O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS: UNINDO O INÚTIL AO SUSTENTÁVEL

Ana Luiza Pinto Ferreira Landim
Lizandra Prado de Azevedo*

MEIO AMBIENTE

** Respectivamente, coordenadora de serviço e estagiária do Departamento de Meio Ambiente da Área de Planejamento do BNDES.*
Texto baseado no trabalho de conclusão de curso, submetido em agosto de 2006 ao corpo docente do MBE/Coppe, no âmbito da especialização em MBE – Pós-Graduação Executiva em Meio Ambiente.

Resumo

Segundo Ribeiro (2006), ao longo da história, a humanidade tem selecionado seus sistemas energéticos em função de dois parâmetros fundamentais: disponibilidade técnica e viabilidade econômica. Recentemente, outra variável que condiciona o aval de qualquer sistema energético tem sido incorporada: os impactos ambientais que seu uso possa ocasionar.

O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização do biogás, gerado em aterros sanitários, como fonte de energia alternativa, bem como os benefícios sociais, econômicos e ambientais daí decorrentes.

Para contextualizar o problema, também será realizada breve revisão bibliográfica do conceito histórico de desenvolvimento sustentável, a situação atual da disposição de resíduos sólidos no Brasil, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, do Tratado de Quioto, e as chamadas fontes alternativas de energia.

A seguir, será abordado o gás de lixo (GDL), bem como as tecnologias disponíveis para o seu aproveitamento energético e um panorama de sua utilização. O estudo de caso da Empresa CTR Nova Iguaçu (Central de Tratamento de Resíduos Nova Iguaçu), que desenvolveu o Projeto Novagerar de conversão de gases de aterro em energia, precede as conclusões do trabalho, que esperamos possa representar uma pequena contribuição ao grande desafio de reunir o "inútil" ao "sustentável".

Introdução

Energia

De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2003), a energia é um dos principais pilares da sociedade moderna, sendo indispensável tanto para a produção de bens, com base em recursos naturais, quanto para o oferecimento de serviços.

Como ressalta Vanzin (2006), o crescimento da população e das atividades industriais trazem como conseqüência a demanda, cada vez maior, de energia e o aumento do descarte de resíduos sólidos, que, por sua vez, vão gerar problemas ambientais e relativos à oferta e aos custos da energia.

A exaustão dos recursos naturais e a crescente agressão ao meio ambiente são apontadas como fatores de desequilíbrio do ecossistema. Porém, a economia mundial passa por uma reestruturação em busca de um modelo sustentável de desenvolvimento.

De acordo com Silva e Cavaliero (2004), após o racionamento de energia elétrica de 2001, a diversificação da matriz energética brasileira passou a ser fator estratégico. Em abril de 2002, foi criada a Lei 10.438, que estabelece o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), para viabilizar os projetos de geração de energia alternativa.

O Balanço Energético Nacional 2007 (Ano-Base 2006)

O Balanço Energético Nacional (BEN) é um estudo promovido pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que, anualmente, documenta extensa pesquisa sobre o consumo, a produção e a comercialização dos diferentes energéticos em âmbito nacional.

A energia que atende às necessidades da sociedade, em geral, movimentando a indústria, o transporte, o comércio e demais setores econômicos do país, recebe a denominação de consumo final no Balanço Energético Nacional.

Tanto os processos realizados para que a energia chegue até o seu local de consumo (por meio de gasodutos, linhas de transmissão, rodovias, ferrovias etc.) como a sua adequação em centros de transformação (tais como refinarias e usinas hidrelétricas) acarretam perdas de energia.

No Balanço Energético Nacional, a soma do consumo final de energia, das perdas no transporte, na distribuição e na armazenagem e das perdas nos processos de transformação recebe a denominação de oferta interna de energia (OIE), também costumeiramente denominada de matriz energética ou de demanda total de energia.

A oferta interna de energia, em 2006, foi de 226,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), montante 238,0% superior ao de 1970 e próximo a 2% da demanda mundial. A indústria de energia no Brasil responde pelo abastecimento de 91,7% do consumo nacional, sendo os 8,3% restantes importados, na forma de petróleo e derivados, carvão mineral e derivados, gás natural e energia elétrica.

No Brasil, em 2006, cerca de 45,1% da OIE teve origem em fontes renováveis, enquanto no mundo essa taxa é de 12,7%. Dessa participação da energia renovável, 14,8% correspondem à geração hidráulica e 30,3% a outras fontes renováveis.

Apesar de a matriz energética brasileira ser mais de 40% renovável, vale lembrar que em longas estiagens, como as que ocorreram recentemente, o nível dos reservatórios fica baixo e as termelétricas movidas a gás ou a óleo são acionadas, gerando diversos impactos ambientais, tais como a emissão de gases poluentes e a contaminação de recursos hídricos pelo descarte não apropriado do resíduo resultante de sua atividade.

Resíduos Sólidos

Segundo Ensinas (2003), a disposição final do lixo – ou dos resíduos sólidos, termo referenciado na literatura técnico-científica – é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos de todo o planeta e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis. Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos são os aterros sanitários, que, por sua vez, têm como subproduto a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico. Os principais constituintes desses gases são o dióxido de carbono (CO_2) e o gás metano (CH_4), sendo este último passível de coleta e utilização para a geração de energia.

A disposição dos resíduos sólidos está assumindo papel de destaque entre as demandas da sociedade brasileira, aí incluídas as comunidades locais, seja pelos aspectos ligados à veiculação de doenças e, portanto, à saúde pública, seja pela contaminação de cursos d'água e lençóis freáticos, seja pelas questões sociais ou, ainda, pelas pressões advindas de atividades de lazer e turismo. O fato é que vários setores governamentais e da sociedade civil começam a se mobilizar para enfrentar o problema, por muito tempo relegado a segundo plano [Monteiro *et al* (2001)].

De acordo com Escosteguy (s.d.), a geração dos resíduos sólidos é um dos problemas mais relevantes da sociedade contemporânea, agravado pelo crescimento gradativo e desordenado da

população, pela aceleração do processo de ocupação do território urbano e pelo crescimento gradativo dos bens de consumo popularizados pelo aumento da produção industrial.

A disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários é uma alternativa de baixo custo, largamente utilizada no Brasil. Resultados obtidos na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE (2001)], mostram que o Brasil gera diariamente 228.413 toneladas de resíduos sólidos, sendo 82.640 toneladas dispostas em aterros sanitários.

Para Ensinas (2003), a disposição final dos resíduos é um dos principais problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos no Brasil. A emissão descontrolada do biogás, produzido na decomposição anaeróbica da matéria orgânica, ameaça o ambiente local, pois causa danos à vegetação, gera odores desagradáveis e oferece riscos de explosão. O biogás é também considerado um problema global, pois é formado por gases causadores do efeito estufa.

Alves Filho (2004) afirma que a proporção de gás na mistura depende, entre outros parâmetros, do tipo de material degradado, sendo o metano combustível empregado para movimentar motores e geradores de energia elétrica. O metano, ao ser objeto de combustão completa, minimiza a poluição atmosférica e a contribuição para o efeito estufa.

Fazendo as Contas

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental [Cetesb (1999)], a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos no Brasil é de 677 Gg (gigagramas), cuja densidade é de 0,716 kg/m^3, o que representa 945 milhões de m^3 por ano.

Como o metano, em geral, representa 55% do volume do biogás, chega-se a 1.718 milhões de m^3 anuais de CH_4.

Com recuperação/captação de 90%, estariam disponíveis 1.546 m^3 de biogás para geração de energia elétrica.

Multiplicando esse valor (1.546 m^3) pelo poder calorífico do biogás, obtêm-se 3.748.122,4 x 1.010 joules, sendo que cada joule corresponde a 1 Watt-segundo.

Dividindo esse valor pelo número de segundos em uma hora (3.600 s/h) e multiplicando o resultado pela eficiência do motor

a combustão interna, normalmente usado nesse sistema, encontra-se a energia disponível de 2,1 TWh, suficiente para alimentar uma cidade de 875 mil residências com consumo médio mensal de 200 KWh, o que equivale a uma cidade de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes.

Ou seja: Lixo + Tecnologia = Energia

O Brasil tem imenso potencial para a utilização do biogás. Segundo o IBGE (2001), 36,18% dos resíduos sólidos urbanos, gerados diariamente, são depositados em aterros sanitários, 37% em aterros controlados e 21,2% em lixões. Isso significa um potencial de geração de energia superior a 350 MW, dos quais, segundo Zulauf (2004), apenas 20 MW são explorados.

Segundo Lima (1995), os resíduos urbanos acabaram por ganhar o *status* de fonte alternativa de energia, pois a sua conversão biológica com fins energéticos torna-se cada dia mais interessante, com custos decrescentes de produção e possibilidade de inserção no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com a geração de créditos de carbono.

Diante das considerações acima, é mais do que oportuno verificar a viabilidade do aproveitamento do GDL, o que será feito no presente estudo.

Contextualização do Problema

Breve Histórico do Desenvolvimento Sustentável

Segundo Alves e Quelhas, a partir dos anos 1960, em virtude de vários desastres de poluição industrial e, particularmente, após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972, a dimensão ambiental passou a fazer parte da agenda política internacional como condicionadora e limitadora do modelo tradicional de crescimento econômico e do uso dos recursos naturais.

O conceito de desenvolvimento sustentável, como é conhecido hoje, foi mais amplamente divulgado após a conclusão do estudo feito pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (World Commission on Environment and Development – WCED), *Our common future* (*Nosso futuro comum*), em 1987, que também ficou conhecido como Relatório Brundtland.

Segundo o Relatório Brundtland (nome dado em homenagem à presidente da Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, Gro Harlem Brundtland, primeira-ministra da Noruega), o conceito de desenvolvimento sustentável é a

busca simultânea da eficiência econômica, da justiça social e da harmonia ambiental.

Mais tarde, ainda em 1987, popularizou-se a definição da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), órgão criado pela Organização das Nações Unidas para realizar um estudo sobre a situação ambiental e as prioridades a serem estabelecidas na Conferência do Rio, em 1992. Segundo a CMMAD (1987), "desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades".

Em 1992, foi realizada a Eco 92, um dos mais importantes eventos relacionados ao meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, discutida e aprovada durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD, Rio de Janeiro, junho de 1992), constituiu um programa a ser implementado ao longo do século XXI pelos governos, em todos os seus níveis, pelas ONGs e demais instituições da sociedade civil, com o apoio das Nações Unidas, e pelas demais instituições multilaterais e nacionais de fomento ao desenvolvimento socioeconômico.

