidratação do lodo.

O fluxograma de processo é grandemente simplificado nos sistemas em batelada, pois como as etapas de tratamento ocorrem em um mesmo tanque, seqüencialmente, muitos equipamentos de processo são eliminados.

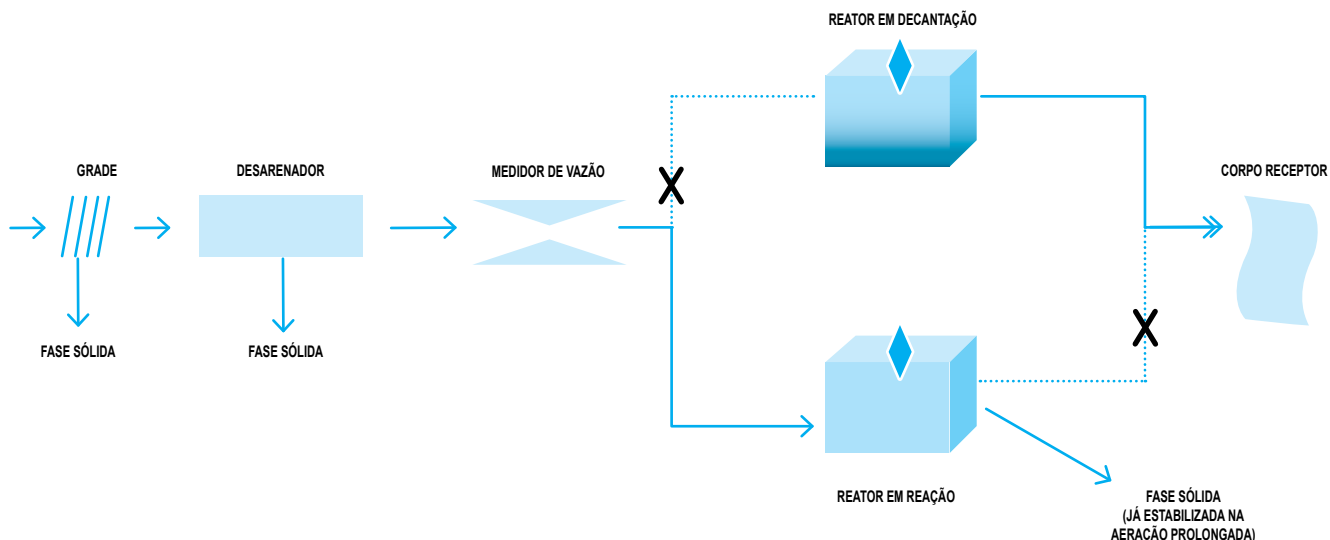


Figura 14: Lodos Ativados - Fluxo Intermitente. Fonte: Von Sperling,1995

4.4.5. Filtros Biológicos

4.4.5.1. Filtros biológicos de baixa carga

Os filtros biológicos são sistemas de tratamento aeróbio que consistem em um tanque normalmente circular, preenchido com material grosseiro, como pedras, ripas ou materiais plásticos, sobre o qual o esgoto é aplicado por aspersão. No fundo do tanque há drenos para coleta do efluente tratado, após percolação do mesmo através do meio suporte.

A biomassa cresce aderida a este meio suporte, formando uma película. Os espaços vazios existentes entre as pedras propiciam a oxigenação do meio, feita com ventilação natural. Ao percolar pelo meio suporte, o esgoto entra em contato com a biomassa e a matéria orgânica é adsorvida pela película microbiana, ficando retida tempo suficiente para sua estabilização.

A função do meio é apenas fornecer suporte para a formação do biofilme, não havendo uma filtração propriamente dita.

Existem meios sintéticos de diversos materiais e formas, que apresentam vantagens por serem mais leves e apresentarem área superficial de contato maior que as pedras, mas também apresentam custo elevado.

Nos filtros biológicos o controle da população microbiana ocorre naturalmente; a medida que a biomassa cresce na superfície das pedras, os espaços vazios tendem a diminuir e a velocidade de escoamento nos poros aumenta, causando uma tensão de cisalhamento que desprende parte do material aderido. O lodo desprendido é então separado do efluente no decantador secundário.

Nos sistemas de filtro biológico de baixa carga, a quantidade de DBO aplicada é menor; havendo menor disponibilidade de alimento no reator, o lodo é parcialmente estabilizado, pois as células consomem parte do material celular para sobreviverem e a eficiência na remoção de DBO é maior.

O sistema de baixa carga é conceitualmente simples e a eficiência é semelhante a um sistema de lodos ativados convencional, porém requer uma área muito maior e a operação é menos flexível quanto às variações do efluente.

Usualmente, o filtro biológico de baixa carga é precedido de gradeamento, desarenação, medição de vazão e decantador primário.

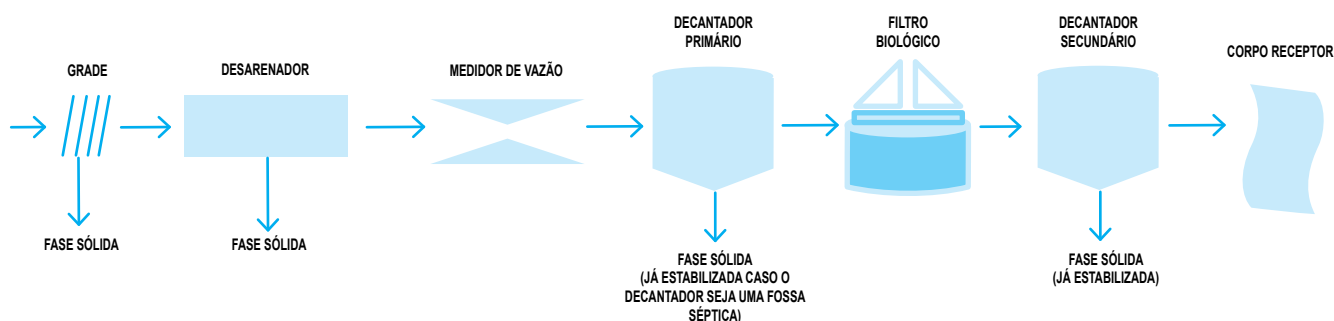


Figura 15: Filtro Biológico Baixa Carga. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.5.2. Filtros biológicos de alta carga

Conceitualmente, os filtros biológicos de alta carga são semelhantes aos de baixa carga, porém, recebem uma maior carga de DBO por volume de leito. Assim a área ocupada pelo reator é menor, mas a eficiência na remoção de DBO também é menor e não há estabilização do lodo no filtro.

O sistema é composto por grade, desarenador, medidor de vazão, decantador primário, filtro biológico de alta carga e decantador secundário. Parte do efluente do decantador secundário é re-circulado para a entrada do filtro biológico, com o objetivo de manter a vazão uniforme, especialmente durante a noite, quando a redução de vazão poderia causar a secagem do leito.

Diferentemente do sistema de lodos ativados, onde há recirculação de parte do lodo sedimentado, no sistema de filtro biológico de alta carga o efluente é re-circulado.

Para melhorar a eficiência do sistema ou tratar efluentes com maiores concentrações de matéria orgânica é possível trabalhar com dois filtros de alta carga em série.

Uma desvantagem de utilizar filtros biológicos com leito de pedras para o tratamento de efluentes com elevada carga orgânica é o entupimento do mesmo devido ao crescimento excessivo do biofilme, que pode ocasionar transbordamentos e falhas no sistema.

Outra forma de melhorar a eficiência do sistema é a utilização de módulos de plástico corrugados ou anéis plásticos como meio suporte. Estes materiais apresentam maiores áreas superficiais para o crescimento bacteriano, maiores espaços vazios, que possibilitam melhor aeração do meio, além de serem mais leves, permitindo a construção de filtros mais altos sem ocasionar problemas estruturais e, portanto, reduzindo o espaço necessário para a estação de tratamento. Enquanto a altura média de filtro com pedras é de 3m, os com leito de enchimentos plásticos pode

chegar a 6m ou mais. Assim, o alto custo do material de enchimento é compensado pela redução de área necessária para o tratamento.

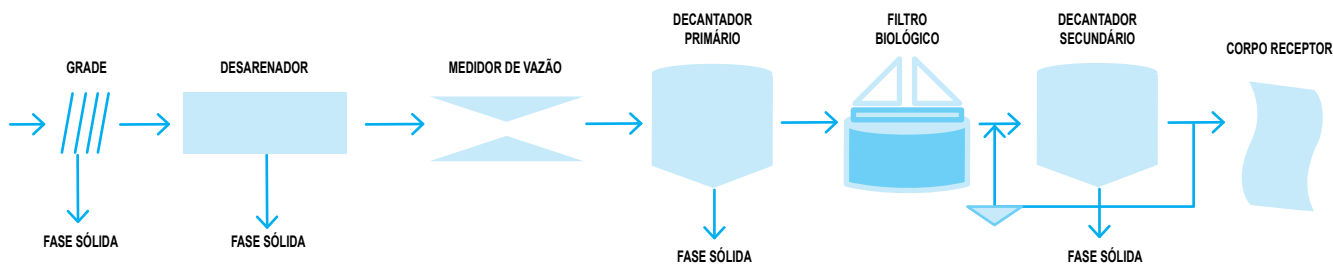


Figura 16: Filtro Biológico Alta Carga. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.5.3. Biodiscos

O processo de biodiscos consiste em uma série de discos ligeiramente espaçados, montados em um eixo horizontal que gira vagarosamente, mantendo metade da área dos discos imersa em esgoto e a outra metade em contato com o ar. Os discos são construídos de plástico corrugado, onde os microorganismos ficam aderidos, formando um biofilme.

A rotação dos discos aumenta a aeração não apenas do líquido aderido à parte do disco exposta ao ar, mas também do meio líquido no qual metade do disco está mergulhado. Quando o biofilme cresce, se desprende do disco e permanece no meio líquido em suspensão, devido à rotação dos discos, consumindo matéria orgânica deste líquido. Conseqüentemente a eficiência do processo aumenta.

O conceito do tratamento por biodiscos é similar ao de filtros biológicos, mas neste, o efluente passa pelo meio suporte, enquanto no sistema de biodiscos, os microorganismos é que atravessam o esgoto.

O sistema de biodisco apresenta bons resultados para o tratamento de esgotos de pequenas comunidades, uma vez que vazões maiores ocasionariam a necessidade de uma quantidade muito grande de discos, inviabilizando o sistema.

De modo geral, os biodiscos apresentam boa eficiência na remoção de DBO, embora as vezes o sistema seja instável. O nível de operação é moderado, mas os custos de implantação são elevados.

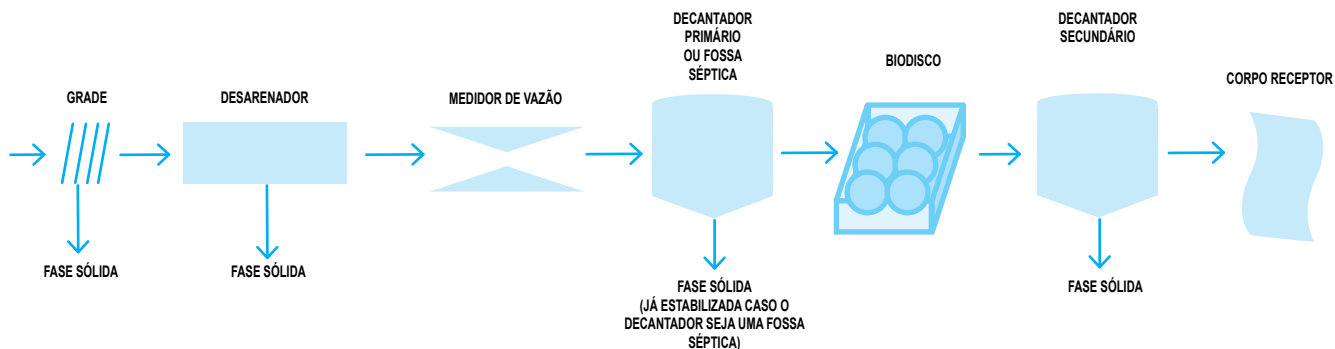


Figura 17: Biodisco. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.6. Tratamento Anaeróbio

4.4.6.1. Sistema fossa séptica – filtro anaeróbio

O sistema de fossa séptica e filtro anaeróbio é bastante utilizado no Brasil, especialmente em locais não servidos por redes públicas de coleta e tratamento de esgotos como zonas rurais, pequenas comunidades e bairros afastados dos centros urbanos.

Na fossa séptica a matéria orgânica sedimentável decanta e é digerida anaerobicamente no fundo do tanque. O líquido sobrenadante, contendo a matéria orgânica dissolvida ou finamente dividida em suspensão é transferido para o fundo do filtro anaeróbio, escoando em fluxo ascendente através do meio suporte, normalmente constituído por pedras, às quais a biomassa cresce aderida.

O tratamento anaeróbico apresenta menor eficiência em relação ao aeróbico, mas apresenta as vantagens de requerer menor área e gerar menos lodo, o qual já sai do sistema estabilizado.

Outra desvantagem do sistema anaeróbico é a geração de odores, o que pode ser mitigado com um projeto bem elaborado.

Os tanques nestes sistemas são normalmente fechados e enterrados, havendo a necessidade de remoção dos gases gerados no interior dos mesmos, particularmente o metano, que é inflamável e cujo potencial energético pode ser aproveitado, embora usualmente ocorra apenas a queima deste gás em sistemas bem operados ou a simples dispersão atmosférica, na maioria dos casos.

Neste tipo de sistema é usual a infiltração do efluente tratado em subsuperfície através de um poço absorvente ou sumidouro, com fundo aberto, no qual há um leito de brita sobreposto diretamente ao solo. Outras formas de infiltração são através de valas, infiltração subsuperficial, escoamento superficial, aspersão, dentre outras.

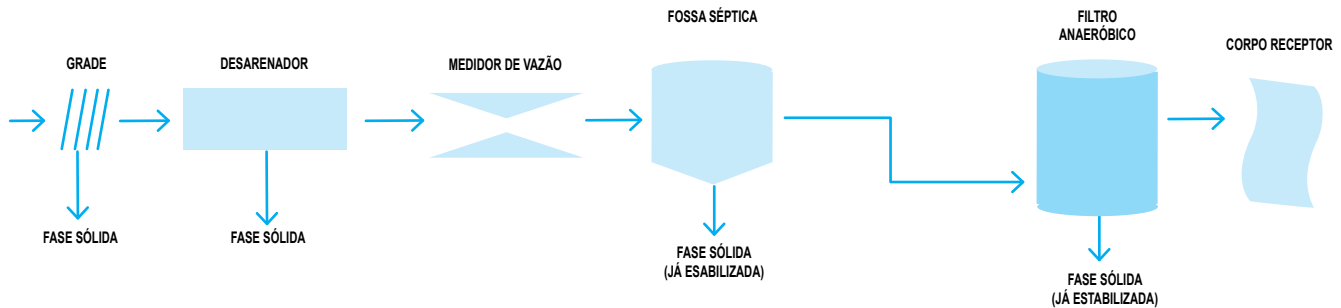


Figura 18: Sistema Fossa Séptica - Filtro Anaeróbico. Fonte: Von Sperling, 1995

4.4.6.2. Reator anaeróbico de fluxo ascendente (RAFA ou UASB)

Neste tipo de reator, também chamado de reator anaeróbico de manta de lodo, a biomassa cresce dispersa no meio e as bactérias tendem a se aglutinar, formando um meio suporte para outras bactérias. Esta aglutinação favorece o aumento da eficiência do sistema.

A concentração de biomassa no sistema é elevada e, conseqüentemente, o volume requerido para este tipo de reator é menor em comparação com outros sistemas de tratamento.

Neste tipo de reator o fluxo é ascendente, fazendo com que o lodo se dirija para a parte superior do tanque, onde há um dispositivo de separação do sólido e do efluente tratado, impedindo que a biomassa saia do sistema.

No processo de digestão anaeróbia são gerados gases, particularmente metano e gás carbônico, que também têm fluxo ascendente e são acumulados e coletados na parte superior do tanque, de onde podem ser encaminhados para queima ou para sistemas de reaproveitamento energético de metano.

Os reatores anaeróbicos de fluxo ascendente não necessitam de decantadores primários, sendo precedidos apenas de gradeamento, desarenador e medidor de vazão. A produção de lodo é baixa e o mesmo já sai estabilizado, podendo ser simplesmente desidratados em leitos de secagem.

Estes reatores normalmente são fechados, evitando a emissão de maus odores, cuja geração pode ser minimizada com um projeto bem elaborado.

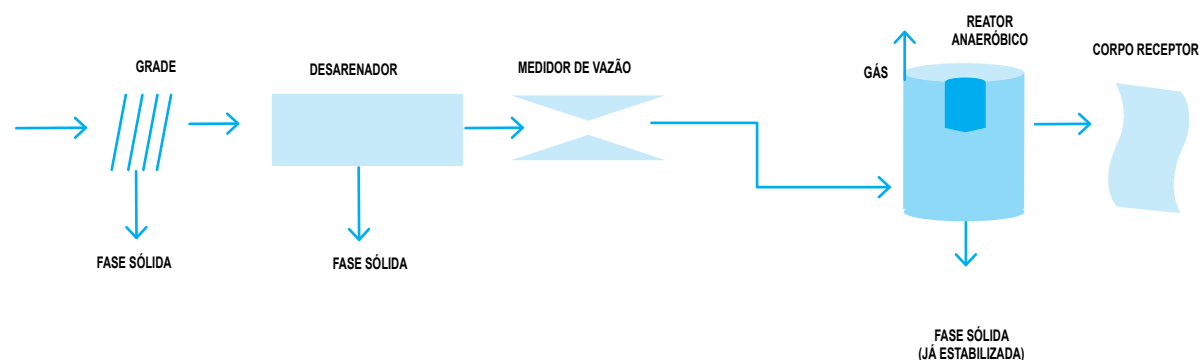


Figura 19: Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente. Fonte: Von Sperling, 1995

4.5. Tratamento do Lodo

Nos sistemas de tratamento biológico de esgotos há a geração de resíduos sólidos, tais como o material gradeado, areia, espuma, lodos primário e secundário, que precisam ser adequadamente destinados.

