

## Uso do biogás proveniente de um aterro sanitário para geração de energia elétrica: Estudo de caso do aterro municipal de Cascavel - PR

Luis Osvaldo dos Santos (FAHOR) [ls5041@fahor.com.br](mailto:ls5041@fahor.com.br)  
Joel Antônio Tauchen (FAHOR) [joel@fahor.com.br](mailto:joel@fahor.com.br)

### Resumo

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo, estudar e avaliar o sistema de geração de energia elétrica, através do uso do biogás proveniente de um aterro sanitário localizado no município de Cascavel no estado do Paraná, levando em consideração os aspectos econômicos e ambientais. O aproveitamento do biogás envolve questões de política energética, ambiental, agrícola e desenvolvimento urbano. Nesse sentido, pretende-se responder a seguinte questão: quais os benefícios econômicos e ambientais percebidos com a produção de energia elétrica a partir de motores estacionários que funcionam com biogás proveniente de aterros sanitários? O biogás pode ser empregado em várias aplicações desenvolvidas para o gás natural, como a produção de energia mecânica para bombas, ventiladores, elevadores, a utilização em veículos pesados e ligeiros e a produção combinada de calor e eletricidade. A prefeitura municipal de Cascavel, órgão responsável pelo aterro, inicialmente, pensou nos benefícios ambientais do sistema, pois o tratamento de chorume é muito importante para o meio ambiente, caso não seja tratado ele pode atingir lençóis freáticos, rios e córregos. A partir da implantação do primeiro motor em novembro de 2008 observou-se uma redução significativa na conta de energia elétrica paga a concessionária COPEL. Até então, o biogás era tratado como um subproduto, gerado pelo processo de tratamento de resíduos do aterro, passa a ser visto como possível gerador de benefícios econômicos. Assim, o aterro sanitário de Cascavel utiliza seu resíduo como matéria-prima para geração de energia, incentivando a pesquisa e a busca de alternativas sustentáveis para seus processos.

Palavras - chaves: Aterro Sanitário, Biogás, Geração de Energia.

### 1. Introdução

As discussões sobre o fornecimento de energia e os problemas de ordem ambiental e social, relacionados à dependência dos combustíveis fósseis, têm contribuído para o aumento do interesse mundial na busca por soluções sustentáveis de geração de energia oriunda de fontes renováveis (COLDEBELLA, 2006, p. 2).

Atualmente, algumas fontes renováveis de energia são pouco exploradas, dentre estas encontram-se a energia solar, energia eólica e a biomassa. O Brasil apresenta alto potencial para produção de biomassa. Em meio as fontes de energia alternativa da biomassa, enquadra-se a utilização do biogás proveniente da decomposição anaeróbia de resíduos em aterros sanitários.

A disposição final do lixo é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o mundo e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis, que passam cada vez mais a compor os grandes volumes de lixos gerados pela população (ENSINAS, 2003, p.1).

Conforme a Agência Estado apud Vanzin (2006, p. 14), além da oportunidade de gerar energia elétrica para diversificar a matriz energética com alternativa descentralizada, a utilização do biogás de aterro contribui para diminuir as consequências das mudanças climáticas, já que o gás metano, produzido pelos resíduos é mais nocivo que o gás carbônico na formação do efeito estufa.

O governo brasileiro através do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica- PROINFA, instituído em 2002, teve como principais objetivos a diversificação da matriz energética brasileira, aumentando a segurança no abastecimento de eletricidade, a valorização das características e potencialidades regionais e locais, a criação de empregos, capacitação e formação de mão-de-obra e redução de emissão de gases de efeito estufa, aumentando a importância da utilização dos resíduos orgânicos como fonte de energia (SALOMON, 2007, p.1).

Sob essas considerações, este estudo visa avaliar o sistema de geração de energia elétrica, indicando os benefícios econômicos e ambientais que um aterro oferece através do uso do biogás proveniente de um aterro sanitário, abordando conceitos como resíduos sólidos, a formação dos gases e a produção de energia elétrica.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1 Perspectivas atuais das fontes alternativas de energia

A energia consumida no planeta em grande parte derivada dos combustíveis fósseis como petróleo, carvão e do gás natural.

De acordo com Hinrichs e Kleinbach apud Vanzin (2006, p. 17), “o aumento da utilização dos combustíveis fósseis, observado desde o início da era industrial, causou aumento em torno de 30% de dióxido de carbono atmosférico e, provavelmente, o aumento da temperatura global”.

Em algumas regiões do norte do país, segundo Pimentel e Belchior (2002), “a eletrificação é feita por grupos geradores a diesel devido a falta de energia elétrica contínua e também aos altos custos dos derivados de petróleo, fazendo com que o desenvolvimento da região seja prejudicado”.

Colombo apud Vanzin (2006, p. 18) afirma que “o desenvolvimento do terceiro mundo e a proteção do meio ambiente são os dois maiores problemas globais que devem ser enfrentados pela humanidade nas próximas décadas. Esses dois problemas estão rigorosamente interligados. A energia, motor do crescimento econômico e também a principal causa de degradação do meio ambiente”.