A Agenda 21 reúne iniciativas e ações de âmbito local, regional e global, para, no prazo de vinte anos, deter e reverter a constante degradação dos ecossistemas vitais para a manutenção da vida, bem como alterar as políticas que resultaram em brutais desigualdades entre os países e, nas sociedades nacionais, entre as diferentes classes sociais.

No cenário desenhado por Sachs (1993, p. 59) ao tentar retratar a realidade, os países do hemisfério norte preocupam-se com os riscos ambientais globais, com a responsabilidade compartilhada e com a redução das emissões também nos países do hemisfério sul. Os países do hemisfério sul, por sua vez, preconizam o desenvolvimentismo com base na industrialização como mecanismo de redução da pobreza e da desigualdade social.

As Mudanças Climáticas e o Protocolo de Quioto

Segundo Lopes *et al* (2002), a mudança global do clima é um dos mais graves problemas ambientais deste século. Nos últimos cem anos, registrou-se um aumento de cerca de um grau centígrado na temperatura média da Terra. Esse problema vem sendo causado pela intensificação do efeito estufa, que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração, na atmosfera da Terra, de determinados gases, principalmente o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O).

Os gases de efeito estufa emitidos em razão das atividades do homem, também denominadas antrópicas, decorrem principalmente da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) em usinas termelétricas, indústrias, veículos em circulação e sistemas domésticos de aquecimento, além de atividades agropastoris, lixões e aterros sanitários.

Apenas para que se tenha uma idéia da ordem de grandeza, os níveis de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera aumentaram de 280 partes por milhão em volume (unidade de concentração de gases na atmosfera), desde o período que antecede a Revolução Industrial, para cerca de 360 partes por milhão.

Conforme Lerípio (2001), durante a Conferência sobre Mudança no Clima, realizada em Quioto, no Japão, e conhecida como RIO +5, o objetivo proposto era estabilizar a concentração de gases que provocam o efeito estufa em níveis que não causem mudanças prejudiciais no clima. O documento oficial da conferência, conhecido como Protocolo de Quioto, foi aprovado em 11 de dezembro de 1997 e estabelece uma meta média de cerca de 6% de redução de emissões de gases de efeito estufa nos países industrializados até o período de 2008 a 2012. O protocolo mencionava ainda as premissas para o estabelecimento de um mecanismo de compra e venda de cotas (direito de poluir).

De acordo com os Cadernos do NAE (do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República), para que o Protocolo de Quioto entrasse em vigor, era necessário que o acordo fosse ratificado por, pelo menos, 55 partes da Convenção-Quadro, incluindo, entre essas, países industrializados que respondessem por, pelo menos, 55% das emissões totais de dióxido de carbono desse grupo de países, contabilizadas em 1990. Os Estados Unidos (EUA), responsáveis por 36,1% das emissões totais dos países industrializados, apesar de signatários da convenção e de terem participado da Terceira Conferência das Partes em Quioto, anunciaram em março de 2001 que não iriam ratificar o protocolo.

Não obstante, ambas as condições se encontram hoje satisfeitas, pois 128 países já ratificaram o protocolo (dezembro de 2004) e, com a ratificação pela Rússia, responsável por 17,4% das emissões, foram atingidas mais de 60% das emissões totais de dióxido de carbono dos países industrializados, contabilizadas em 1990. Com isso, o Protocolo de Quioto entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

O Protocolo de Quioto prevê a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que se refere a projetos destinados à redução das emissões de gases formadores do efeito estufa para a

atmosfera. Esse mecanismo tem como objetivo permitir que os países menos industrializados atinjam o desenvolvimento sustentável, contribuindo para o objetivo final da convenção, que é a redução das emissões de carbono.

As reduções das emissões, resultantes de cada projeto de MDL, deverão ser certificadas por entidades operacionais a serem designadas pela conferência das partes definida no Protocolo de Quioto. Essas certificações são chamadas de créditos de carbono.

Assim, a recuperação ambiental de lixões e a implantação de sistema de geração de energia elétrica em aterros sanitários podem ser viabilizadas economicamente pela venda dos créditos de carbono, decorrentes da redução da emissão de carbono para a atmosfera.

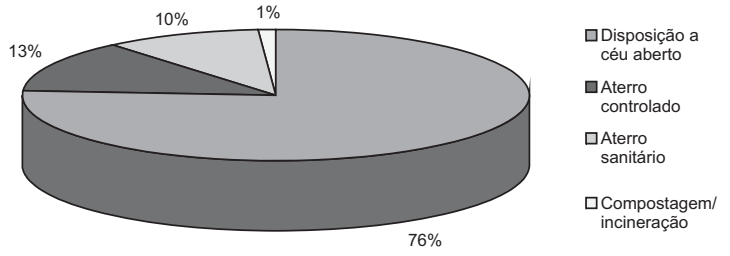
A Disposição Final de Resíduos Sólidos

Segundo Sisinno e Oliveira (2000), a atuação na busca de um "gerenciamento adequado" para os resíduos sólidos deve se dar em todos os países, tendo em vista os efeitos globais de comprometimento do ambiente. No entanto, não se podem ignorar as diferenças fundamentais de capacidade econômica, disponibilidade de qualificação técnica, características ambientais e demandas por necessidades básicas entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento.

Para Sisinno e Oliveira (2000), os países em desenvolvimento se confrontam, ainda, com a imposição do modelo consumista, como paradigma de crescimento econômico e modernidade,

Gráfico 1

Destino Final de Resíduos Sólidos no Brasil



Fonte: *Fadini e Fadini (2001).*

e com a deterioração do ambiente causado por empresas nacionais e multinacionais que tratam e dispõem seus resíduos de forma inadequada, tanto em função de frágeis restrições legais como da inexistência de controle. A utilização crescente de embalagens descartáveis de alumínio, de ferro, de vidro, de plástico e de papel e a existência de inúmeras áreas clandestinas de disposição de resíduos industriais nesses países ("lixões") são exemplos que não permitem contestação.

Segundo Figueiredo (1995), da porcentagem de 24% do tratamento, considerada mais adequada, 13% são feitos por meio de aterros controlados, método que acarreta a contaminação do lençol freático. Mesmo os aterros sanitários (10%) acabam perdendo eficiência e qualidade por causa da constante necessidade de controle e manutenção. Enfim, ainda são raros os aterros que operam convenientemente do ponto de vista ambiental.

Lixão

O termo lixão é usado para designar a mera disposição de resíduos a céu aberto, sem nenhum critério sanitário de proteção ao ambiente. Esses locais são fonte de graves problemas ambientais, sanitários e sociais, entre eles:

- Poluição do solo, do ar e da água;
- Atração de vetores (mosca doméstica, mosquitos, baratas e roedores);
- Risco de fogo, de deslizamentos e de explosões;
- Espalhamento de lixo pelo vento e por animais; e
- Atividade de catadores, muitas vezes envolvendo crianças.

Segundo D'Almeida e Vilhena (2000), apesar dos impactos acima relacionados, a disposição de lixo a céu aberto nos lixões também é o método mais utilizado pelos municípios para disposição dos resíduos de serviços de saúde (RSS).

Exemplos de Problemas Causados pelos Lixões

a) Problemas sociais

A participação de catadores na segregação informal do lixo, seja nas ruas ou nos vazadouros e aterros, é o ponto mais agudo e visível da relação do lixo com a questão social. Trata-se do elo perfeito entre o inservível – lixo – e a população marginalizada

> da sociedade que, no lixo, identifica o objeto a ser trabalhado na condução de sua estratégia de sobrevivência. (Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>.

Além de causar sérios problemas ambientais, os lixões estão associados a graves problemas sociais. Mól e Santos (2003) relatam que, segundo dados da Unicef, em 1998 existiam cerca de 45 mil crianças e adolescentes vivendo e trabalhando nos lixões espalhados pelo país. De acordo com documento do Ministério do Meio Ambiente (*Criança, catador, cidadão – experiência de gestão participativa do lixo,* Unicef, 1999),

> muitas das crianças nascidas no lixão são filhas de pais que também nasceram ali. São meninas e meninos de diferentes idades. Desde os primeiros dias de vida são expostos aos perigos dos movimentos de caminhões e de máquinas, à poeira, ao fogo, aos objetos cortantes e contaminados, aos alimentos podres. Ajudam seus pais a catar embalagens velhas, a separar jornais e papelões, a carregar pesados fardos, a alimentar porcos.
>
> Muitos desses meninos e meninas estão desnutridos e doentes. Sofrem de pneumonia, doenças de pele, diarréia, dengue, leptospirose. Nos lixões, ficam sujeitos ainda a acidentes e a outros problemas como abuso sexual, gravidez precoce e uso de drogas.
>
> Os adolescentes são freqüentemente pais de uma ou duas crianças. Grande parte das crianças em idade escolar – cerca de 30% – nunca foram à escola. O lixo é sua sala de aula, seu parque de diversões, sua alimentação e sua fonte de renda. Ganham de R$ 1 a R$ 6 por dia, mas o trabalho que fazem é fundamental para aumentar a renda de suas famílias. Vivem em condições de pobreza absoluta. Realizam um trabalho cruel. São crianças no lixo. Uma situação dramática e comum no Brasil.

b) Problemas sanitários e ambientais

Vetores

De acordo com Barros *et al* (1995), várias doenças podem ser transmitidas quando não há coleta e disposição adequada do lixo. Os mecanismos de transmissão são complexos e ainda não totalmente compreendidos. Como fator indireto, o lixo tem grande importância na transmissão de doenças através, por exemplo, de vetores que nele encontram alimento, abrigo e condições adequadas para proliferação.

Entre os vários vetores que utilizam os lixões, destacam-se as moscas domésticas, os mosquitos, as baratas e os roedores.

Esses animais geralmente servem de hospedeiros para os agentes transmissores de doenças, pois freqüentam constantemente esses locais, que recebem um volume indiscriminado de produtos em decomposição.

A mosca doméstica é responsável pela transmissão de doenças veiculadas por bactérias, vírus, protozoários e helmintos, ultrapassando cem espécies patogênicas [D'Almeida e Santos (2000)].