Dentre estes, o lodo é o que apresenta maior volume. Convém ressaltar que o lodo não é um sólido propriamente dito, ao contrário, apresenta em média apenas 5% de sólidos e 95% de água. Tal nomenclatura é apenas uma forma de diferenciá-lo do efluente tratado.

As etapas de tratamento para o lodo dependerão do tipo de processo do qual o mesmo é proveniente. Assim, em sistemas anaeróbios e em sistemas aeróbios com aeração prolongada, onde o lodo já sai estabilizado, será necessário um menor número de operações que nos casos onde o lodo ainda precise ser estabilizado.

De forma geral, o tratamento de lodos abrange os seguintes processos:

- Adensamento: concentração dos sólidos, geralmente por decantação, para redução do volume do lodo.
- Estabilização: remoção da matéria orgânica através da redução de sólidos voláteis;
- Condicionamento: preparação para desidratação;
- Desidratação: remoção de umidade para redução de volume;
- Disposição final: destinação final dos lodos tratados, que pode ser um aterro sanitário ou sistema de compostagem e posterior utilização dos biosólidos.

4.6. Considerações sobre o potencial de geração de biogás em ETEs.

Sistema	Potencial de Geração de Biogás
Lagoa anaeróbia	Há geração de biogás no processo anaeróbio, o qual pode ser captado para aproveitamento energético por meio de cobertura das lagoas e implantação de sistema de coleta, tratamento e aproveitamento do biogás.
Lagoa facultativa	Há geração de biogás, porém em menor quantidade que em uma lagoa anaeróbia. Tecnicamente, é possível a instalação de sistemas de captação e aproveitamento do biogás, porém, as baixas vazões geradas podem inviabilizar o investimento.
Lagoas aeróbias	Não há potencial de geração de biogás.
Reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB / RAFA)	Há geração de biogás no processo anaeróbio, o qual pode ser captado para aproveitamento energético. Sua viabilidade dependerá do volume e carga orgânica degradável do efluente a ser tratado.
Biodigestores convencionais (reator anaeróbio)	Há geração de biogás no processo anaeróbio, o qual pode ser captado para aproveitamento energético. Sua viabilidade dependerá do volume e carga orgânica degradável do efluente a ser tratado.
Lodos ativados convencional	Não há potencial para geração de biogás no tratamento de esgotos. Uma possibilidade de geração de biogás é no tratamento por digestão anaeróbia do lodo gerado no processo.
Lodos ativados com aeração prolongada	Não há potencial para geração de biogás no tratamento de esgotos. Uma possibilidade de geração de biogás é no tratamento por digestão anaeróbia do lodo gerado no processo. No entanto, o lodo já sai parcialmente digerido, portanto, a geração de biogás é inferior quando comparada ao tratamento de lodo gerado no processo de lodos ativados convencional.
Fossas sépticas	Há potencial de geração de biogás, mas a captação e aproveitamento do gás são dificultados pelas dimensões reduzidas destes sistemas e baixa produção de biogás.

Tabela 5: Potencial de geração de biogás. Fonte: Von Sperling, 1995

Em função da diluição da carga orgânica dos esgotos domésticos por águas de chuva e demais águas servidas (efluentes gerados em limpeza, banhos, cozinhas, etc), seu potencial de geração de biogás torna-se reduzido em relação àqueles com teores mais elevados de DBO (demanda bioquímica de oxigênio, correspondente à fração biodegradável), tais como dejetos de suínos e outros animais criados em sistema confinamento. Semelhantemente, quando comparada à geração de biogás em aterros sanitários, a geração deste gás proveniente do tratamento anaeróbio de esgotos é muito menor.

Desta forma, muitas alternativas técnicas para utilização do biogás como recurso energético tornam-se, economicamente, pouco atrativas para ETEs.

Entretanto, considerando os ganhos ambientais com as reduções de emissões de metano, poderoso gás de efeito estufa, sempre que possível os gestores públicos devem incluir em seus projetos de saneamento o aproveitamento energético do biogás, tanto em ETEs já existentes quanto em novas.

Embora os tratamentos anaeróbios de efluentes sanitários apresentem potencial para geração de biogás e aproveitamento do potencial energético do mesmo, estes sistemas apresentam menor eficiência no tratamento dos esgotos em comparação aos sistemas aeróbios. Assim, as substituições de sistemas aeróbios por anaeróbios não é uma decisão ambientalmente mais adequada. Porém, a conjugação de técnicas anaeróbias e aeróbias apresenta maior eficiência que os sistemas aeróbios isolados. Portanto, a inclusão de uma etapa anaeróbia em um processo aeróbio pode melhorar a eficiência global da redução da carga orgânica e ainda possibilitar a geração e aproveitamento do biogás.

4.7. Biodigestores: uma alternativa para melhorar o saneamento e gerar energia

Os biodigestores nada mais são do que reatores anaeróbios, onde o material orgânico é decomposto por bactérias metanogênicas, resultando no final do processo em efluente tratado e biogás. Eles podem ser utilizados para tratar esgotos urbanos, lodos de ETEs, dejetos animais, efluentes e resíduos rurais e industriais que contenham elevada carga orgânica, e outras fontes de biomassa.

Quanto maior a carga orgânica do material a ser digerido no biodigestor, maior será a produção de biogás, desde que respeitadas as condições necessárias para seu bom funcionamento.

Os biodigestores podem ser utilizados não somente com o intuito de promover o tratamento de resíduos e efluentes com alta carga orgânica, mas também para possibilitar a geração e aproveitamento energético do biogás produzido, quando os teores de metano forem elevados.

Existem vários tipos de biodigestores, tais como os chineses, os indianos, entre outros. A diversidade de tipos, tamanhos e formas de biodigestores é muito grande e a escolha do biodigestor adequado depende finalidade para o qual estão sendo construídos e da disponibilidade de espaço.

Embora biodigestores muito simples possam ser implantados em pequenas comunidades, o projeto deve considerar condições de segurança, pois o metano contido no biogás é inflamável. Assim, mesmo os biodigestores “caseiros” devem ser projetados por profissionais habilitados.

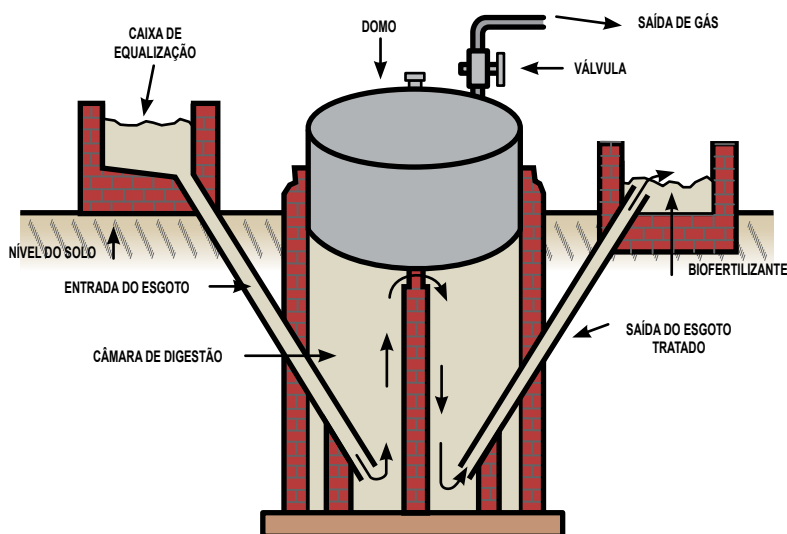


Figura 20: Biodigestor indiano. Fonte: <http://4.bp.blogspot.com>

4.7.1. Uso de biodigestores no mundo.

O uso de biodigestores é muito comum em diversos países desenvolvidos. Na Europa, por exemplo, estes vêm sendo amplamente utilizados como uma tecnologia eficaz para tratar efluentes e resíduos orgânicos, urbanos e industriais, e também para possibilitar o aproveitamento energético do biogás gerado.

Na Alemanha, a energia elétrica produzida a partir do biogás é vendida a preços muito mais atrativos que aqueles pagos para energia proveniente de fontes não renováveis.

Geralmente, nesses países desenvolvidos, o biogás gerado em ETEs e em aterros sanitários é aproveitado para produ-

ção de energia elétrica, calor de processo ou para aquecimento de edifícios, combustível veicular, entre outros usos. Quando o clima é frio, o biogás é utilizado inclusive para aquecimento interno dos biodigestores, visando proporcionar temperaturas ideais para a atividade dos microorganismos.

Segundo dados da European Biomass Association, em 2007 o potencial de geração de eletricidade a partir do uso do biogás nos 25 países da União Européia era de 19.938 GWh.



Figura 21: Modelo de biodigestor na Europa. Fonte: AEBIOM - European Biomass Association

4.7.2. Uso de biodigestores no Brasil

No Brasil, o uso de biodigestores ainda é muito pequeno e restrito a poucas aplicações.

4.7.2.1. Biodigestores para tratamento de dejetos animais

Nota-se que nos últimos 5 anos tem ocorrido a instalação de muitos biodigestores na zona rural, especialmente com a finalidade de tratar dejetos de suínos criados em sistema de confinamento. Isto tem acontecido em função principalmente da possibilidade de geração e venda de Créditos de Carbono após o registro desses projetos no âmbito do MDL. Geralmente, esses biodigestores são constituídos basicamente por lagoas com fundo impermeabilizado (geralmente mantas de vinil ou lonas) para evitar infiltrações e vazamentos, e cobertura com lona presa às laterais visando vedar a lagoa. Desta forma, à medida que o biogás é produzido em seu interior, a lona superior se infla, como pode ser visto na figura a seguir.

Aparentemente, esses biodigestores são simples, entretanto, para que sejam providas todas as medidas de segurança para evitar vazamentos e explosões, são necessários diversos elementos complementares, tais como válvulas de segurança (corta fogo), um flare, cercas, entre outros. Considerando todos esses elementos, o custo se torna maior e pouco atrativo sob o aspecto financeiro. Por isso, a receita gerada com a venda de créditos de carbono é que tem viabilizado a instalação de muitos biodigestores, especialmente nas fazendas de criação de suínos.

Entretanto, na maioria dos casos, embora a quantidade de biogás gerado seja relativamente grande, pois a carga orgânica desses efluentes é elevada, poucos são os projetos que contemplam o efetivo aproveitamento energético do biogás gerado.

Isto tem ocorrido pois, na maioria dos casos, o objetivo da instalação desses biodigestores é simplesmente a geração e venda de Créditos de Carbono, e para isso, as metodologias do MDL aplicáveis a essa atividade exigem apenas que o metano gerado seja destruído, o que pode ser feito em flares fechados. Se esses projetos contemplarem o aproveitamento energético do biogás, pode-se gerar 10% a mais de Créditos de Carbono, mas muitas vezes esse adicional não é suficientemente atrativo sob o ponto de vista econômico e técnico.

4.7.2.2. Biodigestores para tratamento de esgotos sanitários e lodo de ETEs

No Brasil o uso de biodigestores é pequeno e restrito a poucas aplicações em comparação a outros países. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE em 2000, foram identificados 153 distritos brasileiros que possuíam biodigestores para tratamento do lodo de suas ETEs.

Entretanto, mais recentemente têm surgido algumas iniciativas de instalação de biodigestores para tratar os esgotos de pequenas comunidades e bairros.

Em Petrópolis, por exemplo, foi construído um biodigestor para tratar o esgoto gerado por aproximadamente 500 habitantes, onde o biogás gerado é utilizado para alimentar a boca de um fogão na residência de um morador local.

Embora este tipo de iniciativa seja válido, pois viabiliza o tratamento de esgotos que de outra maneira estariam sendo despejados no ambiente sem a devida redução de sua carga orgânica, geralmente, o potencial de geração de

biogás nesses pequenos biodigestores é muito pequeno e nem sempre possibilita seu aproveitamento energético incluindo todos os itens de segurança e tecnologia aplicáveis.

Nesse sentido, é fundamental que sejam realizadas pesquisas para aprimoramento e/ou barateamento de biodigestores, garantindo sua eficácia sem, contudo, elevar seus custos a níveis impraticáveis para a realidade brasileira.

A troca de experiências e de tecnologias em biodigestão (de efluentes e resíduos orgânicos) em âmbito internacional, e a capacitação de gestores de prefeituras e profissionais que atuam na área rural podem ser de grande valia para que o país amplie o uso de biodigestores onde seja cabível.

Nesse sentido, algumas pesquisas e iniciativas piloto vem sendo desenvolvidas, como é o caso da ETE com captação de biogás experimental na Universidade de São Paulo, na Cidade Universitária, em São Paulo – SP, envolvendo pesquisadores do CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa).

Além disso, a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), principal empresa de saneamento de São Paulo, também está fazendo pesquisas para a utilização do biogás em uma das suas 5 ETEs, localizada na região em Barueri. Essa ETE utiliza processo de digestão anaeróbia, tendo como principais produtos o biogás e o lodo.

Calcula-se que a produção média diária de biogás nessa ETE seja de 22.000m³ (tratamento primário) com um PCI estimado (Poder Calorífico Inferior) de 4.850 kcal/Nm³. Isso significa que, diariamente, esta ETE tem disponível na forma de biogás o equivalente a 106.700 Mcal.

Esse projeto é um projeto pioneiro na América Latina e está sendo realizado em conjunto com o Biomass Users Network do Brasil - BUN (proponente), em parceria com o CENBIO (executor), com o apoio da FINEP / CT-ENERG (financiador), mediante um convênio específico referente ao Projeto ENER-BIOG - “Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto”.

Ele consiste na geração de eletricidade com microturbinas de 30 kW (ISO), utilizando biogás gerado no processo. Considerando uma turbina a gás funcionando ininterruptamente durante 24 horas por dia, com um rendimento da ordem de 30%, essa ETE teria um potencial de produção de 1,55MW.

O principal objetivo é demonstrar a viabilidade da utilização do biogás gerado em estações de tratamento de esgoto urbano para gerar eletricidade, e servir de modelo / exemplo para outras ETEs no Brasil.

Outra iniciativa interessante é a experiência da SANEPAR, responsável pelo tratamento de esgotos em grande parte dos municípios do Paraná, que implantou 4 unidades piloto para captação e aproveitamento energético do biogás gerado em seus reatores anaeróbios.

CAPÍTULO 5. ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO DE BIOGÁS

Este capítulo visa apresentar ao leitor as diversas possibilidades de aproveitamento energético do biogás gerado a partir do tratamento de esgotos.

A energia liberada pela queima de metano contido no biogás pode ser extremamente útil ao homem, seja pelo uso direto do calor (para aquecimento, geração de vapor, secagem de materiais, etc.) ou da luz (iluminação de vias públicas), ou ainda, pela sua transformação em outra forma de energia, tais como: a elétrica (por meio de geradores e microturbinas específicas), a energia cinética (utilizando esse gás em motobombas e motores adaptados para tal), entre outras.

Segundo PNSB (IBGE), no ano de 2000 existiam aproximadamente 15 milhões de ligações de esgoto, com um volume total de esgoto tratado de 5 milhões m³/dia. Se todos os sistemas de tratamento fossem anaeróbios, e houvesse a coleta e aproveitamento energético do biogás gerado, teríamos um total de: 60.912 toneladas de metano por ano, o que equivale a 1.279.152 t CO₂e/ano que seriam evitadas. Além disso, seria possível obter uma potência de 17,6 MW e gerar 367,7 MWh/dia.

Considerando que o Brasil necessita aumentar sua produção de energia, de forma sustentável e diversificada, não utilizar o biogás gerado continuamente em aterros e estações de tratamento de esgotos urbanos e efluentes industriais ou da agropecuária, para complementar sua matriz energética é uma incoerência, um desperdício!

Para se fazer uma correta análise da viabilidade técnica e econômica dos possíveis usos do biogás gerado em ETEs é fundamental que sejam consideradas as seguintes questões:

- Qual é o potencial de geração de biogás (em m³/hora ou outra unidade de vazão) no processo em questão (Reator anaeróbio, fossas, lagoas anaeróbias, biodigestores, etc.)?
- Durante quanto tempo ocorrerá produção de biogás nesse processo? Em aterros de resíduos sólidos, o período de geração de biogás é mais de 4 décadas após o encerramento de suas atividades, embora exista um pico seguido de uma curva de decaimento, que devem ser considerados no projeto de aproveitamento do biogás. Em ETEs, o período de geração de biogás é muito menor, pois a passagem do efluente com carga orgânica é breve e a continuidade da geração depende da continuidade da operação da ETE.
- Existe demanda de energia no próprio processo onde o biogás é gerado como, por exemplo, de energia elétrica para funcionamento de motores, motobombas e outros equipamentos? Se sim, de quanto é essa demanda? Se não, existem demandas energéticas no entorno do local onde o biogás será gerado, como por exemplo, calor de processo para fins industriais, energia elétrica para suprir as necessidades de empreendimentos ou habitações próximas?
- Se não houver demandas energéticas no próprio local onde o biogás será gerado ou no seu entorno, vale a pena gerar energia elétrica e inseri-la na rede de distribuição ou mesmo incluir o biogás gerado na rede de distribuição de gás natural se existente?
- Há tecnologia acessível para permitir o uso que se pretende dar ao biogás?
- O investimento necessário para a implantação do sistema terá retorno num prazo e a uma taxa considerada atrativa para o investidor?
- A tecnologia a ser empregada elimina todos os riscos de impactos ambientais e sociais, tais como a ocorrência de vazamentos e eventuais explosões?