O vírus da poliomielite e as doenças amebíase e giardíase, provenientes de bactérias intestinais, são transmitidas para o ser humano pelos helmintos, comumente hospedeiros intermediários das baratas. A filariose bancroftina, a febre amarela, a dengue e a leishmaniose são transmitidas ao homem pela picada de mosquitos infectados, que se desenvolvem nas águas existentes em latas, frascos e outros recipientes dos lixões que hospedam esses agentes transmissores [Schalch *et al apud* D'Almeida e Vilhena (2000)].

Aterro Controlado

Segundo D'Almeida e Vilhena (2000), o aterro controlado é uma técnica de disposição de resíduos sólidos municipais no solo que busca minimizar os impactos ambientais da disposição a céu aberto. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem de sistema de tratamento de percolado ou biogás gerado.

O aterro controlado pode apresentar vários problemas que estão associados aos lixões, apesar de minimizar os impactos ambientais [Sisinno e Oliveira (2000)].

Esse método não pode ser considerado solução definitiva para o correto equacionamento da disposição final de resíduos sólidos, uma vez que é grande seu potencial de impacto ambiental, notadamente no que se refere à poluição das águas superficiais e subterrâneas e do solo, quando não há impermeabilização.

Exemplo de Aterro Controlado

Resumo das constatações feitas por ocasião da visita técnica realizada pela 14ª turma do MBE/Coppe UFRJ ao centro de tratamento de resíduos sólidos de Gericinó, em Bangu, no Rio de Janeiro, em 4 de outubro de 2005:

No local, havia antes um lixão que recebeu tratamento técnico fundamentado por projeto elaborado por empresa especializada.

Segundo o relato de representante do empreendimento, uma das razões de sua classificação como aterro controlado e não como um aterro sanitário é o fato de que ali não é feito o tratamento do chorume.

a) Etapas preliminares realizadas na preparação do terreno

- Estudo do terreno;
- Estudo da elasticidade do solo/sondagens do nível de contaminação; e
- Limpeza do entorno, antes ocupado por catadores de lixo, que acabavam por deixar resíduos de sua atividade no local.

b) Fases de preparação do solo

- Drenagem de nascentes;
- Compactação do solo;
- Instalação da manta impermeabilizante no solo compactado (Material: PAB – geomembrana de 2 mm em rolo de 50 m, que é aplicada no terreno, soldada por termofusão); e
- Colocação de 50 cm de argila para proteção mecânica e para dificultar a penetração do chorume.

Na camada de argila, foram instalados drenos periféricos para captar o chorume; drenos para a saída do biogás (o gás metano é queimado por autocombustão e transformado em gás carbônico); e drenos para captação das águas pluviais.

Os drenos instalados para a captação de chorume o transportam para um poço de reunião, de onde é transferido para carros-pipas e redistribuído no aterro (processo chamado recirculação).

c) Procedimentos operacionais

- O aterro recebe cerca de 3 mil toneladas de lixo por dia, que chegam em cerca de seiscentos caminhões;

- Os caminhões são pesados e descarregam o lixo na frente de serviço, sendo também pesados na saída;

- Uma balança automatizada gera um boletim diário que informa a hora de entrada, a hora de saída, o peso, o tipo de lixo e outros dados que vão subsidiar o planejamento das atuações futuras da Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (Comlurb) – contratação de garis, entre elas; e

- Taxa cobrada pelo recebimento do lixo: R$ 8,00 a tonelada.

Registre-se que, nesse caso, deveria ser verificada a possibilidade de obtenção de créditos de carbono, uma vez que o gás metano gerado no aterro é apenas queimado por combustão espontânea.

Aterro Sanitário

Segundo a norma ABNT NBR 8.419/1984, aterro sanitário é

> uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário.

Segundo Barros *et al* (1995), essa técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, dispondo-os em camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, formando células, de modo que haja uma alternância entre os resíduos e o material de cobertura.

O aterro sanitário exige cuidado e técnicas especiais, que visam mesmo ao uso futuro da área e que incluem a seleção e o preparo da área, sua operação e monitoramento.

A NBR 8.419 fixa todos os procedimentos necessários a uma correta elaboração do projeto. Um aterro sanitário deve conter necessariamente:

- Instalações de apoio;

- sistema de drenagem de água pluvial;

- sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados (chorume) e de drenagem de gases formados pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo; e

- impermeabilização lateral e inferior, de modo a evitar a contaminação do solo e do lençol freático.

Segundo D'Almeida e Vilhena (2000), considerando os aspectos ambientais, o aterro sanitário é um método atraente e de menor custo para a comunidade, com poucos recursos financeiros e humanos, e que pode satisfazer as condições de preservação do meio ambiente.

Aterro Industrial

Para os resíduos industriais enquadrados na classe 1 – perigosos (norma ABNT NBR 10.004), como produtos tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos, a sua disposição final deve ser feita em um aterro industrial, considerando as recomendações das seguintes normas da ABNT:

- NBR – 8.418/84: apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos; e

- NBR – 10.157/87: aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação.

Energias Alternativas

Segundo Tolmasquim (2003), as fontes alternativas de energia foram, ao longo do tempo, um mote que certamente pareceu a muitos apenas mais um item da pauta irrealizável de sonhadores, sem conexão com o mundo da economia e da produção, no qual apenas fontes tradicionais eram levadas, de fato, a sério.

Aos poucos, porém, realistas e sonhadores foram se aproximando, levados, de um lado, pelas diferentes conjunturas que mostraram riscos objetivos de colapso energético e, de outro, pelos avanços da pesquisa científica. O que antes era visto quase como discurso à margem caminhou para o centro da questão energética. Cresceu expressivamente o contingente dos que entendem que a busca de alternativas energéticas é mais do que postura ambientalmente correta: é questão de inteligência política, é parte irrecusável da construção estratégica do futuro do país e do planeta.

Ainda segundo Tolmasquim (2003), para o Brasil, os desafios se apresentam em níveis de intensidade proporcionais ao seu território de dimensões continentais. Um desses desafios está relacionado ao aproveitamento energético dos recursos naturais, espalhados de maneira heterogênea nas mais variadas regiões do país. Freqüentemente, o potencial brasileiro para a geração de

energia por meio de recursos renováveis é apontado como um dos maiores do planeta.

De acordo com o Greenpeace (2004), as fontes renováveis de energia oferecem inúmeras vantagens em relação às energias conhecidas como sujas (nuclear, carvão mineral e petróleo), tais como: assegurar a sustentabilidade da geração de energia a longo prazo; reduzir as emissões atmosféricas de poluentes; criar novas oportunidades de empregos; e diminuir o desmatamento de nossas florestas.

As fontes renováveis de energia, sem dúvida, terão uma participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas décadas vindouras, podendo chegar a 10% em 2020.

Segundo Rostand, as energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda a energia disponível na terra. Por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta. As formas ou manifestações mais conhecidas são: a energia solar, a energia eólica, a biomassa e a hidrenergia. As principais características por tipo são:

Energia solar – energia da radiação solar direta, que pode ser aproveitada de diversas formas por meio de vários tipos de conversão, permitindo seu uso em aplicações térmicas em geral, obtenção de força motriz diversa, obtenção de eletricidade e de energia química.

Energia eólica – energia cinética das massas de ar provocadas pelo aquecimento desigual na superfície do planeta. Além da radiação solar, também têm participação na sua formação fenômenos geofísicos como rotação da terra e marés atmosféricas. Os cata-ventos e embarcações a vela são formas bastante antigas de seu aproveitamento. Os aerogeradores modernos de tecnologia recente têm se firmado como uma forte alternativa na composição da matriz energética de diversos países.

Biomassa – a energia química, produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono por meio da fotossíntese – processo que utiliza a radiação solar como fonte energética –, é distribuída e armazenada nos corpos dos seres vivos graças à grande cadeia alimentar, cuja base primária são os vegetais. Plantas, animais e seus derivados são biomassa. Sua utilização como combustível pode ser feita das suas formas primárias ou derivados: madeira bruta, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleo animal ou vegetal, gaseificação de madeira, biogás etc.

Hidrenergia – energia cinética das massas de água dos rios, que fluem de altitudes elevadas para os mares e oceanos graças à força gravitacional. Esse fluxo é alimentado em ciclo reverso graças à evaporação da água, elevação e transporte do vapor em forma de nuvens, naturalmente realizados pela radiação solar e pelos ventos. A fase se completa com a precipitação das chuvas nos locais de maior altitude. Sua utilização é bastante antiga e as formas mais primitivas são o monjolo e a roda d'água. A hidrenergia também pode ser vista como forma de energia potencial, representada pelo volume de água armazenada nas barragens rio acima. As grandes hidrelétricas se valem das barragens para compensar as variações sazonais do fluxo dos rios e, através do controle por comportas, permitir modulação da potência instantânea gerada nas turbinas.

O Gás do Lixo (GDL)

Resumo dos sistemas empregados na coleta/extração e no tratamento do GDL, bem como das tecnologias disponíveis para o seu aproveitamento energético.

A Tecnologia do Gás do Lixo

Sistema de Coleta

Segundo Tolmasquim (2003), um sistema-padrão de coleta de GDL (usualmente composto por uma mistura de 50% de CH_4, 45% de CO_2 e 5% de H_2S e outros gases, que possuem potencial de aproveitamento energético) apresenta os principais componentes descritos a seguir:

a) Tubos de coleta

Tolmasquim (2003) informa que a coleta de gás normalmente começa após o fechamento da célula do aterro que vai formar um poço de gás. Existem duas configurações de sistemas de coleta: poços verticais e trincheiras horizontais. Mas, independentemente do tipo usado, o sistema de coleta será conectado a uma tubulação lateral, que transportará o gás para um coletor principal. O sistema de coleta deve ser planejado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás necessário.

De acordo com Willumsen (2001), a forma mais utilizada para conectar um poço de gás à bomba e ao sistema de utilização é a ligação dos poços a um tubo principal que percorre todo o aterro.

Esse sistema, entretanto, tem por característica as dificuldades com o controle da quantidade e da qualidade do gás e com o procedimento de identificação de vazamentos, uma vez que todos os tubos estão ligados a um grande sistema. A opção mais segura

e econômica seria ter um tubo para cada poço ligado a uma bomba e a uma casa de regulagem.