Neste capítulo, serão apresentadas diversas alternativas para aproveitamento energético do biogás gerado em sistemas anaeróbicos de tratamento de efluentes urbanos.

5.1. Geração de Energia Elétrica

Para gerar energia elétrica a partir do biogás, é necessário que ocorra sua combustão controlada, onde a energia química será transformada em térmica ou mecânica, que por sua vez, ativa um gerador que a converte em energia elétrica.

Entre as tecnologias mais utilizadas atualmente para esse fim destacam-se os motores de combustão interna – Ciclo Otto e as microturbinas a gás.

5.1.1. Motor de combustão interna – ciclo Otto

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas onde a energia química do combustível se transforma em energia mecânica, por meio da combustão da mistura de ar e combustível. O motor ciclo Otto caracteriza-se por ter sua ignição por faísca e 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.

Motores a biogás de grande porte têm o inconveniente de serem importados, já que, no Brasil, a maior potência disponível é de cerca de 230 kW. O rendimento destes motores é de aproximadamente 28 % e a geração de energia elétrica é realizada pelo grupo gerador, acoplado diretamente ao motor.



Figura 22: Motores Ciclo Otto importados, em operação em aterro sanitário em São Paulo.
Fonte: CENBIO, 2007a.

A Figura 22 apresenta motores ciclo Otto importados de, aproximadamente, 1 MW de potência.

5.1.2. Microturbinas a gás

As microturbinas são turbinas de combustão que operam na faixa de 30 kW a 1 MW, com elevada velocidade de rotação e diversos tipos de combustível, entre eles o biogás. Nas microturbinas o ar é aspirado e forçado para seu interior a alta velocidade e pressão, misturado ao combustível 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.

Dentre os benefícios apresentados na utilização de microturbinas, destacam-se as baixas emissões atmosféricas, baixos níveis de ruído e vibração, flexibilidade de combustível, dimensões reduzidas e simplicidade de instalação, podendo ser instalada em locais cobertos ou ao ar livre (HAMILTON, 2003). Porém, algumas barreiras ainda impedem sua larga utilização, como alto custo de operação e manutenção e menor eficiência, quando comparada a outras tecnologias existentes. Além disso, a utilização de um gás de baixo poder calorífico requer remodelação da microturbina para sua queima e uma limpeza do mesmo, antes desta queima. A Figura 23 mostra uma microturbina.



Figura 23: Exemplo de microturbina.
Fonte: MONTEIRO, 2004.

5.2. Geração de energia térmica

Entre os possíveis usos energéticos do biogás, destacam-se o uso direto em aquecedores a gás para produção de água quente para condicionamento ambiental ou para calor de processo, secagem de grãos em propriedades rurais, secagem de lodo em ETEs, queima em caldeiras, no aquecimento de granjas, cocção, iluminação a gás, tratamento de chorume, secagem de lodos, entre outros.

5.2.1. Sistemas de ciclo a vapor

Os sistemas de ciclo a vapor funcionam de acordo com o ciclo Rankine, que consiste basicamente em caldeira, turbina, condensador e bomba (Figura 24). Neste ciclo é utilizado calor proveniente da combustão de determinado combustível, em uma caldeira, para geração de vapor, que poderá ser utilizado para processos industriais, aquecimento direto ou geração de energia elétrica, por meio do acionamento de uma turbina a vapor acoplada a um gerador.

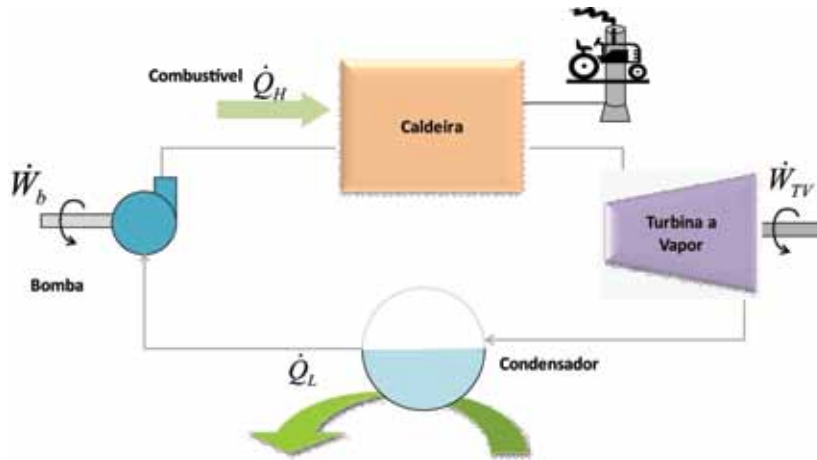


Figura 24.: Sistema de ciclo a vapor – Ciclo Rankine. Fonte: HIRANI E MANAMI, 2007.

O rendimento térmico obtido por meio deste sistema é de cerca de 30 %. A adaptação dos equipamentos para uso do biogás pode ser realizada com pequenas modificações, buscando a adequação às características do novo combustível. Para o controle do nível de umidade do gás são utilizados purgadores e linhas de condensado, impedindo, desta forma, danos aos equipamentos e problemas na operação das caldeiras.

A corrosão é outro problema para a adaptação de caldeira para biogás, uma vez que compostos presentes neste gás comprometem pré-aquecedores de ar, tubulações e outros componentes. Deve-se realizar manutenção regular, impedindo, desta maneira, a formação de depósitos de sílica, enxofre e cloro nos equipamentos.

5.2.2. Secagem de lodo

O lodo originado na etapa aeróbia de tratamento de esgotos urbanos, contém alta carga poluidora e sua composição apresenta grande quantidade de amônia, cloretos, substâncias recalcitrantes, compostos orgânicos e inorgânicos.

Um dos sistemas utilizados para tratar o lodo é o processo de evaporação (ou secagem). Este processo permite uma redução de até 70% do volume de líquidos.

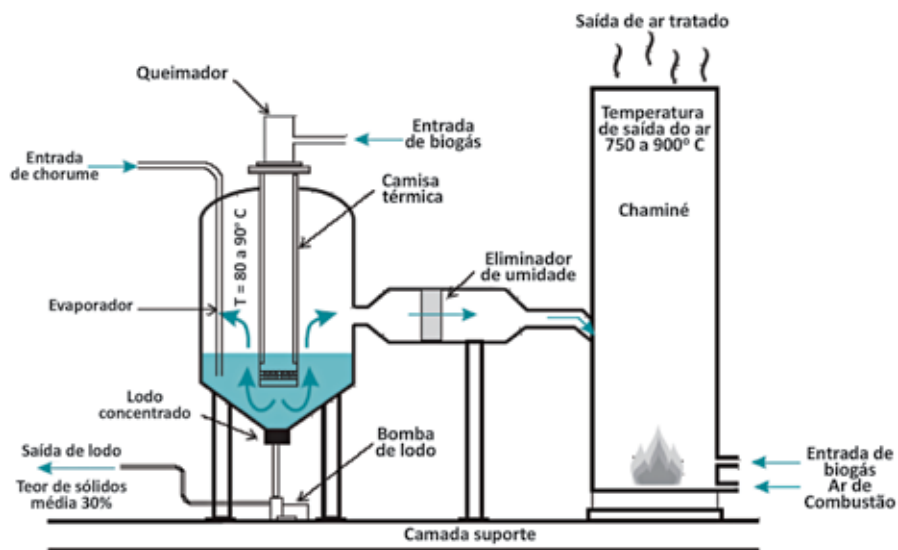


Figura 25: Esquema de um evaporador de chorume. Fonte: MONTEIRO et. al., 2001.

O tratamento é realizado em equipamento denominado Evaporador, onde o lodo é aquecido até altas temperaturas.

O processo de aquecimento é realizado a partir do biogás utilizado como combustível. A fração líquida é evaporada, concentrando o teor de sólidos do lodo e desinfetando o mesmo. O vapor quente passa por sistema de purificação para que possa ser lançado à atmosfera ou então, para ser utilizado na geração de energia térmica de processo, como aquecimento ou refrigeração. O lodo adensado pode ser destinado para aterro. Esta tecnologia já é empregada nos Estados Unidos e na Europa, mas ainda encontra-se em fase de estudos ou escala piloto no Brasil.

5.3. Uso veicular

Apesar do biogás poder ser utilizado em qualquer aplicação destinada ao gás natural, existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes quando for utilizado para uso veicular. Os principais componentes a serem removidos são: umidade, ácido sulfídrico (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) e partículas (ADNETT, 2000).

No processo de purificação do biogás é importante retirar o CO_2 até que a porcentagem de metano fique próxima à do gás natural, para que possa ser utilizado para os mesmos fins. Segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo) na Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e a máxima de CO_2 é de 5%.

A remoção de CO_2 do biogás é uma operação unitária em que um componente da mistura é dissolvido em um líquido. Esta operação pode ser química ou física. Entre os métodos químicos estão a absorção em carbonato de potássio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, entre outros. Entre os métodos físicos, destacam-se os crivos moleculares, separação por membranas e colunas de absorção. Os métodos físicos são os mais conhecidos e utilizados devido à fácil regeneração dos reagentes utilizados na absorção.

Existem diversos solventes que podem ser utilizados para a remoção do CO_2 . Em se tratando da solubilidade, o polietileno glicol é uma das opções e que, atualmente, é a mais utilizada devido à alta solubilidade do CO_2 e H_2S . Quando é analisado o fator custo, a melhor opção a ser utilizada é a água, pois o CO_2 e H_2S também são solúveis em água.

Um dos fatores mais importantes do processo de absorção do CO_2 é a razão líquido/gás. É definida a quantidade de solvente necessária para absorver uma determinada quantidade de soluto. Cada soluto possui uma solubilidade a um determinado solvente e é por meio dessa solubilidade que é determinada a vazão de solvente necessária para absorver o soluto existente em uma mistura gasosa. A tabela a seguir apresenta a solubilidade dos componentes existentes no biogás em água.

A absorção de CO_2 pela água ocorre em pressões elevadas. Utilizam-se colunas de absorção que operam, na maioria dos casos, a pressões na faixa de 600 a 1200 kPa, obtendo-se, na saída do sistema, porcentagem de metano em torno de 95% e 1 a 3% de CO_2 .

Tabela 16. Solubilidade dos gases presentes no biogás em água

TEMPERATURA (°C)	VOLUME DE GÁS DISSOLVIDO EM ÁGUA (M3 LH2O-1 KPA-1)		
	CO ₂	H ₂ S	CH ₄
20	8,665e ⁻⁶	2.548e ⁻⁵	3,336e ⁻⁷
25	7,501e ⁻⁶	2.252e ⁻⁵	2,961e ⁻⁷
35	5,843e ⁻⁶	1.807e ⁻⁵	2,507e ⁻⁷

Tabela 6: Solubilidade dos gases. Fonte: CCE (2000).

5.4. Iluminação a gás

Uma das possibilidades de utilização do biogás é para iluminação. Este sistema permite a iluminação do local onde é implementado, utilizando o biogás como combustível. A iluminação acontece com a queima direta do biogás.

É importante ressaltar que os postes de iluminação não devem ser instalados próximos aos dutos de biogás, pois este é um gás altamente explosivo e se houver algum tipo de vazamento podem ocorrer explosões.

A necessidade da quantidade de postes e de pontos luminosos de cada poste depende do espaço disponível para instalá-lo e da quantidade de biogás disponível para ser queimado neste sistema.



Figura 26: Sistema de iluminação a gás Fonte: CENBIO, 2007b.

CAPÍTULO 6. ESTUDOS DE CASO

Este capítulo apresenta uma síntese dos estudos de caso patrocinados pelo REEEP visando identificar o potencial de aproveitamento energético do biogás gerado em sistemas de tratamento de esgotos urbanos.

Manaus, Betim e Porto Alegre foram os três municípios selecionados para o desenvolvimento dos estudos de caso sobre o aproveitamento do biogás a partir de efluentes. Essas cidades possuem características bem particulares e diferentes entre si.

Além disso, foram selecionados municípios de diversas regiões brasileiras com condições climáticas e socioeconômicas igualmente distintas. O modo de gestão da área de saneamento desenvolvida por cada município também possui modelos diferenciados.

Manaus localiza-se na região norte do Brasil e possui um clima equatorial com uma temperatura média de 33°C. Além das altas temperaturas, ocorrem em Manaus constantes precipitações pluviométricas. A precipitação média anual é de 2.194 mm. O município de Betim encontra-se na região sudeste do Brasil e possui um clima tropical de altitude estando em média a 860 metros acima do nível do mar. A temperatura média anual é de 22°C. O índice pluviométrico médio é de 1.491,3 mm. Já Porto Alegre encontra-se no extremo sul do Brasil em uma área de clima subtropical com média anual de temperatura de 18,7°C e índice pluviométrico médio de 1.324 mm. Esses dados climáticos variados influenciam também na condição dos efluentes municipais e na possibilidade da utilização do biogás, além de representarem realidades similares com outros municípios brasileiros e da América do Sul.

Modelos distintos de gestão dos efluentes municipais também permitem uma maior possibilidade de replicabilidade da realidade encontrada nos municípios estudados em outros governos locais. Em Manaus, o sistema de saneamento é administrado por uma concessão do município à empresa Águas do Amazonas que também é responsável pelo abastecimento de água na capital amazonense. Em Betim, os efluentes são administrados pela COPASA que é uma empresa pertencente ao governo do estado e que administra o saneamento do estado como um todo. O caso de Porto Alegre é distinto, pois o Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE) é um órgão pertencente à administração municipal e coordena localmente o saneamento no município.

Essa distinção no modo de administrar é também algo que proporciona vislumbrar uma análise das mais variadas alternativas que pode um município possuir para gerir sua área de saneamento. Os estudos realizados em cada cidade irão mostrar, desse modo, como é possível buscar o aproveitamento do biogás e a consequente geração de energia a partir de efluentes com diferentes modelos de administração do saneamento básico local.

A escolha de Manaus, Betim e Porto Alegre permite também analisar municípios com realidades diferentes no tocante ao acesso ao saneamento e aos modelos utilizados para a gestão sanitária.

Desse modo, espera-se que os estudos encontrados nesse Manual possam servir para que outros municípios possam encontrar realidades similares às suas e implementem políticas próprias para melhorar o saneamento básico local e aproveitar também todo o potencial do biogás para a geração de uma energia renovável e para a redução das emissões do gás metano.

6.1. Estudo de caso para o município de Porto Alegre

6.1.1. Caracterização do município

O município de Porto Alegre possui uma área de 47.630 km² e cerca de 1.360.590 habitantes de acordo com censo IBGE 2000, estimando-se que a população atual seja de 1.477.832 habitantes.

O DMAE, criado em 1961, é considerado uma empresa de referência no saneamento básico e ambiental no país, é a autarquia municipal delegada para as questões relacionadas à água e esgotos sanitários.

Baseado no modelo de gerenciamento vigente nas décadas de 80 e 90, no qual previa-se o afastamento dos efluentes líquidos da população, o poder público priorizou a implantação de redes para afastamento dos resíduos líquidos produzidos nos aglomerados urbanos. Atualmente, a coleta de esgotos abrange 84% dos esgotos do município.

Porto Alegre possui um “Plano Diretor de Esgotos” que contempla 12 (doze) Sistemas de Esgotamento Sanitário

(SES) na cidade: Sarandi, Rubem Berta, Navegantes, Ponta da Cadeia, Cavalhada, Zona Sul, Ponta Grossa, Salso-Lomba, Restinga, Belém Novo, Lami e Ilhas.

Destes sistemas, quatro deles já contam com ações de esgotamento sanitário: Navegantes, Zona Sul, Belém Novo e Lami. Além destes, o trabalho desenvolvido pelo Programa Integrado Socioambiental (PISA) e que já se encontra em execução de obras, contempla ações nos sistemas Ponta da Cadeia, Cavalhada e parte centro-sul do Sistema Restinga. Assim, na revisão e atualização do Plano Diretor de Esgotos (versão PDE/2009), foi dada atenção aos demais sistemas, priorizando o Sistema Gravataí e a parte norte do Sistema Restinga (nascentes da Bacia do Arroio do Salso).

Porto Alegre está inserida em duas Bacias Hidrográficas: a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (onde estão inseridas as ETEs Rubem Berta, Loteamento do Bosque e Arvoredo) e a Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (onde estão inseridas as ETEs Navegantes, Ipanema, Belém Novo, Lami, Esmeralda e Restinga).

Os principais rios afluentes, formadores do Lago Guaíba são: Rios Jacuí, Caí, dos Sinos, Gravataí e Arroio Dilúvio, sendo este o principal contribuinte.

No Plano Diretor de Porto Alegre foram estudadas alternativas de coleta e tratamento do esgoto, prevendo-se coletores troncos ou interceptores para áreas mais densamente povoadas e tratamento terciário para os efluentes coletados, de modo a remover não apenas a matéria orgânica, mas também nutrientes (nitrogênio e fósforo) que podem causar eutrofização em corpos d'água. Também foi prevista uma etapa de desinfecção para remoção de microorganismos, garantindo assim a melhoria da qualidade das águas do Lago Guaíba e do Rio Gravataí.

O município prevê ainda a realização de parcerias público-privadas para acelerar a implantação de ações de saneamento em locais onde existem aglomerados urbanos consagrados e um número significativo de demandas de empreendedores para novos loteamentos. Esta solução, proposta inicialmente para a área do SES Salso-Lomba (nascentes do Arroio do Salso), prevê o rateio dos valores de investimento, proporcionalmente ao número de unidades habitacionais existentes e/ou a serem implantadas, de modo a viabilizar em curto prazo a execução dos coletores troncos e respectiva estação de tratamento de esgotos em nível terciário.