Em aterros sanitários construídos conforme as normas nacionais vigentes, já está prevista a colocação dessa tubulação para a coleta do gás [ABNT (1992 e 1995)].

b) Compressor

Segundo Muylaert (2000), um compressor é necessário para puxar o gás dos poços de coleta e também pode ser necessário para comprimir o gás antes de este entrar no sistema de recuperação energética. O tamanho, o tipo e o número de compressores necessários dependerão da taxa, do fluxo de gás e do nível desejado de compressão que, tipicamente, é determinado pelo equipamento de conversão energética.

c) Flare

Muylaert (2000) explica que um flare é um dispositivo simples para ignição e queima do GDL. Os projetos incluem flares abertos (ou velas) e enclausurados. Estes são mais caros, mas podem ser preferíveis (ou requeridos) porque proporcionam testes de concentração e podem obter eficiência de combustão ligeiramente alta. Além disso, flares enclausurados podem reduzir os incômodos de ruídos e iluminação.

Sistemas de Tratamento

a) Condensado

Segundo Tolmasquim (2003), quando o GDL (quente) produzido pelo aterro sanitário viaja através do sistema de coleta, este se resfria, formando um condensado que pode bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de recuperação de energia, devendo, portanto, ser controlado, removido e então adequadamente descartado (normalmente em aterro sanitário).

b) GDL

Depois de ser coletado e antes de ser usado no processo de conversão de energia, o GDL é tratado para remover algum condensado que não foi coletado nos tanques de captura, assim como particulados e outras impurezas.

As necessidades de tratamento dependem da aplicação de uso final. As aplicações de gerações de energia incluem uma série de filtros para remover impurezas, as quais podem danificar os componentes do motor ou turbina e, com isso, reduzir a eficiência do sistema. Os custos de tratamento estão incluídos nos custos de recuperação de energia descritos no item de análise de viabilidade econômica.

Sistema de Geração de Energia

O objetivo de um projeto de aproveitamento energético do GDL é convertê-lo em alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões e combustível veicular, ou abastecer gasodutos com gás de qualidade. Existem várias tecnologias que podem ser usadas para maximizar o valor do GDL, produzindo estas formas de energia. As mais importantes são:

a) Uso direto de um gás de médio BTU

O uso mais simples e normalmente de maior custo-efetividade do GDL é como um combustível de médio BTU para caldeiras ou para uso em processos industriais (por exemplo: operações de secagem, operações em fornos, produção de cimento e asfalto). Nesses projetos, o gás é transportado por gasoduto diretamente para um consumidor próximo, para ser usado em equipamentos de combustão novos ou já existentes, em substituição ou como suplemento do combustível tradicionalmente usado. Somente é requerida uma baixa remoção de condensado e um tratamento de filtração, mas podem ser necessárias adaptações ao equipamento de combustão preexistente.

b) Produção de energia

Para Tolmasquim (2003), o maior uso do GDL é como combustível para a geração de energia, com a venda da eletricidade para um consumidor próximo. A geração elétrica é vantajosa porque produz valor agregado para o GDL. A co-geração de eletricidade e energia térmica (vapor) com base no GDL pode ser uma alternativa ainda melhor. A eficiência da geração elétrica isolada varia de 20% a 50% e com o uso da co-geração. Obtém-se eficiência mais alta pela disponibilização do vapor resultante do processo de geração, que pode ser usado localmente para aquecimento e refrigeração, para outras necessidades de processo, ou ainda transportado por tubo para uma indústria ou comércio próximos, obtendo um segundo rendimento para o projeto.

Existem várias tecnologias para geração de energia: motores de combustão interna, turbinas de combustão e turbinas com

utilização do vapor (ciclo combinado). Em um futuro bem próximo, outras tecnologias, como células combustíveis, tornar-se-ão comercialmente viáveis e poderão utilizar o biogás.

Segundo Henriques (2004), a conversão em energia elétrica pode começar assim que a rede coletora estiver conectada ao motor ou turbina, que deve ser adequado para o uso com gás de qualidade pobre de metano (biogás). Com cuidado de manutenção e não muita experiência, é possível assegurar que se produza eletricidade a uma confiabilidade de 95%. Um programa detalhado de manutenção do aparelho de geração, em conjunto com um plano de manutenção extensivo no sistema de coleta, assegurará uma produção de eletricidade otimizada.

Segundo Willumsen (2001), o uso mais conhecido do biogás é em motor a combustão interna, acoplado a um gerador produzindo energia elétrica. Uma planta típica para disponibilizar energia com motor a gás atinge potencial entre 350 e 1.200 kW por motor. Em alguns países da Europa, é também normal usar o "resto" de calor das torres de resfriamento, sistema de resfriamento e óleo exausto do motor. Isso é, no entanto, pouco usual nos Estados Unidos, embora mais de 50% da energia disponível seja, por isso, perdida.

c) Venda de gás de qualidade através de gasodutos

Uma terceira opção de projeto é a depuração do GDL para um produto de alto BTU (gás natural) para injeção em um gasoduto. Por causa do seu alto custo de capital, essa opção só terá custo-efetividade para aterros sanitários com substancial recuperação de gás, isto é, pelo menos quatro milhões de pés cúbicos/dia (113 mil m^3/dia) [Muylaert (2000)]. Essa aplicação requer um tratamento de gás para remover CO_2 e impurezas relativamente intensivas. Em adição, as companhias de gás requerem que as injeções de gás em seus sistemas de gasoduto atendam a exigentes padrões de qualidade, o que pode requerer controles adicionais. De qualquer forma, essa pode ser uma opção atrativa para proprietários de aterros sanitários, desde que seja possível utilizar todo o gás recuperado. A depuração do gás exigirá significativa compressão a fim de atender à pressão no gasoduto no ponto de conexão. Gasodutos de alta pressão requerem de 300 a 500 psig (*pounds per square inch gauge* – libras por polegada quadrada manométrica, ou seja, medida de pressão pura sem considerar a exercida pela atmosfera), enquanto os de média e baixa podem requerer de 10 a 30 psig.

Custo de Investimento em Sistema de Recuperação de Gás de Lixo

Segundo Muylaert (2000), o custo total de um sistema de coleta varia largamente, de acordo com um número de fatores específicos do local. Se o aterro sanitário for profundo, os custos de coleta tenderão a ser altos, pelo aumento no custo dos poços. Os custos também vão subir, se houver a necessidade de aumentar o número de poços instalados. A Tabela 1 nos mostra os custos de um sistema de coleta com flare para aterros sanitários de 1, 5, e 10 milhões de toneladas de lixo no local.

O sistema de extração consiste num sistema de coleta (dos resíduos) e num sistema de sucção, contendo bombas, sistemas de monitoramento e controle. Para uma média de 10 metros de profundidade no aterro, o investimento no sistema de coleta varia entre 20 mil e 40 mil US$/ha e o sistema de sucção varia entre 10 mil e 45 mil US$/ha. A média do custo de investimento por kWe instalado para um sistema completo de recuperação de gás de lixo está sintetizado na Tabela 2.

Segundo relato de Henriques (2004), na década de 1980, a Comlurb instalou uma planta para extração de gás de lixo no aterro do Caju com custos extremamente baixos de cerca de US$ 320 mil, pois o projeto era o mais simples e operacional possível, sem uso de equipamentos importados e sem preparação do local. A maior fatia dos recursos foi destinada aos equipamentos, pois dois compressores foram responsáveis por 41,64% dos investimentos totais.

Tabela 1

Custos do Sistema de Coleta

TAMANHO DO LIXO DO ATERRO SANITÁRIO	FLUXO ESTIMADO DE GÁS (Mil m³/Dia)	CUSTO DE CAPITAL (X Mil US$)	CUSTOS DE O&M ANUAL (X Mil US$)
1 Milhão de Toneladas Métricas	642	628	89
5 Milhões de Toneladas Métricas	2.988	2.088	152
10 Milhões de Toneladas Métricas	5.266	3.599	218

Fonte: *EPA (1996).*

Tabela 2

Custo Médio de Investimento para a Recuperação de Gás de Lixo em US$/kWe

COMPONENTE	CUSTO EM US$/kWe
Sistema de Coleta	200 – 400
Sistema de Sucção	200 – 300
Sistema de Utilização	850 – 1.200
Planejamento e Projeto	250 – 350
Total	**1.550 – 2.250**

Fonte: *Willumsen (2001).*

Panorama Mundial da Geração com Base no GDL

Para Willumsen (2001), existem cerca de 950 plantas de gás de lixo em todo o mundo, nas quais o gás é utilizado com propósito energético. Na Tabela 3, há um panorama da locação mundial das plantas. No entanto, o número deve ser visto com reserva, pois não é possível obter dados exatos de todos os países e a situação brasileira tem apresentado, ao longo do tempo, muitas mudanças com o aumento do número de projetos.

Cerca de dois terços dessas emissões são oriundas de países desenvolvidos, sendo que os 11 maiores emissores representam 70% das emissões globais. Os Estados Unidos são os maiores emissores, seguidos por China, Canadá, Alemanha, Reino Unido e Comunidade dos Estados Independentes (ex-URSS).

A contribuição relativa dos países em desenvolvimento está mudando rapidamente. Por causa das tendências de crescimento populacional e urbanização, bem como das necessidades de

Tabela 3

Distribuição Geral de Plantas de Gás de Lixo pelo Mundo

PAÍSES	NÚMERO APROXIMADO DE PLANTAS
China	3
República Tcheca	5
Hungria	5
Brasil	6
França	10
Espanha	10
Suíça	10
Finlândia	10
Polônia	10
Áustria	15
Noruega	20
Dinamarca	21
Canadá	25
Austrália	25
Itália	40
Holanda	60
Suécia	70
Inglaterra	135
Alemanha	150
Estados Unidos	325
Total	**955**

Fonte: *Willumsen (2001).*

crescimento econômico, esses países serão responsáveis por uma parcela cada vez maior das emissões de metano.

Panorama Brasileiro do GDL

Das Perspectivas para o Aproveitamento do GDL

Segundo Muylaert (2000), de acordo com dados do Inventário Brasileiro de Emissões Antropogênicas de Gases de Efeito Estufa (MCT 2000), usando a metodologia do IPCC [IPCC (1996)], as emissões líquidas de metano provenientes de resíduos sólidos no Brasil, para os anos de 1990 e 1994, são de 617,95 e 676,89 Gg (gigagramas) por ano, respectivamente.

Atualmente, essas emissões não são recuperadas. Considerando que o potencial de aquecimento global (GWP – *global warming potential)* relativo às emissões de metano é equivalente a 21 vezes o potencial das emissões do dióxido de carbono, teríamos em 1994 um total de emissões equivalentes a 14.214,69 Gg/ano de dióxido de carbono.