6.1.2. Potencial de geração de metano nas ETEs de Porto Alegre

O cálculo do potencial de geração de biogás e de metano nele contido para as ETEs instaladas atualmente no município de Porto Alegre foram realizados com base no *"IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 – Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge"* e *"UNFCCC/CCNUCC – CDM Executive Board – III H./Version 13: Methane Recovery in Wastewater Treatment"*, que serão apresentados no capítulo 7. Os cálculos foram feitos para o metano gerado a partir dos diversos tipos de tratamento de efluentes, para a etapa de tratamento do lodo proveniente das ETEs e para os efluentes tratados e lançados em corpos d'água. Para este últimos, embora a maior parte da matéria orgânica e geração de metano tenham ocorrido nas etapas de tratamento, o efluente ainda contém alguma concentração de compostos orgânicos que será decomposta nos corpos d'água receptores, por fenômenos de autodepuração e diluição. O metano gerado nesta última etapa não pode ser recuperado para aproveitamento, no entanto, sua emissão pode ser reduzida através do aumento da eficiência do tratamento de efluente, o que pode ser conseguido, utilizando-se uma conjunção de técnicas de tratamento, como por exemplo uma etapa de tratamento anaeróbio seguido de uma etapa aeróbia, aumento do tempo de aeração em sistemas de lodos ativados (aeração prolongada), dentre outros.

A Tabela 7 apresenta o potencial de geração de metano nas ETEs e tratamento de lodos existentes.

Convém ressaltar que a maioria das ETEs opera com vazões abaixo das de projeto, havendo potencial para receber maior quantidade de efluentes que as recebidas atualmente. Assim, o potencial da geração de metano foi calculado para dois cenários: o cenário atual e um cenário hipotético futuro, onde as capacidades máximas das estações seriam atingidas.

De acordo com informações fornecidas pelo DMAE, atualmente são coletados 5.532.351 m³/mês de esgotos, o que representa 85% do total de esgotos gerados (aproximadamente 6.508.648 m³/mês). Do total de esgotos coletados, apenas 1.449.758 m³/mês são tratados e o restante é despejado diretamente em corpos d'água.

A Tabela 8 apresenta o potencial para geração de metano (em toneladas de metano e em toneladas de CO₂ equivalentes, por ano) para os volumes atualmente tratados em todas as ETEs, comparados com o potencial de geração total, se a capacidade máxima das ETEs fossem atingidas.

A Tabela 9 apresenta o potencial de geração de CH₄ por ano, referente à parcela de esgotos que é atualmente coletada, mas ainda não é tratada, caso todo este efluente fosse tratado por processo anaeróbio, como reatores anaeróbios de fluxo ascendente, por exemplo.

Tabela 7: Potencial de Geração de Biogás nas Estações de Tratamento de Esgotos de Porto Alegre

ETE	Navegantes			Beilém Novo		Bosque		Arvoredo		Rebem Berta		Esmeralda		Ipanema		Nova Restinga		Lami	
	lodo ativado com aeração prolongada	Capacidade Total: 1.598 m³/h	Ampliação prevista: 2.397,6 m³/h	Vazão de operação: 73,8 m³/h	Capacidade total: 216 m³/h	Vazão de operação: 18 m³/h	Capacidade e total: 26,4 m³/h	Vazão de operação: 11,8 m³/h	Capacidade total: 58,68 m³/h	Vazão de operação: 22 m³/h	Capacidade total: 153 m³/h	Vazão de operação: 5,25 m³/h	Capacidade total: 20,9 m³/h	Vazão de operação: 403,2 m³/h	Capacidade total: 2160 m³/h	Vazão de operação: 19,44 m³/h	Capacidade total: 25,2m³/h	Vazão de operação: 34,92 m³/h	Capacidade total: 108m³/h
Vazões de efluentes utilizadas para cálculo	0,00	0,00	0,00	430,47	1.133,92	163,94	240,66	0,00	0,00	0,00	89,28	354,69	1.419,36	7.603,69	213,89	277,27	199,54	617,14	
Geração de CO ₂ equivalente a partir do esgoto (t CO ₂ e/ano)	0,00	0,00	0,00	20,50	54,00	7,81	11,46	0,00	0,00	0,00	4,25	16,89	67,59	362,08	10,19	13,20	9,50	29,39	
Geração de metano a partir do esgoto (t CH ₄ /ano)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Densidade metano (t/m ³)	3.553,20	6.633,19	9.952,28	31,58	102,65	65,31	324,77	847,99	121,74	5,80	40,38	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Geração de CO ₂ equivalente a partir do tratamento do lodo (t CO ₂ e/ano)	169,20	315,87	473,92	1,50	4,89	3,11	15,47	40,38	5,80	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Geração de metano a partir do tratamento do lodo (t CH ₄ /ano)	484,79	910,98	1.377,04	14,58	21,41	23,08	19,76	7,63	53,15	0,00	0,02	0,02	0,15	0,82	0,02	0,02	0,02	0,05	
Geração de metano a partir do esgoto tratado lançado em corpo d'água (t CH ₄ /ano)	23,09	43,38	65,57	10,00	17,37	4,21	16,41	42,91	6,16	0,36	2,53	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	
Geração total de metano (t CH ₄ /ano)	192,29	359,25	539,49	22,15	58,34	88,39	344,53	901,14	129,37	0,99	6,93	0,76	10,91	58,47	1,64	2,13	1,53	4,75	
Geração total em CO ₂ equivalente (t CO ₂ e/ano)	4.037,99	7.544,17	11.329,32	210,10	364,71	2,80	2,65	0,001	0,002	0,001	0,005	0,020	0,105	0,105	0,003	0,004	0,003	0,008	
Vazão total de metano (m ³ /h)	31,05	58,01	87,11	1,62	2,80	0,68	2,65	0,002	0,012	0,001	0,005	0,028	0,408	2,186	0,061	0,080	0,057	0,177	
Potência (MW)	0,056	0,104	0,156	0,003	0,005	0,001	0,005	0,002	0,012	0,001	0,005	0,020	0,105	0,105	0,003	0,004	0,003	0,008	
Energia (MWh/dia)	1,161	2,169	3,257	0,060	0,105	0,025	0,099	0,037	0,259	0,028	0,113	0,408	2,186	2,186	0,061	0,080	0,057	0,177	

POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE METANO	CENÁRIO ATUAL NAS ETES	CENÁRIO CONSIDERANDO A CAPACIDADE TOTAL DAS FUTURO ETES
Geração de metano a partir do tratamento de efluentes e de lodo (t CH ₄ /ano)	299,88	1.088,99
Geração de metano a partir do tratamento de efluentes e de lodo (t CO ₂ e/ano)	6.297,53	21.716,86

Tabela 8: Potencial total de geração de metano a partir do tratamento dos esgotos e dos lodos das ETES (excluindo a geração após lançamento de efluente tratado em corpos d'água, não passível de captação).

POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE METANO NO ESGOTO COLETADO E NÃO TRATADO	CENÁRIO ATUAL : DESCARTE DIRETO EM CORPO D'ÁGUA	CENÁRIO FUTURO: TRATAMENTO ANAERÓBIO
Potencial de Geração de metano a partir dos esgotos coletados e não tratados (t CH ₄ /ano)	444,39	1.133.948,03
Potencial de Geração de metano a partir dos esgotos coletados e não tratados (t CO ₂ e/ano)	9332,14	23.812.908,63

Tabela 9: Potencial de geração de metano a partir dos esgotos coletados atualmente mas não tratados.

Na ETE Navegantes o biogás gerado na etapa de digestão anaeróbia do lodo já é captado e queimado em *flare*. De acordo com o cálculo do potencial de geração de biogás, a vazão de metano seria de 31,05 m³/h. Considerando a concentração de 50% de metano, a vazão de biogás seria de 62,1 m³/h.

Para esta ETE seria possível aproveitar o potencial energético do biogás das seguintes formas:

- Geração de energia elétrica através de microturbinas;
- Utilização do biogás em motogeradores (motores operando diretamente com o biogás poderiam substituir motores elétricos);
- Secagem de lodo.

A Tabela 10 apresenta as estimativas de investimentos para as alternativas acima, considerando a situação atual de operação.

ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTO - ETE NAVEGANTES			
Etapas de investimento	Microturbinas	Motogeradores	Secagem de lodo (*)
Projeto executivo	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00
Registro do projeto para crédito de carbono	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação	R\$ 450.000,00	R\$ 510.000,00	R\$ 350.000,00
TOTAL	R\$ 770.000,00	R\$ 830.000,00	R\$ 670.000,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 1 - Cobertura de lagoas anaeróbias e instalação de sistema de coleta de biogás			
Tipo de manutenção	Microturbinas	Motogeradores	Secagem de lodo (*)
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 2.2500,00	R\$ 2.550,00	R\$ 1.7500,00
Salários para operação	R\$ 32.500,00	R\$ 32.500,00	R\$ 32.500,00
Gerenciamento e administração	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
Eletricidade (considerando o custo de R\$ 247,56 / MWh, e consumo de 0,02 kWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/ dia por 360 dias; ano)	R\$ 2.656,54	R\$ 2.656,54	R\$ 2.656,54
TOTAL	R\$ 202.406,54	R\$ 202.706,54	R\$ 201.906,54

A geração de iluminação diretamente a partir do biogás não é viável, pois o consumo de cada poste é de 50m³/h de biogás e a vazão 62,5 m³/h gerada na ETE seria suficiente para a alimentação de apenas um poste e a implantação do sistema custaria aproximadamente R\$250.000,00.

6.1.3. Alterações possíveis nas ETEs existentes para aumentar a produção de biogás

Neste subitem serão apresentadas alternativas para otimizar a produção de biogás nas ETEs existentes em Porto Alegre.

Para as ETEs que utilizam processos de tratamento aeróbios não há geração de metano no tratamento dos esgotos, porém, o lodo gerado neste tratamento ainda apresenta elevada carga orgânica, que pode ser tratada por processo anaeróbio em um biodigestor, gerando biogás.

Os processos aeróbios apresentam, em geral, eficiências de remoção de matéria orgânica superiores a processos anaeróbios. Portanto, a substituição de sistemas aeróbios por anaeróbios, apesar de potencializar a geração de biogás, não é a alternativa ambientalmente mais adequada.

Uma alternativa para aumentar a produção de biogás poderia ser a inserção de uma etapa anaeróbia precedendo uma etapa aeróbia. Esta junção de técnicas apresenta melhor eficiência de remoção de compostos orgânicos e, caso se utilize processos de aeração prolongada, o lodo geralmente já sai do sistema estabilizado.

No caso específico da ETE São João/Navegantes, estão previstas ampliações e a inclusão de decantadores primários. Com a implantação de biodigestores, a etapa de decantação primária poderia ser suprimida com vantagens, não apenas para maior geração de biogás, mas também para aumento na eficiência do sistema, que poderia chegar a uma faixa de 90 a 95%.

A Tabela 11 apresenta o aumento possível na geração de biogás caso fosse inserido um reator anaeróbio antecedendo os processos aeróbios existentes nas ETEs Navegantes, Arvoredo e Ruben Berta. Nestas alternativas não foi considerada a geração de metano na digestão do lodo gerado na etapa aeróbia.

Tabela 11. Estimativa do aumento da geração de biogás com a inserção de uma etapa anaeróbia antecedendo os tratamentos aeróbios existentes.

ETE NAVEGANTES - CENÁRIO ATUAL (*)			
Parâmetros	Geração de biogás na biodigestão do lodo	Inclusão de reator anaeróbio precedendo o aeróbio	Aumento na geração de biogás
Geração de metano (tCO ₂ e/ano)	3.553,20	6.869,57	93,33%
Geração de metano (tCH ₄ /ano)	169,20	327,12	
Densidade metano (t/m ³)	0,0007168	0,0007168	
Vazão de metano (m ³ /h)	27,32	52,82	
Potencia (MW)	0,05	0,09	
Energia (MWh/dia)	1,02	1,97	

ETE NAVEGANTES - CENÁRIO FUTURO (**)			
Parâmetros	Geração de biogás na biodigestão do lodo	Inclusão de reator anaeróbio precedendo o aeróbio	Aumento na geração de biogás
Geração de metano (tCO ₂ e/ano)	9.952,28	17.047,03	71,29%
Geração de metano (tCH ₄ /ano)	473,92	811,76	
Densidade metano (t/m ³)	0,0007168	0,0007168	
Vazão de metano (m ³ /h)	76,52	131,07	
Potencia (MW)	0,14	0,23	
Energia (MWh/dia)	2,86	4,90	

ETE ARVOREDO - CENÁRIO ATUAL (*)			
Parâmetros	Geração de biogás na biodigestão do lodo	Inclusão de reator anaeróbio precedendo o aeróbio	Aumento na geração de biogás
Geração de metano (tCO ₂ e/ano)	65,31	110,61	69,37%
Geração de metano (tCH ₄ /ano)	3,11	5,27	
Densidade metano (t/m ³)	0,0007168	0,0007168	
Vazão de metano (m ³ /h)	0,50	0,85	
Potencia (MW)	0,00	0,00	
Energia (MWh/dia)	0,02	0,03	

(*) Cenário atual: vazões tratadas atualmente; (**) Cenário futuro: utilização da capacidade total das ETE's.

ETE ARVOREDO - CENÁRIO FUTURO (*)			
Parâmetros	Geração de biogás na biodigestão do lodo	Inclusão de reator anaeróbio precedendo o aeróbio	Aumento na geração de biogás
Geração de metano (tCO ₂ e/ano)	324,77	552,28	70,05%
Geração de metano (tCH ₄ /ano)	15,47	26,30	
Densidade metano (t/m ³)	0,0007168	0,0007168	
Vazão de metano (m ³ /h)	2,50	4,25	
Potencia (MW)	0,00	0,01	
Energia (MWh/dia)	0,09	0,16	

ETE RUBEN BERTA - CENÁRIO ATUAL (*)			
Parâmetros	Geração de biogás na biodigestão do lodo	Inclusão de reator anaeróbio precedendo o aeróbio	Aumento na geração de biogás
Geração de metano (tCO ₂ e/ano)	121,74	280,44	130,36%
Geração de metano (tCH ₄ /ano)	5,80	13,35	
Densidade metano (t/m ³)	0,0007168	0,0007168	
Vazão de metano (m ³ /h)	0,94	2,16	
Potencia (MW)	0,00	0,00	
Energia (MWh/dia)	0,03	0,08	

ETE RUBEN BERTA - CENÁRIO FUTURO (*)			
Parâmetros	Geração de biogás na biodigestão do lodo	Inclusão de reator anaeróbio precedendo o aeróbio	Aumento na geração de biogás
Geração de metano (tCO ₂ e/ano)	847,99	1.960,19	131,16%
Geração de metano (tCH ₄ /ano)	40,38	93,34	
Densidade metano (t/m ³)	0,0007168	0,0007168	
Vazão de metano (m ³ /h)	6,52	15,07	
Potencia (MW)	0,01	0,03	
Energia (MWh/dia)	0,24	0,56	

(*) Cenário atual: vazões tratadas atualmente; (**) Cenário futuro: utilização da capacidade total das ETE's.

Considerando o consumo médio de 400KWh/habitante.ano, a energia não aproveitada no cenário atual da ETE Navegantes (1,02 MWh/dia) seria suficiente para suprir as necessidades de energia elétrica de 919 habitantes e, considerando-se a inclusão de um reator anaeróbio para a vazão atual de operação (856,8m³/h de esgoto), 1.777 habitantes poderiam ser atendidos. Para o cenário futuro, onde a vazão de esgotos chegará a 2.397,6 m³/h, com o tratamento atual, 2.575 habitantes poderiam ser atendidos e, caso fossem implantados reatores anaeróbios, este montante chegaria a 4.410 habitantes.

O esgoto que não é tratado atualmente e que representa aproximadamente 80% do total coletado, teria potencial energético para suprir a demanda de eletricidade de 11.762 habitantes. Isto considerando concentrações diluídas, pois o esgoto é misturado às águas pluviais. Com esgoto coletado adequadamente, separado das águas de chuva, este potencial poderia ser duplicado.

Nas ETEs que já operam com sistemas anaeróbios de lagoas de estabilização (ETEs Belem Novo, Ipanema, Nova Restinga e Lami) uma possibilidade para a coleta e aproveitamento do biogás gerado seria a cobertura destas lagoas com lonas plásticas especialmente desenvolvidas para biodigestores, com extração forçada de biogás e armazenamento do mesmo em gasômetros.

Os sistema de extração de biogás e armazenamento em gasômetros também poderiam ser aplicados para os sistemas de tratamento com reatores anaeróbios de fluxo ascendente existentes nas ETEs Bosque e Esmeralda.

A Tabela 5 apresenta o número estimado de habitantes que poderiam ser atendidos em suas demandas anuais de eletricidade, caso o metano gerado nas ETEs existentes fosse aproveitado para geração de energia elétrica.

Dentre as várias formas tecnicamente viáveis para aproveitamento do biogás, as que melhor se aplicam ao potencial das ETEs de Porto Alegre são: a geração de energia elétricas (por microturbinas ou por motores ciclo Otto), a iluminação a gás e a utilização para secagem e desinfecção do lodo gerado em ETEs aeróbias.

Convém ressaltar que a tecnologia para iluminação a biogás ainda encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo atualmente aplicada apenas em escala piloto.

No entanto, para condomínios ou praças públicas próximos às ETEs, por exemplo, poderiam ser implantados postes a biogás.