Esse montante poderia ser evitado parcialmente (apenas nos aterros de exploração economicamente viável) através da geração com base no GDL, trazendo o duplo benefício de evitar tanto as emissões do GDL quanto as que seriam oriundas da geração com base no gás natural (é a tendência de expansão da oferta pelo setor privado), para atender à demanda crescente de energia necessária ao desenvolvimento do país.

Segundo Henriques (2004), até o final de 2003 não existiam plantas de aproveitamento de gás de lixo em operação no Brasil, somente algumas em estado final de montagem, como é o caso do Aterro Bandeirantes, em São Paulo, hoje em funcionamento, conforme relatado a seguir. Outras iniciativas são o Aterro de Adrianópolis, em Nova Iguaçu (RJ), e o Salvador (BA). Foi inaugurado recentemente no Aterro de Gramacho, administrado pela Comlurb, uma planta-piloto para utilização do gás para conversão em energia elétrica.

Em 1997, foi realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), pela Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia, pelo Programa Estadual de Mudanças Climáticas Globais (Proclima) e pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo o Relatório de Emissões de Metano Gerado no Tratamento e Disposição de Resíduos no Brasil e teve início o Programa de Recuperação de Metano de Aterros Sanitários no Estado de São Paulo. Este último já prevê a criação de uma planta de geração com base no GDL em São Paulo.

Em estudo sobre a exploração do biogás, para geração de energia elétrica, o governo brasileiro projetou uma capacidade míni-

ma instalada de 20 MW de potência, nos aterros sanitários que, por sua capacidade de geração, justificam técnica e economicamente a ação.

Em paralelo, a Prefeitura de São Paulo, em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), elabora um documento com o propósito de estudar a alternativa de uso de tecnologia nova, em termos nacionais, para o aproveitamento da energia contida nesses gases.

Henriques (2004) acrescenta ainda que, ao término do processo de seleção do subconcessionário para a produção de energia elétrica, com base no biogás (GDL), a Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo (SVMA) estará dando passo decisivo para equacionar o problema que surge com a geração do gás oriundo dos aterros sanitários. Além da meta principal de evitar os reflexos importantes do metano no efeito estufa do planeta, outros problemas estarão sendo resolvidos relacionados à segurança, tanto dos aterros como dos ocupantes das suas cercanias.

Outras Experiências no Brasil

No passado, após as crises do petróleo, foram realizadas experiências de aproveitamento energético do lixo em Natal e no Rio de Janeiro. Entretanto, com a estabilidade do preço do petróleo e com a crise da dívida, esses empreendimentos acabaram por ser abandonados.

Rio de Janeiro

Segundo Muylaert (2000), foi implementado, nos anos 1970, um projeto de coleta de biogás no aterro sanitário do Caju. O transporte do biogás produzido era realizado por um gasoduto de 4 km até a planta de gás da Companhia Estadual de Gás (CEG), em São Cristóvão. Nesse local, o biogás era adicionado ao nafta e posteriormente craqueado em gás natural, a fim de ser distribuído para uso residencial no Rio de Janeiro.

Em dez anos de operação, o sistema recuperou 20 milhões de m^3 de GDL, que foram adicionados ao gás produzido pela planta da CEG, sem nenhum tipo de tratamento especial, a custos operacionais extremamente baixos (duas bombas de 2 HP operadas por três técnicos).

Em 1980, os engenheiros da Comlurb iniciaram estudos para utilização do GDL como combustível veicular, utilizando um detalhado projeto de coleta, purificação e compressão.

O aterro sanitário do Caju está localizado às margens da Baía de Guanabara, a oito quilômetros do centro da Cidade do Rio de Janeiro. Foi instalado em 1935 e operou até 1977, quando foi fechado.

Durante sua operação, não existia controle sobre a quantidade e a qualidade do lixo. Na verdade, esse era um aterro aberto, com uma cobertura de terra irregular que recebeu aproximadamente 30 milhões de m^3 de lixo. O aterro foi expandido em uma área de aproximadamente um milhão de m^2 e totalmente recoberto por camadas irregulares de argila. Seu ponto-padrão mais alto fica cerca de 20 m acima do nível do mar. Seu sistema de coleta de biogás ocupa uma área de aproximadamente 250 mil m^2 e está localizado nas últimas áreas aterradas.

Por causa das altas taxas de pluviosidade e insolação do Rio de Janeiro, bem como da alta taxa de material orgânico do lixo no estado, existem condições ideais para produção de GDL. Mesmo sem qualquer tipo de tratamento do lixo e área de coleta de apenas um quarto do total do aterro, 12 anos após seu fechamento, medições realizadas pela Comlurb atestam níveis de produção de gás ainda aceitáveis para aproveitamento energético economicamente viável [Muylaert (2000)].

Natal

A cidade de Natal produzia aproximadamente 500 toneladas de lixo urbano por dia na década de 1980, que eram dispostos em um depósito controlado próximo a uma grande duna de areia. Em função da alta percentagem de matéria orgânica, das altas taxas pluviométricas e da temperatura da região, identificou-se o grande potencial de produção de GDL. Em 1983, a administração da cidade decidiu elaborar três projetos para utilização desse gás:

- Em uma cozinha comunitária para moradores de baixa renda da comunidade próxima ao aterro;
- Em uma rede de distribuição de gás conectada diretamente a uma comunidade próxima de 150 habitantes; e
- Em uma ligação para alimentação de uma caldeira de uma indústria de castanha-de-caju.

O custo do investimento estimado foi de US$ 50 mil e, apesar de apresentado para agências de investimento federal, não obteve financiamento. Mesmo assim, a administração de Natal decidiu implementar a cozinha industrial com recursos próprios, o que aconteceu em 1986.

São Paulo

Em São Paulo, também há registro de programas para aproveitamento do GDL, como o Programa de Recuperação de Metano de Aterros Sanitários no Estado de São Paulo.

A Região Metropolitana de São Paulo apresenta problemas ambientais de grande magnitude decorrentes de um processo histórico de ocupação e expansão do espaço urbano, sem o devido equacionamento das questões socioambientais. Uma delas diz respeito ao gás metano produzido espontaneamente nos depósitos de lixo, que afeta negativamente o efeito estufa e pode causar explosões, com conseqüências mórbidas em decorrência da presença de catadores nos lixões [Muylaert (2000)].

O Aterro Bandeirantes

O Aterro Bandeirantes, um dos maiores da América Latina, foi desativado em março de 2007. Durante 25 anos, 30 milhões de toneladas de resíduos depositados no aterro ficaram "fermentando" e emitindo biogás.

Em 2004, a Biogás Energia Ambiental S.A. e a prefeitura assinaram um contrato para a exploração do gás, originando a Usina Termelétrica Bandeirantes, que produz 20 MW.

Além de gerar energia suficiente para abastecer uma cidade de 25 mil habitantes, a combustão do metano reduz a emissão de carbono na atmosfera. Nos quase três anos de operação da termelétrica, 1,6 milhão de toneladas de carbono deixaram de ser emitidas, gerando o mesmo número de créditos.

Vantagens e Desvantagens da Tecnologia de GDL

Segundo Henriques (2004), de modo geral, o GDL tem as vantagens de: reduzir a emissão de metano (um dos gases potencializadores do efeito estufa); apresentar baixo custo para o descarte de lixo; permitir utilização para geração de energia ou como combustível doméstico. Algumas de suas desvantagens são: a ineficiência no processo de recuperação do gás, que permite um aproveitamento de aproximadamente 40% do total de GDL produzido; a inviabilidade de utilização do metano para lugares remotos; o alto custo para atualizar a planta; possibilidades de ocorrência de auto-ignição e/ou explosão pelas elevadas concentrações de metano na atmosfera. Os benefícios da utilização do gás de lixo destacam-se a seguir, ressaltando sua importância e a necessidade de seu uso urgente. A utilização desse gás como matéria-prima para a sua conversão em energia é um dos assuntos abordados adiante.

Benefícios Ambientais e Econômicos

De acordo com Henriques (2004), o GDL contém compostos orgânicos voláteis, que são os principais contribuintes para a queda do nível de ozônio e que incluem em seu escopo poluentes tóxicos. Quando pouco ou nada é feito para controlá-los, esses compostos são lenta e continuamente lançados à atmosfera como produto da decomposição do lixo. Quando o GDL é coletado e queimado em um sistema de obtenção de energia, esses compostos são destruídos, evitando a conseqüente perda ambiental.

Segundo Muylaert (2000), regulamentações governamentais existentes em países industrializados, como nos Estados Unidos e no Reino Unido, exigem que os aterros sanitários coletem suas emissões de GDL. A tendência é que essas e novas restrições sejam implantadas, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento. Uma vez que o GDL é coletado, o proprietário/operador do GDL tem algumas opções de escolha, tais como: (1) queimar o gás em flares, ou (2) produzir energia para uso próprio ou para venda. As outras soluções resolvem o problema da poluição, mas apenas a segunda recupera o custo de capital pelo valor da energia e ainda substitui o uso de combustíveis fósseis e os impactos ambientais associados a estes.

A geração com base no GDL também tem um significativo potencial de reduzir o risco de mudança global do clima. Em alguns países, como os Estados Unidos, o GDL é a maior fonte isolada de emissões antropogênicas de metano, representando 40% dessas emissões a cada ano. Reduzir essas emissões é uma ação importante na luta contra a mudança do clima, pois cada tonelada de metano emitida na atmosfera tem um impacto de aquecimento equivalente a 21 toneladas de dióxido de carbono, sobre um período de tempo de cem anos. Além disso, o ciclo de vida do metano na atmosfera é cerca de vinte vezes mais rápido do que o do dióxido de carbono, o que significa que parar as emissões de metano hoje pode trazer um progresso mais rápido na recuperação do lento processo de mudança do clima global.

Segundo Henriques (2004), partindo da premissa de que num futuro próximo existirão regulamentações que obrigarão os aterros sanitários a coletar e queimar o GDL, os proprietários/operadores de aterros terão a responsabilidade de arcar com os custos de instalação e manutenção de um sistema de coleta. Assim, o custo extra de instalar um sistema de conversão de energia tornaria o investimento total mais atrativo. A venda ou o uso do GDL, normalmente, tornará o custo total menor e o empreendimento mais confiável. Quando as condições locais do aterro forem favoráveis, o empreendimento poderá trazer lucros. Um uso mais difundido do GDL para sua conversão em energia trará também a criação de empregos relacionados ao projeto e à operação e fabricação do sistema de geração de energia. As comunidades locais também serão

beneficiadas pelos empregos e ainda terão vantagens relacionadas ao desenvolvimento de fontes de energia locais nas áreas de aterro sanitário.