Tabela 12. Comparação da energia disponível nos esgotos com o consumo de energia por habitante

ETE	NAVEGANTES			BELÉM NOVO		BOSQUE		ARVOREDO		REBEM BERTA	
Tipo de tratamento	Lodo Ativado com Aeração Prolongada			Lagoa de estabilização anaeróbia/aeróbia		UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente)		Lodo Ativado com Aeração Prolongada		Valos de Oxidação	
VAZÕES DE EFLUENTES UTILIZADAS PARA CÁLCULO	Vazão de operação: 856,8 m ³ /h	Capacidade Total: 1.598m ³ /h	Ampliação prevista: 2.397,6 m ³ /h	Vazão de operação: 73,8 m ³ /h	Capacidade total: 216m ³ /h	Vazão de operação: 18m ³ /h	Capacidade total: 26,4m ³ /h	Vazão de operação: 11,8m ³ /h	Capacidade de total: 58,68m ³ /h	Vazão de operação: 22m ³ /h	Capacidade total: 153m ³ /h
Nº. de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás com o cenário atual de tratamento	919	1.716	2.575	293	111	42	62	17	84	31	219
Nº. de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás com o implementações nos sistemas para potencializar a geração de biogás	2.575		4.411								

ETE	ESMERALDA		IPANEMA		NOVA RESTINGA		LAMI		EFLUENTES NÃO TRATADOS
Tipo de tratamento	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)		Lagoas de estabilização - sistema australiano (anaeróbia, facultativa e de maturação)		Lagoas australiana e com plantas		Lagoas australianas		Hipótese: tratamento anaeróbio
VAZÕES DE EFLUENTES UTILIZADAS PARA CÁLCULO	Vazão de operação: 5,25m ³ /h	Capacidade total: 20,9m ³ /h	Vazão de operação: 403,2m ³ /h	Capacidade total: 2160m ³ /h	Vazão de operação: 19,44 m ³ /h	Capacidade total: 25,2m ³ /h	Vazão de operação: 34,92 m ³ /h	Capacidade de total: 108m ³ /h	Vazão total: 5.670m ³ /h
Nº. de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás com o cenário atual de tratamento	23	92	367	1.967	55	72	52	160	11.590
Nº. de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás com o implementações nos sistemas para potencializar a geração de biogás									

Tabela 13. Estimativa de investimentos para cobertura das lagoas anaeróbias existentes , captação do biogás e geração de energia elétrica.

(*) Taxa cambial considerada: US\$ 1,00 = R\$1,80

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO - ALTERNATIVA 2 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES E GERAÇÃO DE ENERGIA		
Etapas de Investimento	Bosque	Esmeralda
Projeto executivo	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00
Registro do projeto para créditos de carbono	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação - sistemas de captação de biogás e geração de energia elétrica	R\$ 23.550,00	R\$ 23.550,00
TOTAL	R\$ 273.550,00	R\$ 273.550,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 2 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES E GERAÇÃO DE ENERGIA		
Tipo de Manutenção	Bosque	Esmeralda
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 1.177,50	R\$ 1.177,50
Salários para operação	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	-	-
Eletricidade (considerando o custo de R\$247,56 / MWh, e consumo de 0,02KWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/dia por 360 dias; ano)	R\$ 69,30	R\$ 69,30
TOTAL	R\$ 66.246,80	R\$ 66.246,80

Tabela 14. Estimativa de investimentos para coleta de biogás em reatores anaeróbios existentes e geração de energia elétrica.

ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTO - ETE NAVEGANTES			
Etapas de Investimento	Microturbinas	Motogeradores	Secagem de Lodo(*)
Projeto executivo	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00	R\$ 120.000,00
Registro do projeto para créditos de carbono	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação	R\$ 450.000,00	R\$ 510.000,00	R\$ 350.000,00
TOTAL	R\$ 770.000,00	R\$ 830.000,00	R\$ 670.000,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 1 - COBERTURA DE LAGOAS ANAERÓBIAS E INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE COLETA DE BIOGÁS			
Tipo de Manutenção	Microturbinas	Motogeradores	Secagem de Lodo (*)
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 2.250,00	R\$ 2.250,00	R\$ 1.750,00
Salários para operação	R\$ 32.500,00	R\$ 32.500,00	R\$ 32.500,00
Gerenciamento e administração	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
Eletricidade (considerando o custo de R\$247,56 / MWh, e consumo de 0,02KWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/dia por 360 dias;ano)	R\$ 2.656,54	R\$ 2.656,54	R\$ 2.656,54
TOTAL	R\$ 202.406,54	R\$ 202.706,54	R\$ 201.906,54

(*) Considerando o lodo já centrifugado

Ressalta-se que para as ETEs, a viabilidade econômica da implantação da alternativa de aproveitamento energético do biogás não é um investimento atraente, considerando-se apenas o retorno financeiro obtido das receitas com a venda e/ou economia de energia. No entanto, considerando outros fatores, como a melhoria dos processos de tratamento e economias com saúde pública em decorrência disto, a situação é bem diferente.

Outro fator importante é que, para ETEs já existentes, alterações apresentam custos elevados, mas no caso de futuras ETEs a serem construídas, caso se incorpore no projeto inicial o reaproveitamento do biogás, os custos de projeto e implantação ficarão reduzidos, podendo apresentar alternativa de investimento mais viável que a reforma de ETEs existentes.

No caso da ETE de Navegantes, para a qual está prevista uma ampliação significativa, deve-se pensar na inclusão de um sistema para reaproveitamento do biogás proveniente da etapa anaeróbia de tratamento do lodo gerado no processo de lodos ativados. Conforme demonstrado na Tabela 5, quando esta ETE for ampliada, o biogás extraído poderá suprir a demanda de energia elétrica de 4.411 habitantes.

Quanto à inclusão de projetos de MDL para geração de créditos de carbono, o mesmo só é viável se várias ETEs forem inseridas em um programa de atividades, diluindo assim os custos de projeto e validação dos créditos. Caso contrário, os créditos gerados não seriam suficientes para viabilizar o empreendimento.

Investimentos na segregação de águas pluviais das redes de esgoto devem ser considerados também, pois o aumento da concentração de matéria orgânica degradável (DBO) pode aumentar consideravelmente a quantidade de biogás a ser gerado e melhorar a atratividade do investimento em sistemas de geração de energia a partir do biogás.

É muito importante que vantagens indiretas e não mensuráveis referentes às melhorias ambientais e de qualidade de vida sejam considerados na análise de viabilidade dos investimentos.

Em Porto Alegre serão construídas ainda duas grandes estações de tratamento de esgotos: Sarandi e Serraria, ambas com tratamento anaeróbio em reator UASB, seguido de processo de lodos ativados com aeração prolongada.

A ETE Sarandi operará inicialmente com 478,8 m³/h, já sendo prevista uma ampliação futura para 2.979,36 m³/h.

A ETE Serraria terá capacidade para tratamento de 9.756 m³/h de esgotos, sendo a maior de Porto Alegre.

A Tabela 15 apresenta o potencial de geração de energia elétrica e de créditos de carbono por estas duas ETEs. Convém ressaltar que o potencial para geração de energia, especialmente na ETE Serraria é muito atrativo, além do que a geração de 64.893 créditos de carbono anuais já possibilitaria um projeto de MDL.

Estas ETEs, em conjunto com as outras menores, poderiam ser inseridas em um programa de atividades no âmbito do MDL, o que potencializaria a geração de créditos de carbono e tornaria os investimentos em projetos para aproveitamento energético muito mais atrativos, devido à geração de receitas com a venda desses certificados de redução de emissões de GEE.

ETE	SARANDI		SERRARIA
Tipo de tratamento	UASB + aeração prolongada		UASB + aeração prolongada
Observações importantes	1ª Etapa	Ampliação futura	
Vazão m ³ /h	478,80	2.979,36	9.756,00
Bww,y (tCO ₂ e/ano)	3.184,78	19.817,43	64.892,92
Bww,y (tCH ₄ /ano)	151,66	943,69	3.090,14
Densidade Metano (t/ m ³)	0,00	0,00	0,00
Vazão de Metano (m ³ /h)	24,49	152,38	498,96
Potência (MW)	0,04	0,27	0,89
Energia (MW h/dia)	0,92	5,70	18,66
Consumo por habitantes/ ano (base: 400 KW/h habitante/ ano)	824	5.128	16.790

6.2. Estudo de Caso para o município de Betim

6.2.1. Caracterização do município

O município de Betim possui uma área de 345.99 km² uma população de cerca de 437.883 habitantes e está inserida na Bacia Hidrográfica do Paraopeba e sub-bacia do Rio Betim.

A COPASA é a empresa responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de Betim.

A rede coletora atual opera com 776.253 m³/mês de esgotos, o que corresponde a 72,86% do total gerado no município.

Atualmente encontra-se em fase final de implantação uma estação de tratamento de esgoto central, localizada à margem direita do Ribeirão Betim, a qual terá capacidade para tratamento de 513,79 L/s, atendendo a uma população de 371.654 habitantes. Na segunda fase de implantação, prevista para daqui a 10 anos, esta ETE será ampliada para atender a uma população de 528.776 habitantes, com capacidade total de tratamento para 724,34 L/s.

Na ETE Central será utilizada uma conjunção de técnicas de tratamentos anaeróbios e aeróbios, sendo a mesma constituída por reator anaeróbio, seguido de lodos ativados convencionais e desidratação mecânica do lodo.

A carga de DBO estimada na entrada da nova ETE é de 5.760 kg DBO/dia e a eficiência de remoção projetada é superior a 90%.

A Figura 27 apresenta a vista geral da ETE em construção.



Figura 27: Vista geral da ETE Central em construção. Fonte: COPASA

6.2.2. Potencial de geração de metano na ETE Central

Para o cálculo do potencial de geração de biogás nas etapas de tratamento anaeróbias, foram utilizadas as metodologias sugeridas nas referências: “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 – Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge” e “UNFCCC/CCNUCC – CDM Executive Board – III H./Version 13: Methane Recovery in Wastewater Treatment”.

Com as equações das referências acima, foram obtidos os potenciais de geração de biogás e de metano contido no mesmo para a nova ETE do município de Betim. Os cálculos foram feitos para o metano gerado a partir dos reatores anaeróbios, para a etapa de tratamento do lodo proveniente do sistema de lodos ativados e para os efluentes tratados e lançados em corpos d’água. Para este últimos, embora a maior parte da matéria orgânica e geração de metano tenham ocorrido nas etapas de tratamento, o efluente ainda contém alguma concentração de compostos orgânicos que será decomposta nos corpos d’água receptores, por fenômenos de auto-depuração e diluição. O metano gerado nesta última etapa não pode ser recuperado para aproveitamento, no entanto, sua emissão é bastante reduzida pela utilização de técnicas anaeróbias e aeróbias de tratamento de efluentes, como ocorrerá na ETE Central.

A Tabela a seguir apresenta o potencial de geração de metano na ETE e a Tabela 2 apresenta o potencial de geração de metano acrescentando ao processo uma etapa de tratamento anaeróbio para o lodo gerado no sistema de lodos ativados.

Tabela 16. Potencial de Geração de Biogás na ETE Central de Betim

ETE	CENTRAL	
Tipo de tratamento	RAFA seguido de lodo ativado	
Vazões de efluentes utilizadas para cálculo	Vazão de operação: 1.850m ³ /h	Ampliação prevista: 2.608 m ³ /h
Geração de CO ₂ equivalente a partir do tratamento do lodo (t CO ₂ e/ano)	17.683	24.928
Geração de metano a partir do tratamento do lodo (t CH ₄ /ano)	842,05	1.187,06
Vazão total de metano (m ³ /h)	135,96	191,67
Potência (MW)	0,243	0,343
Energia (MWh/dia)	5,084	7,167
Nº de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás do tratamento de lodo	4.575	6.450

Tabela 17. Potencial total de geração de metano a partir do tratamento dos lodos da ETE

ETE	CENTRAL	
Tipo de tratamento	RAFA seguido de lodo ativado	
Vazões de efluentes utilizadas para cálculo	Vazão de operação: 1.850m ³ /h	Ampliação prevista: 2.608 m ³ /h
Geração de CO ₂ equivalente a partir do tratamento do lodo (t CO ₂ e/ano)	7.106,4	10.294,68
Geração de metano a partir do tratamento do lodo (t CH ₄ /ano)	338,4	490,22
Vazão total de metano (m ³ /h)	54,64	79,16
Potência (MW)	0,098	0,142
Energia (MWh/dia)	5,043	2,960
Nº de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás do tratamento de lodo	1.839	2.664

6.2.3. Alterações possíveis na ETE Central para aumentar a produção de biogás

Conforme apresentado na Tabela 2, uma possível alteração no projeto da ETE Central, visando aumentar a produção de biogás, seria a inclusão de uma etapa de tratamento anaeróbio para o lodo proveniente do sistema de lagoas ativadas.

Convém ressaltar, no entanto, que os cálculos apresentados para o incremento possível na produção de biogás e geração de energia foram baseados em dados de projeto e precisam ser melhor avaliados após a entrada da ETE em operação, com a utilização de dados reais de operação.

Considerando o consumo médio de 400KWh/habitante.ano, a energia não aproveitada proveniente do tratamento do lodo (2,043 MWh/dia) seria suficiente para suprir as necessidades de energia elétrica de 1.839 habitantes. Para o cenário futuro, onde a vazão de esgotos chegará a 2.608 m³/h, 2.644 habitantes poderiam ser atendidos.

O aproveitamento do biogás gerado no tratamento anaeróbio do efluente, na primeira etapa da ETE, seria suficiente para suprir a demanda energética de 4.575 habitantes. Somando-se o potencial com o aproveitamento do biogás do tratamento de lodo, seria possível atender a 6.414 pessoas, representando portanto um aumento de 40% em relação à situação atual do projeto.

A ETE Central já possui o melhor tipo de sistema para promover elevada eficiência de remoção de compostos orgânicos do esgoto, além de possibilitar a captação e o aproveitamento energético do biogás. No entanto, ainda seria possível aumentar a produção de biogás inserindo uma etapa de digestão anaeróbia do lodo.

As Tabelas 18 e 19 apresentam as estimativas de investimento para duas alternativas: 1) aproveitamento do biogás dos reatores anaeróbios constantes no projeto atual e 2) inserção de etapa anaeróbia para digestão do lodo proveniente do sistema de lodos ativados.

Tabela 18. Estimativa de investimentos para implantação de sistema de coleta de biogás e geração de energia através de microturbinas, para o projeto atual da ETE Central.

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO - ALTERNATIVA 1 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES E GERAÇÃO DE ENERGIA	
Etapas de Investimento	ETE Central
Projeto executivo	R\$ 150.000,00
Registro do projeto para créditos de carbono	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação - sistemas de captação de biogás e geração de energia elétrica	R\$ 1.590.000,00
TOTAL	R\$ 1.940.000,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 2 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES E GERAÇÃO DE ENERGIA	
Etapas de Investimento	ETE Central
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 79.500,00
Salários para operação	R\$ 65.000,00
Gerenciamento e administração	R\$ 130.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	-
Eletricidade (considerando o custo de R\$247,56 / MWh, e consumo de 0,02KWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/dia por 360 dias;ano)	R\$ 2.337,41
TOTAL	R\$ 276.837,41

Tabela 19. Estimativa de investimentos para implantação de sistema de coleta de biogás e geração de energia através de microturbinas, para o projeto atual da ETE Central acrescido de biodigestores para lodo.

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO - ALTERNATIVA 2 - IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES PARA LODO, COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES E NOS NOVOS BIODIGESTORES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	
Etapas de Investimento	ETE Central
Projeto executivo	R\$ 200.000,00
Registro do projeto para créditos de carbono	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação - sistemas de captação de biogás e geração de energia elétrica	R\$ 12.650.000,00
TOTAL	R\$ 13.050.000,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 2 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES E GERAÇÃO DE ENERGIA	
Etapas de Investimento	ETE Central
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 632.500,00
Salários para operação	R\$ 65.000,00
Gerenciamento e administração	R\$ 130.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	-
Eletricidade (considerando o custo de R\$247,56 / MWh, e consumo de 0,02kWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/dia por 360 dias;ano)	R\$ 2.337,41
TOTAL	R\$ 829.837,41

Ressalta-se que para as ETEs, a viabilidade econômica da implantação da alternativa de aproveitamento energético do biogás não é um investimento atraente, considerando-se apenas o retorno financeiro obtido das receitas com a venda e/ou economia de energia. No entanto, considerando outros fatores, como a melhoria dos processos de tratamento e economias com saúde pública em decorrência disto, a situação é bem diferente.

No caso da ETE Central, que ainda está em fase de implantação, o momento é ideal para a inclusão da etapa de aproveitamento do biogás no processo.

Quanto à inclusão de projetos de MDL para geração de créditos de carbono, o mesmo só é viável se várias ETEs forem inseridas em um programa de atividades, diluindo assim os custos de projeto e validação dos créditos. Caso contrário, os créditos gerados não seriam suficientes para viabilizar o empreendimento, pois a quantidade de metano gerado em tratamentos de esgoto não é tão grande quanto à geração deste gás em aterros, por exemplo.

Investimentos na segregação de águas pluviais das redes de esgoto devem ser considerados também, pois o aumento da concentração de matéria orgânica degradável (DBO) pode aumentar consideravelmente a quantidade de biogás a ser gerado e melhorar a atratividade do investimento em sistemas de geração de energia a partir do biogás.

É muito importante que vantagens indiretas e não mensuráveis referentes às melhorias ambientais e de qualidade de vida sejam considerados na análise de viabilidade dos investimentos.