Identificação das Barreiras à Tecnologia

De acordo com Tolmasquim (2003), falta uma política para a viabilização da entrada da tecnologia no mercado brasileiro, ao contrário do ocorrido com as termelétricas a gás natural, cuja implantação conta com incentivos regulatórios, tais como o programa de priorização de térmicas.

A falta de informação dos tomadores de decisão com relação às tecnologias existentes para a questão dos resíduos sólidos urbanos é mais uma das barreiras de entrada. Medidas de difusão de informações sobre as tecnologias alternativas apresentadas, se possível, com a realização até de estudos de viabilidade técnico-econômica, poderiam mitigar esse problema.

Tolmasquim (2003) cita ainda outra barreira, que é a não-contabilização dos custos ambientais e da saúde na análise de viabilidade das diferentes opções tecnológicas tradicionais e alternativas para a geração de energia elétrica ou, ainda, para as opções (tradicionais ou alternativas) para a disposição e o aproveitamento dos resíduos sólidos.

A discussão sobre a viabilidade da coleta seletiva tem sido prejudicada pela pouca disponibilidade de dados e trabalhos sobre os custos das conseqüências – externalidades – do atual sistema brasileiro de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSUs), as quais são ocultadas através da pulverização das fontes, como os setores de saúde, meio ambiente, energia, emprego e segurança.

Vale aqui registrar alguns fatores que representam também barreiras ao GDL.

A disponibilidade de resíduos é sempre menor do que a demanda energética urbana, o que requer sua complementação e, apesar da elevada atratividade financeira da geração elétrica com resíduos, o investimento de capital demandado é bastante superior ao requerido pelas usinas que utilizam combustíveis fósseis.

Existe certa insegurança em relação ao cumprimento, pelos municípios, do contrato de fornecimento do insumo (lixo) para a geração de energia nas usinas construídas no seu período de utilização (vinte anos, em média).

O município poderia diminuir o custo que enfrenta para a disposição de resíduos sólidos urbanos com os ganhos originados na geração de energia. No entanto, essa receita deveria ser transferida para as usinas de lixo, tornando essa alternativa mais competitiva. Dessa forma, as empresas estariam buscando receber duas receitas, uma proveniente do tratamento do lixo e a outra da venda da energia elétrica gerada. As prefeituras, em contrapartida, teriam um desconto na energia elétrica gerada com base nos resíduos sólidos.

Outra questão é a garantia de compra e transmissão da energia gerada pelas concessionárias locais, no caso em que as prefeituras não queiram a energia gerada. Essas usinas devem gerar energia a um custo competitivo com as fontes de geração existentes atualmente, ou tentar a comercialização direta com os consumidores finais, quando suas potências superam 3 MW. Atualmente, isso só é possível por meio de alterações das leis orgânicas dos municípios, o que atrasa demasiadamente o processo, inibindo os investidores.

Apesar das barreiras acima identificadas, pode-se dizer que o cenário está passando por processo de alteração, pois cada vez mais casos de sucesso vão sendo implementados. As boas experiências tendem a ser replicadas, como se pode comprovar com a Novagerar, o Aterro Bandeirantes e outras que recentemente vêm sendo implementadas no Brasil.

Estudo de Caso: Central de Tratamento de Resíduos Nova Iguaçu

Considerações Iniciais

A gestão dos resíduos sólidos domiciliares é de responsabilidade da prefeitura. O município de Nova Iguaçu adotou um modelo institucional nos moldes da parceria público-privada (PPP), por meio de uma concessão de vinte anos para o tratamento e a disposição final de seus resíduos.

A S.A. Paulista, empresa de construção pesada que atualmente se destaca na gestão de resíduos e meio ambiente, entre outros segmentos, obteve essa concessão por meio de licitação pública realizada pela prefeitura em 1999, para implantar a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) Nova Iguaçu. A central, no entanto, iniciou seu funcionamento somente em fevereiro de 2003, após obtenção de todas as licenças ambientais na esfera municipal, por meio da Secretaria de Meio Ambiente de Nova Iguaçu, na esfera estadual, por meio da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Feema), e na esfera federal, por meio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), sob supervisão direta do Ministério Público do Rio de Janeiro.

Como parte desse contrato de concessão, a S.A. Paulista teve obrigação contratual de remoção e reabilitação do local do Lixão de Marambaia, que foi aberto em 1986 e parou de funcionar no fim de 2002, com aproximadamente 2 milhões de toneladas de lixo depositados.

Central de Tratamento de Resíduos Nova Iguaçu

A CTR Nova Iguaçu ocupa uma área de 1,2 milhão de m^2, distribuída em quatro fundos de vale, sendo composta pelas seguintes unidades:

- Aterro sanitário e industrial;
- Unidade de tratamento de chorume;
- Unidade de tratamento de resíduos de serviço de saúde;
- Unidade de reciclagem de entulho;
- Laboratório;
- Centro de educação ambiental; e
- Viveiro de mudas

Está capacitado a receber os seguintes resíduos:

- Resíduos urbanos de Nova Iguaçu e de outros municípios;
- Resíduos industriais e comerciais;
- Resíduos de serviço de saúde; e
- Resíduos da construção civil.

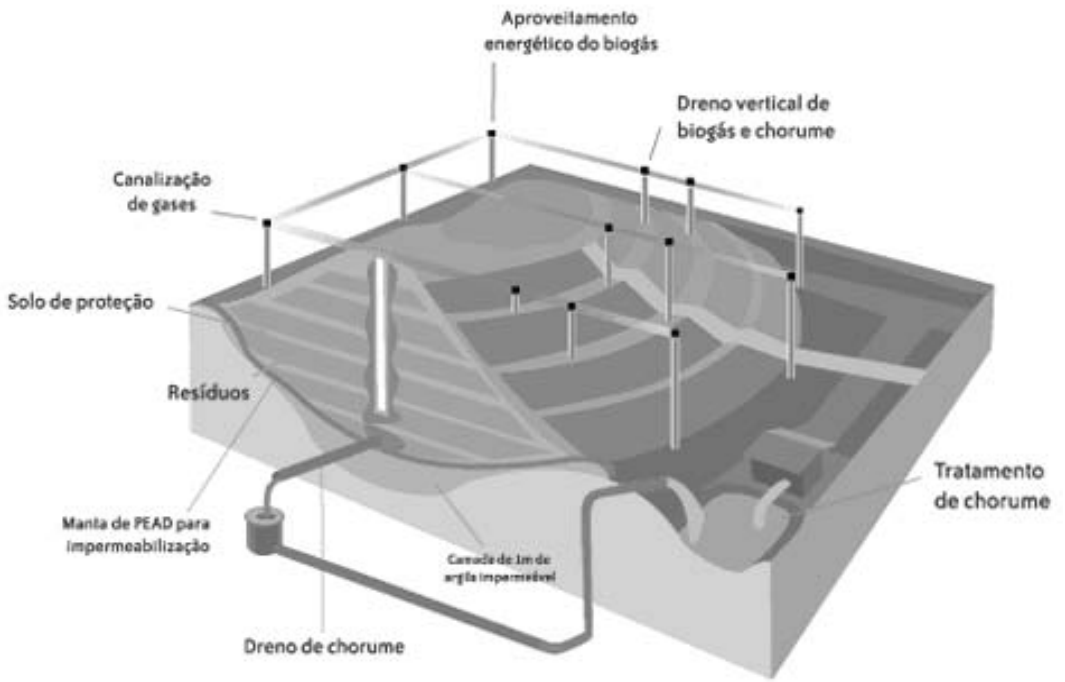
Aterro Sanitário e Industrial

O aterro sanitário e industrial da CTR tem dupla camada de impermeabilização na base do terreno, uma de 1,10 m de solo argiloso compactado com baixíssima permeabilidade, protegida por uma manta de polietileno de alta densidade (PEAD), para garantir qualquer percolação do chorume para o solo e o lençol freático.

Em seguida, um sistema de drenagem foi instalado para a captação do chorume e do gás gerados pela decomposição do lixo.

Figura 1

Sistema Esquemático do Aterro



Fonte: *<http://www.ctrnovaiguacu.com.br>.*

Os resíduos são distribuídos em camadas. Depois de atingir 5 m de altura, cada camada de lixo é coberta por uma camada de 30 cm de argila. Ao completar dez camadas, o lixo é novamente envolvido pela manta de polietileno. Essa etapa é muito importante para evitar que a água da chuva se infiltre no lixo, gerando mais chorume. Ao final do processo, toda a área é coberta por terra, onde serão plantadas espécies de mata atlântica.

Unidade de Tratamento de Chorume

Através dos drenos, o chorume é levado para duas lagoas e posteriormente bombeado para um sistema de tratamento de chorume, no qual é desidratado a aproximadamente 100° C. Nesse processo, 95% do chorume se transforma em vapor d'água, enquanto os outros 5% restantes voltam para a área de descarte do aterro e são processados como lixo comum.

Unidade de Tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde

Os resíduos de serviços de saúde são tratados por um sistema de desinfecção térmica de tecnologia alemã. O tratamento é realizado num equipamento compacto, que primeiramente tritura a massa de resíduos, para depois realizar a desinfecção térmica contínua. Os resíduos resultantes podem ser destinados em aterros sanitários convencionais, uma vez que sua classificação enquadra-se como resíduo comum não-infectante.

O processo de desinfecção ocorre em meio de vapor saturado e com transporte da massa de resíduos através de um parafuso sem fim. Este fica envolto por um cilindro contendo óleo térmico, que mantém constante a temperatura de desinfecção de resíduo. Há ainda a redução em cerca de 80% do volume dos resíduos recebidos.

Unidade de Reciclagem de Entulho

A CTR reaproveita resíduos inertes provenientes da construção civil através de uma unidade própria para processamento de entulho. A tecnologia utilizada dispõe das seguintes unidades: central semimóvel e britadores de impacto (percussão).

O britador é escolhido em função da qualidade nos grãos e desempenho esperado. A produtividade do equipamento atende à quantidade mínima de 150 t/dia de resíduos.

O material processado nessa unidade pode ser utilizado na cobertura dos resíduos dispostos no aterro sanitário.

Laboratório

O controle da qualidade dos resíduos descarregados é realizado através da análise de amostras feitas no laboratório e também por fiscais que trabalham durante toda a jornada de operação. É feito o acompanhamento de todas as descargas e também a verificação do tipo de resíduo transportado.

As cargas de cada empresa são dispostas em célula identificada em planta, para que os resíduos possam ser localizados e identificados dentro do aterro a qualquer momento. Há, ainda, um controle quanto à veracidade das informações dos manifestos de resíduos, isto é, deve haver compatibilidade entre o que foi declarado com o tipo de resíduo efetivamente descarregado.

Centro de Educação Ambiental/Catadores

Segundo informações da empresa (fonte: <http://www.ctr-novaiguacu.com.br>), as pessoas que tiravam do lixão seu sustento

trabalham hoje na empresa ou na cooperativa de reciclagem montada com a participação da Prefeitura de Nova Iguaçu. Cursos profissionalizantes, alfabetização para adultos, oficinas de reciclagem e programas de educação ambiental são realizados com as comunidades do entorno no Centro de Educação Ambiental da CTR.

Viveiro de Mudas

No viveiro, trabalham ex-catadores do extinto Lixão da Marambaia, cultivando mudas de mata atlântica, utilizadas na cobertura de áreas degradadas e enriquecimento vegetal.

Monitoramento Ambiental

A CTR Nova Iguaçu realiza o monitoramento dos recursos hídricos, dos resíduos industriais e dos resíduos de serviços de saúde, além de controlar a quantidade de resíduos recebidos.

São coletadas amostras de água na superfície e também no subsolo. A cada três meses, essas amostras são enviadas para agências ambientais para comprovar a qualidade ambiental do empreendimento.

O controle dos resíduos industriais é realizado na unidade de gerenciamento de resíduos, no laboratório de análise.

Os resíduos de saúde, provenientes de estabelecimentos hospitalares e similares, são tratados por um sistema de tecnologia alemão, como já exposto anteriormente.

O controle da quantidade de resíduos recebidos é realizado por duas balanças eletrônicas conectadas a um sistema informatizado e auditável.

Aproveitamento Energético do Gás

O biogás gerado na CTR é captado, tratado, canalizado e utilizado como fonte de energia “limpa”, conforme a seguir relatado.

Aproveitamento como Energia Térmica (Primeira Etapa)

Atualmente, está em funcionamento a primeira etapa do aproveitamento energético, na qual o gás é utilizado como insumo energético no sistema de tratamento do chorume.

O tratamento do chorume pode ser dividido em duas etapas: na primeira, realiza a canalização e sucção do biogás e, na segunda, ativa a operação de equipamentos de evaporação, que promovem a redução do volume percolado pela eliminação do vapor d'água nele presente.

O processo de captação e drenagem do biogás do aterro é feito por meio de drenos, nos quais o biogás é canalizado por tubulações de PEAD, conduzido a dois manifolds e, então, sugado para o conjunto dos evaporadores.

O evaporador é constituído por soprador de ar de combustão, tubo de combustão, câmara de vaporização, sistema de exaustão e sistema de descarga de sólidos. O equipamento assegura a evaporação da água do percolado e a sedimentação de sólidos no interior da câmara de evaporação, constituindo um lodo que é posteriormente destinado ao aterro sanitário.

Os vapores gerados no processo de evaporação passam por um filtro (*demister pad*) antes de serem lançados para a atmosfera. O monitoramento desses vapores é realizado periodicamente e os resultados são encaminhados para o órgão estadual de meio ambiente.

Benefícios Gerados pelo Processo

- O chorume é efetivamente tratado, evitando a poluição do solo e de rios;
- O biogás não é lançado na atmosfera, contribuindo para a mitigação do efeito estufa; e
- O gás metano, utilizado para tratar o chorume, é um combustível renovável e não-poluente.

Aproveitamento como Energia Elétrica (Segunda Etapa)

O projeto prevê ainda instalação de usinas geradoras de energia elétrica, que entrarão em funcionamento em 2008.

Segundo notícia veiculada no jornal *Valor Econômico* em 31 de janeiro de 2008, a nova fase vai consolidar o modelo do negócio da Novagerar, hoje responsável por outros projetos de aproveitamento de GDL. A capacidade da central térmica será inicialmente de 6 MW, a serem vendidos a consumidores livres em leilões de energia elétrica. Em fase posterior, a geração da usina deverá dobrar.

O Projeto Novagerar

A CTR Nova Iguaçu criou o projeto Novagerar, que tem como objetivo a captação, o tratamento e o aproveitamento energético do biogás para a produção de energia limpa.

O Novagerar foi o primeiro empreendimento do mundo a ser oficialmente inscrito como projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Tratado de Quioto. O registro foi feito no Executive Board da ONU no Comitê de Mecanismo do Desenvolvimento Limpo, em 18 de novembro de 2004, na sede do MDL, em Bonn, na Alemanha.

No âmbito do MDL, o Novagerar é um projeto de mitigação do efeito estufa. Esse projeto visa minimizar as emissões de gases do efeito estufa através da coleta do biogás gerado no aterro sanitário de Adrianópolis e no Lixão de Marambaia e, posteriormente, de sua utilização para geração de eletricidade. Com isso, pretende-se gerar reduções de emissões certificadas, que serão comercializadas e viabilizarão a implantação e a operação do empreendimento.

No cenário de linha de base, sem nenhum procedimento de coleta e destruição do metano, os Aterros de Adrianópolis e de Marambaia iriam emitir cerca de 852.862 toneladas de metano durante os 21 anos de duração do projeto. Considerando o potencial

Gráfico 2

Marambaia: Emissões com Aproveitamento Energético

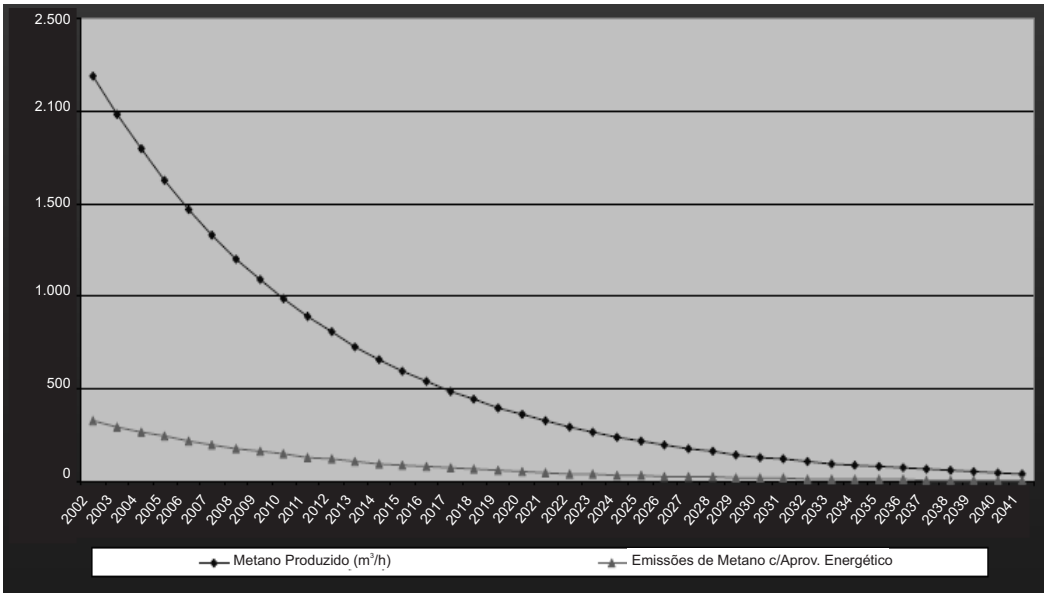
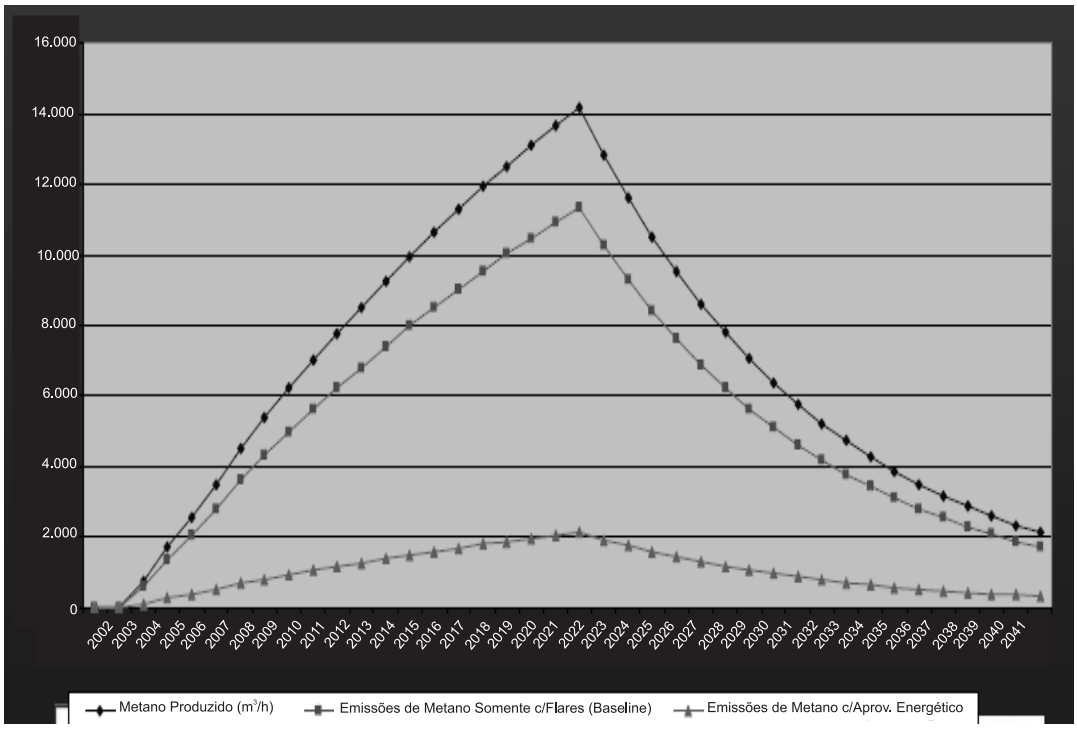


Gráfico 3

Adrianópolis: Geração Teórica do Metano, Emissões Somente com Flares e Emissões com Aproveitamento Energético



de aquecimento do metano como 21, a emissão de gás carbônico equivalente (CO_2e) seria de aproximadamente 17.910.109 toneladas. Com a destruição do metano e a conseqüente redução de emissões, fica garantida a possibilidade de certificação, no âmbito do Protocolo de Quioto.