6.3. Estudo de Caso para o município de Manaus

6.3.1. Caracterização do município

O município de Manaus possui uma área de 11.401,058 km² e cerca de 1,73 milhões de habitantes (IBGE,2009) e está inserido na bacia hidrográfica do Rio Amazonas, cujos principais afluentes são os rios Negro e Solimões.

Em Manaus existe a peculiaridade de um grande número de pequenas comunidades isoladas, o que dificulta bastante a implantação de ETEs maiores.

Um exemplo disto é a comunidade RDS “Reserva de Desenvolvimento Sustentável” do Tupé, a qual é constituída por seis comunidades menores: Agrovila, Julião, Nossa Senhora do Livramento, Colônia Central, São João do Tupé e Tatu.

A comunidade está situada na margem esquerda do rio Negro e Lago Tupé, sendo limitada por praia, mata de igapó e terra firme. Suas residências estão à beira do lago ou agrupadas na pequena vila que está se estruturando nas proximidades da praia. A praia do Tupé foi construída por seus moradores para terem uma alternativa de renda. A ocupação demográfica da área vem se dando ao longo de aproximadamente 40 anos.

A área total da RDS do Tupé é de 11. 973 hectares, sendo habitada por uma população de 2.508 habitantes distribuídos em 836 famílias. A densidade populacional é em torno de 21 habitantes/km² na Reserva.

A comunidade Livramento possui aproximadamente 969 moradores, apresentando a maior densidade populacional com 8,09 habitantes/ km², e comunidade Tatu apresenta a menor densidade com 0,65146 habitantes/ km², possuindo aproximadamente 78 moradores.

A comunidade São João do Tupé compreende 31 famílias e a comunidade Colônia Central, 24.

As residências das comunidades da RDS do Tupé variam desde as totalmente de madeiras, as de alvenarias, de materiais mistos (alvenaria e madeira, ou madeira e palha), até as suspensas por “pernas-mancas” e as residências do tipo flutuantes.

Em relação às condições de saneamento, algumas residências não possuem sanitários, e quando possuem, estes ficam no quintal das casas, são conhecidos como “buraco negro”.

As residências da RDS do Tupé não possuem local próprio para o banho, atividade que na maioria das vezes é feita diretamente no igarapé ou com água de poço e cacimba.

A Águas do Amazonas é a empresa responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de Manaus.

A cidade possui um sistema de tratamento de esgotos descentralizado, composto por 50 ETEs de diferentes tipos de tratamento, tais como: lagoas de estabilização anaeróbias, fossas sépticas (fossas-filtro), sistemas de lodos ativados, sistemas mistos compostos por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e lodos ativados, valos de oxidação e um sistema “Deep Shaft”, que consiste num tratamento aeróbio com alta taxa de transferência de oxigênio.

A seguir são apresentadas algumas ETEs de Manaus.



Figura 28: sistema de lodos ativados
Fonte: Instituto AGIR Sustentável



Figura 29: reatores anaeróbios
Fonte Instituto AGIR Sustentável



Figura 30: lagoas de estabilização com vegetação. Fonte: Instituto AGIR Sustentável

Nestas condições, é difícil imaginar um sistema de tratamento de esgotos convencional e centralizado, Porém, é possível instalar pequenos reatores anaeróbios nas residências ou grupos de residências, com baixo custo e alta eficiência no tratamento dos esgotos. O aproveitamento do biogás nestes sistemas é possível, porém a quantidade gerada é muito pequena para viabilizar economicamente a implantação, além de ser insuficiente para suprir a demanda de energia de uma família.

No entanto, a instalação de sistemas de tratamento de esgotos e purificação de água potável deve ser incentivada nestas comunidades, independentemente de viabilidade financeira, pois é uma questão de saúde pública.

6.3.2. Potencial de geração de metano em algumas ETEs de Manaus

Para o cálculo do potencial de geração de biogás em nas etapas de tratamento anaeróbias, foram utilizadas as metodologias sugeridas nas referências: “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 – Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge” e “UNFCCC/CCNUCC – CDM Executive Board – III H./Version 13: Methane Recovery in Wastewater Treatment”.

Com as equações das referências acima, foram obtidos os potenciais de geração de biogás e de metano contido no mesmo para quatro ETEs da cidade de Manaus. Os cálculos foram feitos para o metano gerado a partir dos reatores anaeróbios, para a etapa de tratamento do lodo proveniente do sistema de lodos ativados e demais sistemas aeróbios. Convém ressaltar que esta etapa de tratamento do lodo proveniente de tratamentos aeróbios não existe nos sistemas atuais, tratando-se de uma alteração sugerida para aumentar a produção de biogás. Os cálculos para Manaus são estimativos, pois a concessionária local Águas do Amazonas não forneceu dados completos para este estudo.

A Tabela 20 apresenta o potencial de geração de metano em ETEs representativas de quatro sistemas de tratamento de efluentes e em comunidades da RDS Tupé.

TIPO DE TRATAMENTO	LAGOA ANAERÓBIA	FOSSAS-FILTRO	UASB - LODOS ATIVADOS	DEEP SHAFT	COMUNIDADE DO LIVRAMENTO	COMUNIDADE S. JOÃO
Vazão (m ³ /h)	589,30	102,80	71,95	366,50	6,06	0,78
Geração de CO ₂ equivalente a partir do esgoto (t CO ₂ e/ano)	3.618,3	631,2	441,8	2.250,3	37,2	4,8
Geração de metano a partir do esgoto (t CH ₄ /ano)	172,30	30,06	21,04	107,16	1,770712	0,226593
Densidade metano (t/m ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000717	0,000717
Vazão de metano (m ³ /h)	27,82	4,85	3,40	17,30	0,285914	0,036588
Potência (MW)	0,0498	0,0087	0,0061	0,0310	0,000512	0,000066
Energia (MWh/dia)	1,040	0,1815	0,1270	0,6469	0,010690	0,001368
Nº de habitantes que poderiam ser supridos com energia elétrica proveniente do biogás do tratamento de esgoto	936	163	114	582	10	1

6.3.2.1. Alterações possíveis nas ETEs para aumentar a produção de biogás

Conforme apresentado na Tabela 1, uma possível alteração, visando aumentar a produção de biogás, seria a inclusão de uma etapa de tratamento anaeróbio para o lodo proveniente do sistema de lodos ativados.

Convém ressaltar, no entanto, que os cálculos apresentados para o incremento possível na produção de biogás e geração de energia foram baseados em dados estimados e precisam ser melhor avaliados.

Considerando o consumo médio de 400KWh/habitante.ano, a energia não aproveitada proveniente do tratamento do lodo (0,64 MWh/dia) do sistema *Deep Shaft*, por exemplo, seria suficiente para suprir as necessidades de energia elétrica de 582 habitantes.

O aproveitamento do biogás gerado em uma lagoa anaeróbia, como a lagoa considerada neste estudo, seria suficiente para suprir a demanda energética de 936 habitantes.

As Tabelas 21, 22 e 23 apresentam estimativas de investimento implantação de sistemas de coleta e aproveitamento do biogás nas quatro ETEs existentes consideradas no estudo de caso de Manaus.

Tabela 21. Estimativa de custos de implantação de coleta e aproveitamento do biogás de reator anaeróbio existente, com geração de energia elétrica.

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO - ALTERNATIVA 1 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES (UASB) E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Etapas de Investimento	
Projeto executivo	R\$ 50.000,00
Registro do projeto para créditos de carbono	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação - sistemas de captação de biogás e geração de energia elétrica	R\$ 477.000,00
TOTAL	R\$ 727.000,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 1 - COLETA DE BIOGÁS DOS REATORES ANAERÓBIOS EXISTENTES (UASB) E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Etapas de Investimento	
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 23.850,00
Salários para operação	R\$ 23.850,00
Gerenciamento e administração	R\$ 78.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	-
Eletricidade (considerando o custo de R\$247,56 / MWh, e consumo de 0,02KWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/dia por 360 dias;ano)	R\$ 1.190,13
TOTAL	R\$ 129.040,13

Tabela 22. Estimativa de custos de implantação de coleta e aproveitamento do biogás em lagoa anaeróbia existente, com geração de energia elétrica.

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO - ALTERNATIVA 2 - COBERTURA DE LAGOAS ANAERÓBIAS, IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA	
Etapas de Investimento	
Projeto executivo	R\$ 50.000,00
Registro do projeto para créditos de carbono	R\$ 200.000,00
Estimativa para implantação - sistemas de captação de biogás e geração de energia elétrica	R\$ 4.500.000,00
TOTAL	R\$ 4.750.000,00

CUSTOS ANUAIS DE MANUTENÇÃO - ALTERNATIVA 2 - COBERTURA DE LAGOAS ANAERÓBIAS, IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE COLETA E APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA	
Etapas de Investimento	
Manutenção e operação do sistema de extração (5% do investimento)	R\$ 225.000,00
Salários para operação	R\$ 65.000,00
Gerenciamento e administração	R\$ 130.000,00
Licenças ambientais, manutenção de instrumentos e outros serviços	-
Eletricidade (considerando o custo de R\$247,56 / MWh, e consumo de 0,02KWh/m ³ de biogás extraído; operação 24 horas/dia por 360 dias;ano)	R\$ 2.337,41
TOTAL	R\$ 422.337,41

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE REATORES ANAERÓBIOS EM RESIDÊNCIAS NA RDS DO TUPÉ	
Etapas de Investimento	
Projeto executivo	Incluso no fornecimento do sistema
Registro do projeto para créditos de carbono	-
Estimativa para implantação - sistemas de captação de biogás e geração de energia elétrica	R\$ 2.000,00
TOTAL	R\$ 2.000,00

Ressalta-se que para as ETEs, a viabilidade econômica da implantação da alternativa de aproveitamento energético do biogás não é um investimento atraente, considerando-se apenas o retorno financeiro obtido das receitas com a venda e/ou economia de energia. No entanto, considerando outros fatores, como a melhoria dos processos de tratamento e economias com saúde pública em decorrência disto, especialmente em uma região carente, como nas comunidades Redes do Tupé, a situação é bem diferente.

Quanto à inclusão de projetos de MDL para geração de créditos de carbono, o mesmo só é viável se várias ETEs forem inseridas em um programa de atividades, diluindo assim os custos de projeto e validação dos créditos. Caso contrário, os créditos gerados não seriam suficientes para viabilizar o empreendimento, pois a quantidade de metano gerado em tratamentos de esgoto não é tão grande quanto à geração deste gás em aterros, por exemplo.

Investimentos na segregação de águas pluviais das redes de esgoto devem ser considerados também, pois o aumento da concentração de matéria orgânica degradável (DBO) pode aumentar consideravelmente a quantidade de biogás a ser gerado e melhorar a atratividade do investimento em sistemas de geração de energia a partir do biogás.

É muito importante que vantagens indiretas e não mensuráveis referentes às melhorias ambientais e de qualidade de vida sejam considerados na análise de viabilidade dos investimentos.

CAPÍTULO 7. PASSO A PASSO

Este capítulo tem por objetivo fornecer aos governos locais orientações básicas, apresentadas passo a passo, para que possam identificar o potencial para implantação de projetos de aproveitamento do biogás gerado em estações de tratamento de esgoto.

7.1. Primeiro Passo: Verificação das condições técnicas, operacionais e geográficas da ETE

Para que seja possível a implantação de sistemas para aproveitamento do biogás gerado em uma estação de tratamento de esgoto, é fundamental que ela atenda alguns requisitos básicos, a saber:

a) Quanto à localização da ETE e ao que existe em seu entorno

Para se iniciar uma análise do potencial de aproveitamento energético do biogás, é muito importante que se conheça as atividades existentes no entorno da ETE (considerando um raio de até aproximadamente 1 km, para que não haja muita perda ou gastos no transporte da energia ou do biogás) e suas demandas energéticas, que podem ser de energia elétrica, calor ou vapor para alimentar processos industriais.

Estas informações são fundamentais para se verificar a possibilidade de uso direto e/ou venda da energia que venha a ser produzida a partir do biogás gerado na ETE.

b) Quanto ao potencial de geração de biogás pela ETE

O potencial para geração de biogás deve ser avaliado em função do tipo de tratamento de esgotos existente e da possibilidade de implantação de etapas de processo que potencializem a geração do gás, sem reduzir a eficiência do processo.

Assim, estações de tratamento aeróbias, onde não ocorre a geração de biogás, não devem ser substituídas por processos anaeróbios, onde ocorre a geração do mesmo, pois a eficiência dos processos aeróbios na remoção de matéria orgânica do efluente é usualmente maior que em processos anaeróbios.

Nestes casos, recomenda-se a avaliação de duas possibilidades para geração e aproveitamento de metano:

- Inserção de uma etapa de tratamento anaeróbia (um reator de fluxo ascendente, por exemplo), precedendo o processo aeróbio (usualmente lodos ativados). Esta combinação dos dois tipos de tratamento, além de aumentar a eficiência global na remoção de matéria orgânica, possibilita a geração de metano;
- Inserção de uma etapa de digestão anaeróbia para o lodo gerado em processos aeróbios (lodos ativados, por exemplo), que ainda contém matéria orgânica para ser digerida.

c) Quanto à carga orgânica dos efluentes gerados

Quanto maior a carga orgânica presente no esgoto, maior será o potencial para geração de biogás.

Em esgotos domésticos urbanos usualmente ocorre uma grande diluição por águas de chuva, que são adicionadas aos esgotos devido à quase inexistência de segregação de redes. É usual nas residências e mesmo nos sistemas de coleta públicos a mistura destes dois efluentes.

O estímulo à segregação de redes e à implantação de coletores tipo “separadores absolutos” pode elevar o potencial para geração de biogás. Esta medida, apesar de exigir investimentos elevados, poderia também contribuir significativamente para a melhoria da qualidade das águas dos rios, especialmente os que atravessam grandes centros urbanos, pois muitas vezes os efluentes misturados às águas pluviais são lançados diretamente nestes corpos d’água, sem passar por estações de tratamento.

A instalação de “separadores absolutos” permite que o esgoto e as águas pluviais sejam coletados em redes distintas, e que apenas as águas pluviais sejam encaminhadas para os corpos d’água receptores, enquanto os esgotos devem ser encaminhados para estações de tratamento.

Esgotos não domiciliares ou industriais podem ser coletados juntamente com os esgotos domésticos, desde que atendam aos padrões de lançamento estipulados pela empresa de saneamento, de acordo com as disponibilidades de recebimento das ETEs. Alguns tipos de efluentes, como os provenientes de frigoríficos, abatedouros, etc, mesmo após tratamento no estabelecimento industrial, ainda contêm elevada carga orgânica e deveriam ser coletados pelas redes de esgoto.

Uma ressalva importante quanto à coleta de efluentes industriais é que os mesmos não podem conter substâncias tóxicas aos microorganismos dos sistemas de tratamento de esgotos, pois isto poderia colocar em risco o tratamento da totalidade dos esgotos de uma cidade.

d) Quanto ao licenciamento ambiental de projetos de extração de biogás e aproveitamento energético

O licenciamento ambiental é uma etapa importante e deve ser prevista no cronograma de implantação do projeto.

Usualmente, os projetos de extração de biogás são implantados em sistemas de tratamento de esgotos que já possuem a Licença de Operação (LO) e, para a obtenção desta, já realizaram Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA / RIMA).

Nesta situação, com a ETE já devidamente licenciada, o projeto de extração de biogás precisará de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) para os novos equipamentos.

Normalmente não há necessidade de EIA/RIMA para este licenciamento, pois o mesmo é uma melhoria ambiental. No entanto, dependendo da sensibilidade da área e do entorno da implantação do projeto de extração e do tipo de aproveitamento do biogás que vá ser adotado, o órgão ambiental competente poderá exigir estudos ambientais adicionais.

Além disto, caso haja necessidade de remoção de vegetação arbórea nativa ou intervenção em áreas de preservação permanentes (APP), será necessário obter previamente do órgão ambiental uma autorização para corte de árvores isoladas. Esta autorização é emitida juntamente com um termo de compromisso para a recuperação ambiental. Como regra geral, para cada árvore cortada é necessário fazer o plantio compensatório de 25 mudas de espécies nativas da região.

Para o caso específico de produção de energia a partir do biogás, onde redes de distribuição sejam instaladas, será necessário também obter uma licença da ANEEL e da concessionária local para distribuição. No entanto, como a quantidade de biogás gerada em ETEs é substancialmente menor que em outros sistemas (como em aterros, por exemplo), deve-se priorizar a utilização da energia na própria ETE ou em suas proximidades, evitando-se a necessidade de utilização da rede de distribuição.

Em cada etapa de licenciamento haverá condicionantes que devem ser cumpridas para que a licença não seja invalidada ou “caçada”. Usualmente estas condicionantes são relacionadas ao cumprimento da legislação ambiental vigente, especialmente daquelas relacionadas ao controle da poluição, como monitoramento dos efluentes líquidos e gasosos.

O tempo necessário para obter as licenças (LP, LI e LO) deve ser considerado no cronograma de implantação do projeto. Para cada etapa do licenciamento, leva-se em média de 30 a 60 dias para obtenção da licença. Os documentos requeridos para se dar entrada no processo de licenciamento são: 1) plantas do projeto (fluxograma de engenharia, lay out) contendo a localização dos equipamentos, a área projetada para os mesmos, a área total do terreno e áreas de atividade ao ar livre; 2) MCE (Memorial de Caracterização do Empreendimento) ou documento similar, que é um formulário padrão contendo os principais dados do projeto, tais como listagem de equipamentos, potências e capacidades produtivas, balanço hídrico e de energia, dados sobre destinação de resíduos, entre outros; 3) formulário padrão para solicitação de licenças.

Outros documentos poderão ser solicitados pelo órgão ambiental, dependendo da localização do empreendimento.

7.2. Segundo Passo: Cálculo da produção de biogás e do potencial de geração de energia pelo seu uso.

Para o cálculo do potencial de geração de biogás em estações de tratamento anaeróbias, podem ser utilizadas as metodologias sugeridas nas referências: “*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006 – Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge*” e “*UNFCCC/CCNUCC – CDM Executive Board – III H./Version 13: Methane Recovery in Wastewater Treatment*”.

- As equações utilizadas no presente estudo para os cálculos de geração potencial de metano e da quantidade de toneladas equivalentes de gás carbônico (CO₂) são apresentadas a seguir.

Convém ressaltar que algumas etapas dos cálculos foram simplificadas pois este trabalho não é um documento de projeto para fins de registro no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para o qual as metodologias utilizadas se destinam. Caso haja interesse em estimativas para esse fim, os cálculos deverão ser feitos conforme exigências da metodologia que será adotada.

Os cálculos apresentados nos estudos de caso contidos neste manual foram feitos de maneira bastante conservadora.

O cálculo de emissões equivalentes de CO₂ a partir do metano gerado no tratamento de efluentes sanitários é feita a partir da seguinte equação:

$$\text{Equação 1: } BE_{ww,y} = \sum Q_{ww,y} * COD_{remov,i,y} * MCF * B_{o,ww} * UF_{BL} * GWP_{CH_4}$$

Onde:

$BE_{ww,y}$ = emissões de metano no cenário de linha de base de tratamento de efluentes (tCO₂e);

$Q_{ww,y}$ = volume de efluente tratado no tratamento da linha de base, no ano y (m³);

$COD_{remov,i,y}$ = DQO removida pelo tratamento de efluentes i, no ano y (ton/m³), medida como a diferença entre a DQO na entrada e na saída do sistema de tratamento j;

$MCF_{ww,i}$ = fator de correção para o sistema de tratamento da linha de base (retirado da tabela III.H.I "IPCC default values for Methane Correction Factor (MCF)");

i = índice para cada tipo de sistema de tratamento da linha de base;

$B_{o,ww}$ = capacidade de produção de metano do efluente, kg CH₄/kg DQO (adotado menor valor IPCC = 0,25kg CH₄/kg DQO)

UF_{bl} = fator de correção para incertezas do modelo (0,94);

GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global para o metano (21).

O cálculo de emissões equivalentes de CO₂ a partir do metano gerado no tratamento de lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto é feito a partir da seguinte equação:

$$\text{Equação 2: } BE_{s,y} = \sum S_{j,bl,w} * MCF_{s,bl,j} * DOC_s * UF_{bl} * DOC_f * 16/12 * GWP_{CH_4}$$

Onde:

$BE_{s,y}$ = emissões dos sistemas de tratamento de lodo no cenário de linha de base, no ano y (tCO₂e);

$S_{j,bl,w}$ = quantidade de matéria em base seca tratada no sistema de tratamento de lodo do cenário da linha de base (ton);

j = índice para o sistema de tratamento da linha de base;

DOC_s = fração de matéria orgânica degradável no lodo, no ano y (base seca). Valor default adotado para lodos de esgoto doméstico: 0,5;

$MCF_{s,bl,j}$ = fator de correção de linha de base para tratamento de esgoto no sistema j (tabela III.H.I "IPCC default values for Methane Correction Factor (MCF)");

UF_{bl} = fator de correção para incertezas do modelo (0,94);

DOC_f = fração de matéria orgânica degradável convertida em biogás (valor default IPCC = 0,5);

F = fração de CH₄ no biogás (valor default IPCC = 0,5).

Para lodos submetidos a tratamento por processos de compostagem, as emissões de metano, em toneladas de CO₂ equivalente, foram calculadas utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{Equação 3: } BE_{s,y} = \sum S_{j,bl,y} * EF_{comp} * GWP_{CH_4}$$

Onde:

EF_{comp} = fator de emissão para compostagem de resíduo orgânico (tCH₄/ton resíduo tratado). Valor default IPCC = 0,01t CH₄/t de lodo tratado em base seca.

Emissões de metano a partir do esgoto tratado lançado em corpos d'água ou esgoto "in natura" lançado em corpos d'água

são calculadas com a seguinte equação:

$$\text{Equação 4: } BE_{ww,disch,y} = \sum Q_{ww,y} * GWP_{CH_4} * B_{o,ww} * UF_{bl} * COD_{ww,discharge,y} * MCF_{ww,bl,disch}$$

Onde:

$Q_{ww,y}$ = volume de efluente tratado descartado no ano y (m3);

U_{fbl} = fator de correção para incertezas do modelo (0,94);

$COD_{ww,disch,bl,y}$ = concentração de DQO do efluente tratado ou bruto, lançado em corpos d'água (t/m3);

$MCF_{ww,bl,discharge}$ = fator de correção do metano baseado no modo de descarga (tabela III.H.I "IPCC default values for Methane Correction Factor (MCF)")

Para a determinação da potência e energia foram utilizadas as seguintes expressões

$$\text{Equação 5: } P_x = \frac{Q_x \times PCI \times \eta}{860.000}$$

$$\text{Equação 6: } E = P \times Rend \times \text{Tempo de operação}$$

Onde:

P = potência disponível (MW);

PCI = Poder Calorífico Inferior do metano = 5.500 kcal/m³CH₄ (valor adotado para 50% de metano no biogás de aterro sanitário);

η = eficiência de motores = 28% = 0,28;

860.000 = conversão de kcal para MW;

E = energia disponível (MWh/dia);

Rend = rendimento de motores operando a plena carga = 87% = 0,87;

Tempo de Operação do motor = 24 (h/dia).

Assim, em função da vazão de metano, podem-se realizar os cálculos da potência (MW) e da energia (MWh/dia) disponíveis nos sistemas de tratamento de esgotos.

7.3. Terceiro Passo: Análise das alternativas tecnológicas para o aproveitamento do biogás

Para que as emissões de metano sejam reduzidas, além da queima do biogás em flares, como tem ocorrido na maioria dos locais onde ele é gerado e captado, existem outras possibilidades para sua queima e destruição que possibilitam o aproveitamento da energia química contida em suas moléculas, conforme já apresentado neste manual.

Quando o foco for a geração de energia elétrica por meio da queima do biogás em geradores ou microturbinas específicos ou adaptados para uso desse combustível, a energia gerada pode ser consumida para suprir demandas energéticas da própria ETE e, caso haja excedente, o mesmo pode ser comercializado para a rede de distribuição de eletricidade local ou utilizado diretamente nas proximidades da estação de tratamento, como em empresas, comunidades, etc.

Diante das tecnologias e ordens de grandeza de investimentos apresentados neste manual, as ETEs terão a oportunidade de analisar a viabilidade de aproveitamento do biogás que seja mais adequada às suas necessidades.

Vale ressaltar que independentemente do uso energético do biogás, deve-se sempre contemplar no projeto a instalação de um flare, para garantir a destruição do metano excedente ou nos casos de manutenção ou pane dos equipamentos, evitando suas emissões para atmosfera, bem como outros riscos para ETE.

7.4. Quarto Passo: Análise da viabilidade financeira do sistema para aproveitamento do Biogás

Na fase de avaliação das diversas possibilidades de aproveitamento do biogás, geralmente tem-se disponível apenas ordens de grandeza de investimentos, baseadas em experiência de consultores na implantação de projetos similares e em cotações preliminares dos equipamentos mais significativos para o projeto.

Para a realização dos cálculos da análise de viabilidade do investimento, deve-se considerar o investimento inicial, as despesas operacionais e as receitas obtidas com a venda de energia e também, eventualmente, com a venda de Créditos de Carbono, quando tratar-se de um projeto de MDL.

Para definição dos custos iniciais para viabilização de um projeto de geração, captação e uso energético de biogás a partir do tratamento de efluentes urbanos:

- quando a ETE já existe: deve-se considerar os custos de adaptação do sistema existente visando potencializar ou possibilitar a geração, captação e uso energético do biogás. Se o sistema existente for aeróbio, pode-se prever o investimento para inserção de uma etapa de tratamento anaeróbio, ou no caso de lodos ativados, por exemplo, pode-se incluir o investimento para implantação de um digestor anaeróbio para tratar o lodo do processo. Nestes casos, a própria entidade que opera a ETE poderá realizar os investimentos necessários, pois isto poderá lhe trazer significativa redução dos custos operacionais com a compra de energia, para suprir as demandas da ETE.
- quando a ETE ainda não existe mas o município pretende implantá-la em breve: deve-se contemplar no projeto conceitual e executivo a intenção de captar e aproveitar o biogás que venha a ser gerado na mesma, caso seu processo tenha alguma etapa anaeróbia. Nestes casos, a instituição financiadora poderá bancar também o sistema de captação e aproveitamento energético do biogás.
- quando não há ETE no município e não há previsão de implantação de uma: nestes casos, pode-se estimular e apoiar iniciativas da comunidade local, tais como, condomínios e pequenos bairros residenciais, para viabilizar a implantação de pequenos biodigestores, o que possibilita o tratamento de seus esgotos e também a geração e uso energético do biogás. Este tipo de projeto pode eventualmente ser financiado por fundações e instituições dedicadas a promover melhorias sócio-ambientais em âmbito local ou global.

7.4.1. Investimento Inicial

É preciso prever os seguintes itens de investimento inicial no orçamento do projeto:

- Elaboração de um projeto executivo, visando adequar a estrutura da ETE (existente ou a ser implantada) para possibilitar a coleta e aproveitamento do biogás.
- Implantação dos sistemas de captação e aproveitamento do biogás;
- Quando houver a intenção de registrar o projeto no âmbito do MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo) para poder gerar e vender Créditos de Carbono, deve-se contemplar os custos inerentes às etapas de elaboração do Documento de Concepção de Projeto (DCP), serviços de entidade credenciada para validação do projeto, assessoria para obtenção da aprovação pela Agência Nacional Designada e registro do projeto de MDL junto à UNFCCC.

7.4.2. Despesas Operacionais

Devem ser contemplados os seguintes itens de despesa operacional:

- Manutenção das ETEs e dos sistemas de extração de biogás, estimado em 5% do valor do investimento;
- Salários dos operadores;
- Gerenciamento e administração da ETE.

7.4.3. Receitas e ganhos não mensuráveis

O retorno do investimento deve considerar a possibilidade de reduzir gastos com a compra de energia para atender às demandas da ETE, pois esta poderá ser suprida total ou parcialmente a partir do aproveitamento do biogás gerado.

Outra receita possível decorrente da implantação de um sistema de aproveitamento do biogás gerado em ETEs é pela venda de Créditos de Carbono, no caso do projeto ser registrado no âmbito do MDL.

Os projetos de extração e aproveitamento de biogás proporcionam também diversos ganhos ambientais e sociais de difícil contabilização, mas que devem ser considerados na tomada de decisão para a implantação dos mesmos.

Alguns dos ganhos ambientais são: a redução das emissões atmosféricas de metano, a redução de maus odores geralmente liberados nas ETEs, a melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes, possibilitando muitas vezes o reúso das águas servidas para fins menos nobres, o menor consumo de fontes externas de energia para suprir as demandas da ETE, entre outros.

Já entre os ganhos sociais, pode-se citar um melhor relacionamento com a comunidade que reside no entorno da ETE. Sabe-se que em muitos casos, a comunidade que reside nas proximidades de uma ETE, mostra-se descontente com os maus odores liberados pela ETE. Com a implantação de um sistema fechado, por exemplo, pode-se reduzir esses maus odores. Outra forma de conquistar a simpatia da comunidade vizinha de uma ETE é oferecendo parte da energia que venha a ser gerada a partir do biogás para suprir algumas demandas de energia para usos comuns, como em uma escola, uma creche ou mesmo para iluminação de vias públicas locais, sem isso implique em custos para os habitantes.

Pode-se também considerar a economia dos gastos públicos no setor de saúde, pela redução da incidência de doenças ocasionadas pela falta de saneamento.

Assim, o grande desafio para os governantes locais é encontrar soluções inovadoras para viabilizar tais projetos.

7.4.4. Análise da atratividade financeira

A análise financeira utilizada para este tipo de projeto consiste no cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL é uma das formas mais empregadas para a análise de viabilidade de empreendimentos e consiste em um cálculo para trazer todos os valores dos fluxos de caixa futuros para a data atual, considerando a taxa de retorno estabelecida.

A fórmula para o cálculo de VPL, considerando diversas parcelas de investimentos (I_n), diversas parcelas de receitas (R_j), diversas parcelas de custos (C_j) e taxa de retorno (i) é a seguinte:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{R_j - C_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+i)^j}$$

Quando há apenas um investimento inicial, a fórmula acima pode ser simplificada para:

$$VPL = -i_{\text{inicial}} + \sum_{j=0}^n \frac{C_1}{(1+i)} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa i quando o VPL é igual a zero. Ela indica qual é a taxa a ser aplicada ao fluxo de investimentos de modo que, trazidos aos valores atuais, os investimentos, custos e despesas se igualem ao valor das receitas. Assim, quanto maior a TIR, melhor é o investimento em termos de rentabilidade.

A TIR pode ser comparada também com o Custo de Oportunidade do Capital (COC) para julgar se um investimento é viável. Se a TIR for menor que o COC, o investimento deve ser rejeitado. Por outro lado, se a TIR for maior que COC, o investimento é viável.

No caso de projetos de extração de biogás, para se escolher entre as diversas alternativas de projetos, compara-se os VPLs e o projeto que apresentar maior VPL é o mais viável.

É importante ressaltar que esta análise de viabilidade é bem simplificada e aplicável apenas para estudos preliminares. Para a implantação de projetos de biogás deve-se rever todos os cálculos após um detalhamento pormenorizado do projeto, onde se possam obter custos de investimento mais próximos do real, ou seja, onde os investimentos sejam avaliados através de cotações concretas e específicas para o projeto em questão. Além disto, nos cálculos financeiros é importante considerar todos os riscos envolvidos, os quais não foram considerados no presente trabalho, por se tratar de uma estimativa inicial.

7.5. Quinto Passo: Busca de recursos financeiros para viabilizar os investimentos necessários

Um projeto que contemple a geração, extração e aproveitamento energético do biogás pode ser realizado pelos órgãos e/ou empresas públicas ou por meio de empresas privadas e concessionárias contratadas para tratar os efluentes urbanos do município, desde que seja obedecida a legislação pertinente.

Para isso, podem ser utilizados recursos próprios das prefeituras municipais ou da empresa responsável pela operação da ETE, ou ainda obter recursos provenientes de linhas de crédito específicas disponibilizadas por uma Instituição de Fomento nessa área, tal como o BNDES, a FINEP, entre outras.

Uma das opções é a estrutura de um Project Finance, onde os recursos são captados para financiar um projeto de capital economicamente separável. Em um Project Finance devem ser identificados os riscos de implementação e operação dos sistemas, além de definir um mecanismo de controle do projeto.

A partir da identificação e alocação dos riscos, deve-se elaborar as obrigações das partes, por meio de contrato formal, reconhecido em lei, protegendo os interesses do credor, estabelecendo os cumprimentos das atividades descritas, de modo a assegurar o desempenho do projeto, permitindo a amortização do financiamento. Esse tipo de contratação pode ser realizada por métodos licitatórios.

Deve-se salientar que existem empreendimentos nacionais e internacionais com esta modelagem nos segmentos de energia, telecomunicações, rodovias, saneamento, entre outros.

O Mercado de Carbono tem sido um importante incentivo financeiro para que projetos capazes de promover e certificar a ocorrência da redução de emissões de GEE, tais como aqueles relativos ao tratamento de efluentes urbanos, industriais e agrícolas, à disposição de resíduos em aterros, entre outros. No caso de projetos de MDL, pode-se conseguir junto às instituições internacionais interessadas em comprar os Certificados de Redução de Emissões uma antecipação do pagamento dos Créditos de Carbono que serão emitidos e entregues posteriormente. Essa “Venda Antecipada” dos Créditos de Carbono é ideal para viabilizar a implantação e operação de um projeto de MDL nos casos em que os participantes do projeto não disponham de recursos para tal. A desvantagem é que geralmente os valores pagos por cada CER são bem menores que aqueles que poderiam ser conseguidos no mercado internacional.

7.5.1. Obtenção de recursos por meio do MDL

A maioria dos projetos brasileiros registrados no âmbito do MDL relacionados à redução de emissões de metano, inclusive os de aterros, contemplam apenas a queima do biogás gerado em flare enclausurado, desperdiçando-se o enorme potencial energético deste gás.

Projetos de MDL para redução das emissões de metano no tratamento de dejetos de suínos ou bovinos, por exemplo, onde a elevada concentração de carga orgânica nos efluentes ocasiona significativa produção de biogás, geralmente afirmam que será possível, mas não obrigatório, o aproveitamento energético do metano. Nesse sentido, os produtores rurais mais interessados e engajados acabam investindo recursos próprios para compra de equipamentos que possibilitem o aproveitamento energético do biogás gerado nos biodigestores instalados em suas propriedades, seja para aquecimento e/ou iluminação das granjas, seja para alimentação de motores e geradores de energia elétrica movidos a biogás.

Ainda são poucos os projetos de créditos de carbono para o biogás gerado em sistemas de esgotos domiciliares. Pode-se observar mundialmente que o número de projetos de MDL deste tipo submetidos para registro junto à UNFCCC é muito menor que os apresentados para dejetos de animais em confinamento ou para aterros sanitários, por exemplo.