O projeto Novagerar atraiu interesse do governo da Holanda, que, por meio do Banco Mundial (Bird), fechou contrato com a empresa para a compra de créditos de carbono. Para a aprovação dessa operação, o Banco Mundial realizou auditorias para verificação de conformidade com as políticas ambientais do banco. Esse é o primeiro projeto do Brasil ligado à destinação final de lixo que tem o apoio do Bird.

Segundo notícia publicada no *Valor Online* (3.8.2006), a Novagerar vendeu seus créditos de carbono, no valor de € 13,25 milhões, a um fundo de investimento da Holanda. O Banco do Brasil (BB) entrou como fiador da operação.

Seguindo os princípios do Tratado de Quioto, que exige dos empreendimentos compromisso com o desenvolvimento sustentável, a CTR Nova Iguaçu foi construída para substituir o extinto lixão da cidade, onde trabalhavam cerca de cem catadores em condições desumanas. As atividades do vazadouro foram encerradas e a área está em recuperação ambiental (já foram plantadas lá cerca de 20 mil mudas nativas de mata atlântica). O local será devolvido à comunidade como um parque público para lazer.

Outros Projetos da Empresa

O Projeto Novagerar acabou gerando uma nova empresa do Grupo S.A. Paulista – a Novagerar Ecoenergia –, dedicada ao desenvolvimento de empreendimentos focados no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e no mercado internacional de carbono.

Hoje, a empresa tem projetos em Nova Iguaçu, Magé e Jardim Gramacho, no Rio de Janeiro, além de Candeias, em Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco.

O Apoio do BNDES ao Projeto Novagerar

Em dezembro de 2006, o BNDES contratou financiamento de R$ 15,5 milhões para projeto de ampliação da Central de Tratamento de Resíduos Nova Iguaçu (CTR-NI).

O financiamento, à concessionária S. A. Paulista, corresponde a 58% do valor total do investimento, de R$ 26,8 milhões. O projeto prevê a instalação de equipamentos de queima de gases e de reciclagem e o reaproveitamento de entulhos, além da ampliação do sistema de tratamento de resíduos.

Conclusão

Este trabalho teve como principal objetivo apresentar e analisar o aproveitamento energético do biogás gerado em depósito de resíduos sólidos, ainda incipiente no Brasil.

Apresentou-se uma breve revisão bibliográfica, abordando o conceito histórico de desenvolvimento sustentável, a situação atual da disposição de resíduos sólidos no Brasil, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Tratado de Quioto e as chamadas fontes alternativas de energia. Na terceira parte, dedicada ao Gás do Lixo (GDL), foi possível perceber seus benefícios, que algumas vezes ultrapassam o objetivo principal, o aproveitamento energético do lixo. Com a redução da emissão do biogás na atmosfera, ocorre a mitigação do aquecimento global, já que este é composto aproxi-

madamente por 50% de metano (um dos gases potencializadores do efeito estufa).

Algumas das principais barreiras identificadas para a implantação da tecnologia foram: a falta de garantia de que os municípios cumpram o contrato de fornecimento de lixo para geração de energia, a falta de uma política de viabilização para essa tecnologia no país e, também, a não-contabilização dos custos ambientais e da saúde na análise de viabilidade das diferentes opções tecnológicas tradicionais e alternativas para a geração de energia elétrica.

A principal contribuição deste trabalho foi demonstrar, através do estudo de caso, a viabilidade de todo o processo de implantação da tecnologia GDL. Por meio de um modelo institucional de parceria público-privada (PPP), o município disponibiliza a concessão de vinte anos para tratamento e disposição final de seus resíduos. A empresa privada recebe pelo serviço prestado ao município e, com o aproveitamento do biogás, pode gerar energia térmica e elétrica para uso próprio e para terceiros, agregando valor ao empreendimento. Através do Mecanismo do Desenvolvimento Limpo, o projeto pode ganhar com a comercialização da redução de emissões certificadas de créditos de carbono.

Constatada a viabilidade de utilização da tecnologia e o potencial existente no Brasil, já que aproximadamente 75% do lixo é disposto a céu aberto sem qualquer tipo de aproveitamento, ou mesmo de tratamento, pode-se concluir que a falta de informação de tomadores de decisão é barreira que pode ser gradualmente vencida com o sucesso das iniciativas que vêm sendo implementadas.

Tanto é assim, que hoje o Brasil é o país que tem mais projetos (17) de aproveitamento de biogás em aterros sanitários registrados na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, sendo seguido pelo Chile, com seis projetos, Argentina e China, com cinco, México, com três, África do Sul, Coréia do Sul e Tunísia, com dois, Armênia, Bangladesh, Bolívia, Costa Rica, Egito, El Salvador, Equador, Geórgia, Israel, Malásia, Peru e Tanzânia, com um, num total de 54, segundo informações da mesma Convenção-Quadro.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA ESTADO. “Seminário discute o aproveitamento do biogás de aterros”. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.ibps.com.br>. Acesso em: 17 dez. 2004.

ALVES FILHO, M. "Tese mostra potencial energético do biogás". *Jornal da Unicamp*, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.ibps.com.br>.Acesso em: 17 dez. 2004.

AZEVEDO, Lizandra Prado de. *Aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários*. Dissertação apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, dez. 2005.

BARROS, R. T. V. *et al*. *Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

BIODIESELBR. "Biogás em aterros sanitários e recuperação energética". Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas-aterros-sanitarios.htm>. Acesso em: 31 jul. 2006.

BELLO, C. V. V. *Uma proposta para o desenvolvimento sustentável com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial.* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 1998, 116 p. (Dissertação de Mestrado).

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. "Pesquisa sobre emissões de metano dos depósitos de lixo no Brasil". São Paulo, 1999. Disponível em <http://www.mct.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2004.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.* 2.ed. São Paulo, IPT/Cempre, 2000.

ELETROBRÁS. *Ciclo combinado*, 2003.

ESCOSTEGUY, P. A. V. *Gerenciamento de resíduos sólidos e seus impactos ambientais: uma visão do contexto atual.* Passo Fundo, s.e.,s.d.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas.* Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2003 (Dissertação de Mestrado).

FIGUEIREDO, P. J. M. *A sociedade do lixo.* 2.ed. Piracicaba: Hemus, 1995.

GASNET. "Turbina a gás em ciclo aberto", 2004.

GREENPEACE. "Dossiê energia positiva para o Brasil". Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/dossie_energia_2004.pdf?PHPSESSID=7f9105665c7a81a0f5c6196f48617d22>. Acesso em: 2 ago. 2006.

HENRIQUES, Rachel Martins. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica.* Niterói:

Universidade Federal Fluminense, 2004 (Dissertação em Ciências em Planejamento Energético).

Hinrichs, R. A.; Kleinbach, M. K. *Energia e meio ambiente*. 3.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000". Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 ago. 2004.

Idese – Instituto de Desenvolvimento Sustentável do Cerrado. *Desenvolvimento sustentável*. Goiás: Idese, 2003, 3 p. (Conceitos). Disponível em: <http://www.idese.org.br/Document.2003-08-17.2105/view>. Acesso em: 10 out. 2003.

Kieckhöfer, Adriana Migliorini. *Promoção do desenvolvimento integrado e sustentável de municípios*. Florianópolis, 2005 (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção).

Lerípio, Alexandre. *Gaia: um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais.* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2001 (Tese de Doutorado).

Lima, L. M. Q. *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3.ed. São Paulo: Hemus Editora, 1995.

Lopez, Ignez Vidigal *et al*. *O Mecanismo do Desenvolvimento Limpo, Guia de Orientação*. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2002.

Mól, G. S.; Santos, W. L. P. *Química e sociedade: a ciência, os materiais e o lixo.* São Paulo: Nova Geração, 2003.

Monteiro, J. H. P. *et al*. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: Ibam, 2001.

Montibeller Filho, Gilberto. *O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtivo de mercadorias.* Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

Muylaert, M. S. (coord.). *Consumo de energia e aquecimento do planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudos de Caso.* Rio de Janeiro: Editora da Coppe, 2000.

NAE – Núcleo de Assuntos Estratégicos. "Cadernos NAE – Mudança de Clima, volume II". Disponível em: <www.nae.gov.br>. Acesso em: 1º ago. 2006.

Quelhas, O. L. G.; Alves, Carlos Eduardo Teobaldo. *A ecoeficiência e o ecodesign na indústria da construção civil. Uma abordagem a prática do desenvolvimento sustentável na gestão de resíduos com uma visão de negócios*. Apresentado no "Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia", Resende, 2004.

"Recentes mudanças de paradigma de sustentabilidade e desenvolvimento no mundo atual". *Programa desenvolvimento local*. Campo Grande: Universidade Católica Dom Bosco, 2001 (Justificativa). 2 p. Disponível em: <http://www.desenvolvimentolocal.ucdb.br/programa/justificativa.htm>. Acesso em: 3 mar. 2004.

Ribeiro, Suzana. Apresentação feita em sala de aula, MBE Coppe/UFRJ, turma 14.

Rostand, Rômulo. "Energias renováveis – o que são e por que utilizá-las. Textos e Diagramas". Disponível em: <http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto08.htm>. Acesso em: 15 jan. 2008.

Schalch, V. *Produção e características do chorume em processo de decomposição do lixo urbano.* São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1984 (Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento).

Silva, E. P.; Cavaliero, C. K. N. *Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil.* Disponível em: <http://www.universiabrasil.net>. Acesso em: 15 dez. 2004.

Sisinno, C. L. S.; Oliveira, R. M. *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar.* Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2000.

Tolmasquim, Maurício Tiomno. *Fontes renováveis de energia no Brasil.* Rio de Janeiro: Interciência, Cinergia, 2003.

Valor Online. "BB vai negociar crédito de carbono para Japão". Disponível em: <http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285/financas/54/BB+vai+negociar+credito+de+carbono+para+Japao,,,54,3823642.html>. Acesso em: 8 ago. 2006.

Vanzin, Emerson. *Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no Aterro Santa Tecla*. Passo Fundo: Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, 2006 (Dissertação de Mestrado em Engenharia).

Willumsen, H. C. "Energy recovery from land fill gas in Denmark and worldwide". LG Consultant, 2001.

World Commission on Environment and Development. *Our common future.* Nova York: Oxford University Press, 1987.