Para o cálculo da receita que pode ser gerada pela venda de créditos de carbono, pode-se considerar um valor de US\$ 10,00 por cada tonelada equivalente de carbono que for reduzida e certificada, sendo este um valor bastante conservador, pois há casos em que se comercializa esse certificado a US\$30 / t de CO₂e.

Vale ressaltar que em ETEs, normalmente, a produção de biogás é relativamente baixa, devido à grande diluição da carga orgânica do efluente a ser tratado, e em alguns casos, pode não ser viável do ponto de vista econômico o registro do projeto no âmbito do MDL, pois os custos para a elaboração, validação e registro de um projeto de MDL geralmente são elevados. Entretanto, é possível fazer uma associação de várias ETEs em um “programa de atividades”, o que permite diluir esses custos e possibilitar a geração e venda dos Créditos de Carbono.

Para a estimativa de redução de emissões de metano e a respectiva geração de créditos de carbono, deve-se considerar a vazão total de metano gerado na ETE desde o ano de implementação dos sistemas de extração e aproveitamento do biogás até 7 ou 10 anos.

Do total de metano gerado, estima-se que 90% será coletado pelo sistema de extração e que, deste total, 90% será oxidado termicamente (queimado) em um *flare* ou em um motor com eficiência de queima de 90%.

7.6. Sexto Passo: Elaboração e registro de um projeto no âmbito do MDL

A venda desses Créditos de Carbono para instituições dos países listados no Anexo 1 do Protocolo de Quioto, constitui-se em uma importante fonte suplementar de recursos para viabilizar a implantação de diversos tipos de projetos que promovam a redução das emissões de GEE ou o seqüestro e estocagem de Carbono atmosférico nos países em desenvolvimento.

O desenvolvimento de um projeto de MDL compreende, em primeiro lugar, a elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP), onde todos os aspectos técnicos e características deverão ser amplamente contemplados.

Após preencherem o DCP, os Participantes do projeto o encaminham para a Entidade Operacional Designada (EOD), devidamente reconhecida pelo Conselho Executivo (UNFCCC), a fim de obter a validação do projeto. Após análise e validação, o projeto é encaminhado para aprovação da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima que, no Brasil, corresponde à Autoridade Nacional Designada – AND. Uma vez aprovado, o projeto é enviado para registro no Conselho Executivo.

Na fase de monitoramento, os Participantes do projeto devem seguir um plano estabelecido pela metodologia definida no projeto, produzindo relatórios a serem submetidos à EOD para verificação.

A verificação é a revisão independente e periódica, efetuada pela EOD, das reduções monitoradas das emissões de GEE, que ocorreram (ou ocorrerão) em consequência de atividade registrada do projeto de MDL, durante o período de verificação.

Finalmente, a certificação é a garantia, dada por escrito pela EOD, de que, durante o período de tempo especificado, o projeto em operação atingiu (ou atingirá) as reduções das emissões de gases de efeito estufa conforme verificado.

Com a certificação, torna-se possível requerer ao Comitê Executivo a emissão dos CERs (Certificados de Emissões Reduzidas) relativos à quantidade reduzida e/ou removida. Esses CERs têm validade determinada e, conforme o caso, podem ser renovados.

A figura a seguir apresenta esquematicamente as etapas do ciclo de um projeto de MDL.

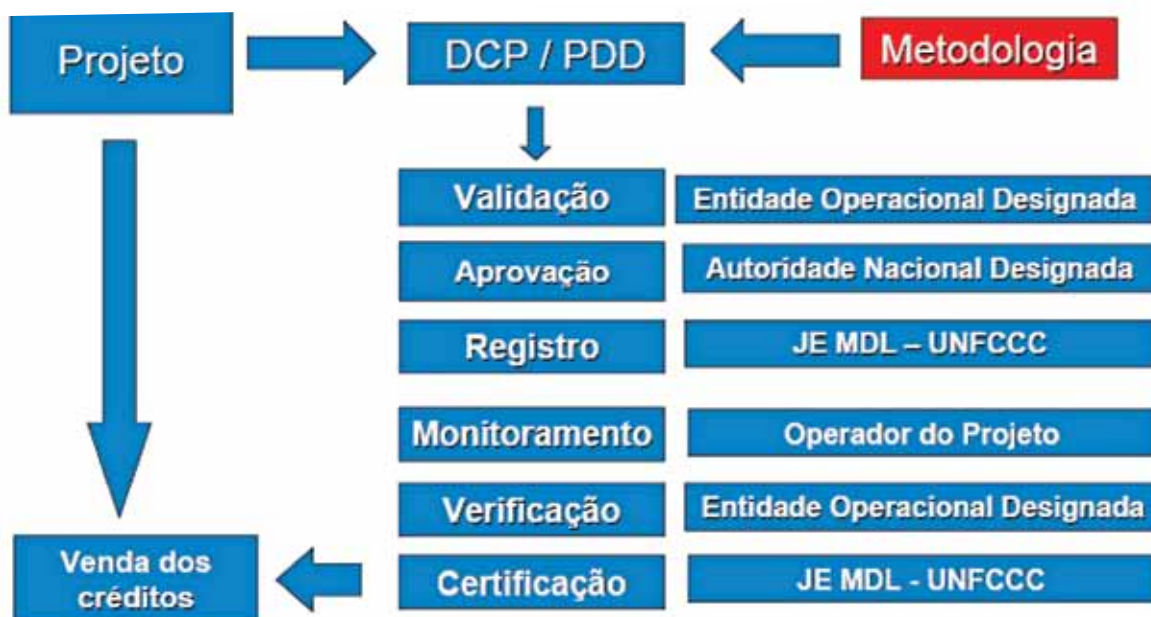


Figura 31: Ciclo de Projeto de MDL. Fonte: ECOENERGY INTERNATIONAL, 2008.

Existem algumas exigências para que um projeto possa ser enquadrado e registrado no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Conforme estabelecido pelo Protocolo de Quioto e regulado por meio de procedimentos estabelecidos pelo Acordo de Marraqueche (COP 7), todo projeto MDL tem que ser adicional.

A adicionalidade consiste na redução de emissões de gases precursores do efeito estufa de forma adicional ao que ocorreria na ausência do projeto. Ou seja, para que um projeto de MDL seja creditado e possa emitir CERs, deve comprovar que contribuiu de forma adicional à determinada linha de base de referência, para a redução de emissões ou para o seqüestro de carbono da atmosfera. Para verificar essa adicionalidade é necessária a construção de uma linha de base confiável, uma vez que isso é uma condição necessária à aprovação do projeto pelo Conselho Executivo do MDL (CDM Executive Board).

Outro fator importante é definir as alternativas da atividade de projeto, bem como as barreiras que impediriam a implementação das mesmas, a fim de escolher a alternativa viável à execução do projeto.

A coleta de biogás na linha de base é tecnicamente viável. No entanto, é importante destacar que os custos de implantação de um sistema de coleta de biogás não são proporcionais à potência instalada. Cada porcentagem de eficiência de coleta tem seus custos associados, em escala exponencial. Essas quantidades vendidas aos clientes são mensuráveis, acordadas em contrato e registradas.

A principal barreira desta atividade é econômica, visto que os gastos com o sistema de coleta de gás, bem como com energia, operação e manutenção da rede de captação, aumentam os custos de operação da ETE, e a quantidade de biogás gerado não é tão elevada, devido à baixa concentração de matéria orgânica presente nos esgotos.

Na situação da adicionalidade, ao invés da queima em flare, o biogás pode ser utilizado para outros fins, tais como: geração de energia elétrica e térmica, secagem de lodo, uso veicular e iluminação a gás, dentre outros.

No caso de projetos de aumento da eficiência no uso de eletricidade e de geração de eletricidade a partir de biogás para injeção na rede, deve-se estabelecer a proveniência da energia elétrica deslocada pelo projeto. Em outras palavras, deve-se determinar qual tipo de fonte primária (que no caso das ETEs é o biogás) estaria gerando eletricidade para a rede, no cenário de referência (ausência do projeto) e a energia que virá a ser economizada ou substituída pelo projeto.

As metodologias de MDL relacionadas ao tratamento de efluentes aprovadas pelo UNFCCC até julho de 2010 são as seguintes:

- AM0080: aplicável em projetos que reduzam as emissões de gases do efeito estufa pelo tratamento de efluentes em sistemas aeróbios (“Mitigation of greenhouse gases emissions with treatment of wastewater in aerobic wastewater treatment plants”);
- AMS III.H: aplicável em projetos de recuperação de metano no tratamento de efluentes (“Methane recovery in wastewater treatment”); e
- AMS III.I. aplicável em projetos que evitem a produção de metano no tratamento de efluentes por meio da substituição de sistemas anaeróbios por sistemas aeróbios. (“Avoidance of methane production in wastewater treatment through replacement of anaerobic systems by aerobic systems”);

7.7. Sétimo Passo: Arranjos políticos e institucionais

No Brasil, a responsabilidade de gerir os efluentes urbanos é das prefeituras, embora em muitos casos a operacionalização do tratamento de efluentes seja realizada por autarquias ou empresas concessionárias.

Tendo em vista que os contratos com empresas terceirizadas geralmente são de longa duração, muitas vezes cabe a elas a realização de investimentos e melhorias no sistema de tratamento de efluentes urbanos.

A implantação de alternativas para possibilitar o aproveitamento energético do biogás gerado em ETEs, é uma decisão de quem opera, podendo ser discutida e até solicitada pela prefeitura municipal.

Como uma forma de demonstrar o comprometimento dos governos locais, é desejável que seja incluído já no processo licitatório a exigência de que seja aproveitado energeticamente todo o biogás que venha a ser gerado.

Quando o contrato já tiver sido celebrado, pode-se propor um adendo para incluir o aproveitamento energético do biogás nas ETEs existentes ou mesmo naquelas que venham a ser implementadas durante o período da concessão.

Outra maneira de viabilizar o aprimoramento do saneamento básico em cidades é a realização de consórcios intermunicipais, possibilitando investimentos de maior escala que beneficiarão todos os participantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram apresentadas algumas das alternativas tecnológicas existentes para o aproveitamento energético do biogás originado em estações de tratamento de efluentes urbanos. Embora o Biogás venha sendo tema de muitas pesquisas, ainda é necessário o desenvolvimento de tecnologias e equipamentos que permitam a ampliação do acesso aos processos de aproveitamento do metano nas ETEs brasileiras.

A utilização de biogás como fonte de energia renovável no país é fundamental, tendo em vista que:

- este gás já vem sendo amplamente utilizado em países desenvolvidos como uma importante fonte de energia renovável, geralmente substituindo demandas de petróleo e seus derivados;
- as emissões atmosféricas de metano, assim como dos demais gases do efeito estufa, precisam ser urgentemente reduzidas para mitigar as mudanças globais do clima;
- O aquecimento global já está em curso e suas conseqüências ocorrem com freqüência e intensidade crescentes. Eventos extremos como furacões, tempestades e secas prolongadas são os efeitos com maior impacto sobre nossas cidades. O setor de energia é particularmente vulnerável, como ficou demonstrado no caso da estiagem de 2000 no Brasil, que afetou o fornecimento das hidrelétricas provocando o apagão e enormes prejuízos para a economia
- o Brasil ainda não é autosuficiente em energia, dependendo de importações;
- a matriz energética brasileira é predominantemente renovável devido à expressiva participação de hidrelétricas e da cana-de-açúcar e seus derivados, porém essas ocasionam impactos ambientais devido à ocupação de imensas áreas e à redução da biodiversidade.

É fato que o país ainda precisa avançar muito no sentido de conseguir coletar e tratar 100% do esgotos gerados em seus municípios. Considerando que atualmente existem recursos disponíveis aos governos locais para ampliação do acesso ao saneamento básico é interessante que já na fase de projeto sejam inseridas algumas alternativas para o aproveitamento do biogás que venha a ser gerado no processo de tratamento de efluentes urbanos, seja para suprir as demandas energéticas da própria ETE, seja para fornecimento de energia para comunidades ou empresas no entorno.

Vale ressaltar a importância de segregar a coleta de esgotos da coleta de águas pluviais, o que reduziria os efeitos de diluição causados pela mistura desses dois efluentes e conseqüentemente, diminuiria o custo da implantação de ETEs além de ocasionar maior eficiência das mesmas e maior geração de biogás.

Para viabilizar a implantação de projetos para aproveitamento energético do biogás em ETEs é fundamental que existam dados históricos confiáveis e verificáveis sobre o efluente de entrada, a eficiência do processo entre outros. Sem isto não é possível realizar nem mesmo uma estimativa confiável. A fim de viabilizar a adoção de políticas consistentes de saneamento e geração de energia limpa, é preciso que os atores relevantes em governos e concessionárias internalizem a prática de documentar, reportar e disponibilizar dados técnicos de qualidade.

Espera-se que este manual contribua para motivar os governos locais a implantarem melhorias no saneamento básico, expandindo a rede coletora de esgotos, tendo como meta atingir 100%, realizando o tratamento adequado do que for coletado e aproveitando o biogás que seja gerado nesse processo.

Para tanto, os governos locais necessitam ser dotados das ferramentas econômicas, tecnológicas e político-institucionais necessárias para implementar tais medidas.

Os governantes municipais não devem subestimar seu potencial de contribuir para minimizar as principais causas do aquecimento global e melhorar substancialmente a saúde de sua população, contribuindo também para atingir os Objetivos do Milênio das Nações Unidas.

Nesse sentido, o ICLEI tem atuado internacionalmente para auxiliar os governos locais a tornarem-se mais sustentáveis. Além disso, continua defendendo os interesses dos municípios nas negociações internacionais sobre o clima. A participação dos governos subnacionais na esfera internacional deve ser incrementada.

É importante ter em mente que as conseqüências das mudanças climáticas já são percebidas e tendem a se agravar caso não se consiga reverter o atual padrão das emissões de gases do efeito estufa, o que ocasionaria imensos prejuízos ambientais, sociais e econômicos para todos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AD-NETT. **Anaerobic Digestion of Agro-Industrial Wastes: Information Networks. Technical Summary on Gas Treatment.** Netherlands, 2000. 31p.
- AEBIO – European Biomass Association, **A Biogas Road Map for Europe.** Outubro de 2009
- ANP – Agência Nacional do Petróleo. Portaria 128, de 28 de agosto de 2001. 10p.
- BEN – Balanço Energético Nacional 2010 – Resultados Preliminares, Ano Base 2009. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em
- <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2010.pdf> Acesso em julho de 2010
- BEN – Matrizes Consolidadas 1970 – 2008. Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>> Acesso em junho de 2010
- CCE – Centro para Conservação e Energia. **Guia Técnico de Biogás.** Amadora – Portugal, 2000. 117p.
- CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Relatório de visitas. Relatório de atividades,** 2004.
- FIPAI – Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial. **Licenciamento ambiental do novo aterro sanitário do município de São Carlos (SP): Plano de trabalho para elaboração do EIA/RIMA.** Anexo I: Caracterização preliminar do empreendimento, 2008.
- GASPAR, R.M.B.L.. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento Planejamento e Estratégia Organizacional, Santa Catarina, 2003.
- HAGEN M.; POLMAN, E.; MYKEN, A.; JENSEN, J.; JONSSON, O.; DAHL, A. **Adding Gas from Biomass to the Gas Grid: Final Report.** Contract No: XVII/4.1030/Z/99-412. European Commision. 2001. 142 p.
- HAMILTON, S. L. Microturbine Generator Handbook. PennWell Corporation, 2003.
- HIRANI, E. W.; MAMANI, L. A. G. **Algoritmos Evolucionários para Otimização Multi-objetivo no Projeto de Sistemas Térmicos,** 2007. Disponível em
- “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - 2006 – **Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge**”
- MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia - **Status atual das atividades de projeto do MDL no Brasil e no mundo.** Última compilação do site da CQNUMC: 31 de maio de 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0211/211406.pdf> Acesso em junho de 2010.
- MONTEIRO, C. Microturbinas. **Produção e Transporte de Energia II.** LEEC – Faculdade de Engenharia da FEUP, 2004. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2_Microturbinas.pdf> Acesso em junho de 2010.
- PECORA, V., **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP** – Estudo de Caso (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico / IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>>. Acesso em junho de 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- U.S. Environmental Protection Agency. **Wastewater Treatment facilities for sewerred small communities** – Process Design Manual. EPA 625/1-77-099;
- U.S. Environmental Protection Agency. **Options for Reducing Methane Emissions Internationally, Vol. I – Technological Options for reducing Methane Emissions**. EPA 430R-93-006- July, 1993.
- U.S. Environmental Protection Agency. **Activities that Advance Methane Recovery and Use as a Clean Energy Source**. EPA-OAR-CCD-093-03.
- “UNFCCC/CCNUCC – CDM Executive Board – III H./Version 13: Methane Recovery in Wastewater Treatment”.
- VON SPERLING, M; **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2ª. Edição, Belo Horizonte, 1996.
- WONG S.; BIOLETTI R. **Carbon Dioxide Separation Technologies**. Carbon & Energy Management, Canada, 14p. 2002.
- NOBRE, H.N.; COELHO, S.T.; ALVES, J.W.. **“Geração de eletricidade a partir do biogás produzido no tratamento de esgotos.”** Disponível em: <<http://www.bioteecnologia.com.br/revista/bio29/geracao.pdf>> Acesso em julho de 2010.

Realização



Secretariado para América Latina e Caribe

Avenida Quarto Centenário, 1268 - Sala 215
Portão 7A do Parque do Ibirapuera
04030-000 São Paulo SP Brasil
Fone: +55 (11) 5084-3079
Fax: +55 (11) 5084-3082
iclei-lacsbrasil@iclei.org
www.iclei.org/lacs/portugues

Patrocínio



United States
Environmental Protection
Agency



ISBN 978-85-99093-03-0



9 788599 093030