O problema de maior importância causado pelo uso da energia é o efeito estufa, que pode ser definido como o acréscimo constante da temperatura média da terra em consequência do aumento da concentração atmosférica de alguns gases, tais como gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), etc. Estes

gases são conhecidos como gases estufa e capturam parte da radiação infra-vermelha que a terra devolve para o espaço, provocando o aumento da temperatura atmosférica com as decorrentes mudanças climáticas. Além do CO<sup>2</sup>, outro gás estufa cujo teor aumenta constantemente na atmosfera é o metano. Este gás tem fontes biogênicas, tais como pântanos, resíduos animais, as plantações de arroz, os aterros sanitários e outros (LORA; TEIXEIRA *apud* VANZIN, 2006, p.20).

O aquecimento global, no âmbito científico, é considerado conseqüência do acúmulo de gases estufa emitidos no decorrer do último século, devido ao modelo civilizatório adotado, principalmente, pelo uso desgovernado de combustíveis fósseis pelos países desenvolvidos. Estes combustíveis, além de altamente poluentes, são esgotáveis, por isso questões de interesse mundial intensificaram a busca por novas fontes renováveis de energia.

O interesse pela geração de energia a partir de fontes renováveis, principalmente as alternativas (energia solar, dos ventos, biomassa) vem experimentando uma nova fase de crescimento no Brasil. Até bem pouco tempo, o apelo ambiental era o único argumento utilizado para incentivar tais fontes, não sendo, no entanto, suficiente para atingir seu objetivo. Com a crise da energia elétrica e o plano de racionamento de 2001, chamou a atenção para outro fator importante: a necessidade de diversificar as fontes de energia (SILVA; CAVALIERO *apud* VANZIN, 2006, p. 25).

Neste contexto, destaca-se o uso da energia hidrelétrica, sendo responsável por grande parte da geração de eletricidade no Brasil. Segundo o Balanço Energético Nacional (MME) *apud* Vanzin (2006, p. 25), “mais de 40% da matriz energética do Brasil é renovável, enquanto a média mundial não chega a 14%. No entanto, 90% da energia elétrica do país é gerada em grandes usinas hidrelétricas, o que provoca grande impacto ambiental, tais como o alagamento dessas áreas e a conseqüente perda da biodiversidade local”.

Em seguida destaca-se o etanol extraído da cana-de-açúcar como fonte alternativa de energia. Em menor escala, mas com formidável potencial a energia solar, eólica e biomassa são fontes alternativas promissoras, já que reduzem o potencial poluidor, além de causarem impactos ambientais menores.

Dentre as fontes de energia alternativa da biomassa, enquadra-se a utilização do biogás proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários.

Além de oportunidade de gerar energia elétrica, diversificando a matriz energética com uma alternativa descentralizada, a utilização do biogás de aterro contribui para diminuir as conseqüências das mudanças climáticas, já que o gás metano, produzido pelo lixo, é cerca de 21 vezes mais contribuinte ao efeito estufa que o gás carbônico (CO<sup>2</sup>). Com isso, projetos de aproveitamento desses recursos são passíveis de comercialização de créditos de carbono no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, previsto no Protocolo de Kioto (MENDES; MAGALHÃES; BELLO, *apud* KUCZMAN et. al. 2010, p.2).

As questões ambientais e o desenvolvimento sustentável são vantagens atrativas possibilitadas pelas tecnologias à base de fontes renováveis.

As fontes de energia a partir de recursos renováveis como o biogás gerados em aterros sanitários, ainda que opção estratégica em debate, são pouco representativas na matriz energética mundial e brasileira. Os autores afirmam que a combinação da venda de energia e créditos de carbono do aterro sanitário da Caximba em Curitiba, PR – BR, que possui armazenados 8 milhões de toneladas de lixo, torna a produção de biogás viável, economicamente, ambientalmente e socialmente (SILVA et. al. apud KUCZMAN et. al. 2010, p. 2).

Para Coldebella (2008, p. 45) “a possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. No interesse desses últimos, sobressaem as centrais que utilizam fontes renováveis e não requerem alta tecnologia para instalação ou técnicos especializados para sua operação”.

## 2.2 Características gerais dos aterros sanitários

A propósito o Manual de Operação de Aterros Sanitários assinala que,

O aterro é um equipamento projetado para receber e tratar o lixo produzido pelos habitantes de uma cidade, com base em estudos de engenharia, para reduzir o máximo os impactos causados ao meio ambiente. No processo de decomposição dos resíduos sólidos, ocorre a liberação de gases e líquidos (chorume ou percolato) muito poluentes, o que leva um projeto de aterro sanitário a exigir cuidados como impermeabilização do solo, implantação de sistemas de drenagens eficazes, entre outros, evitando uma possível contaminação da água, do solo e do ar (CONDER, [200-?], p. 9).

Ensinas (2003, p. 9) por sua vez, relata: “um aterro sanitário deve seguir normas técnicas de construção e deve apresentar drenagem de chorume, de biogás e de águas superficiais, impermeabilização da base do terreno e camada de cobertura final”. Outro aspecto levantado por Ensinas (2003, p. 9) “o aterro constitui uma forma de destinação final do lixo largamente utilizada nos dias atuais, em virtude de sua simplicidade de execução, seu baixo custo e capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos, quando comparado às demais formas de tratamento do lixo”.

A disposição de resíduos sólidos em aterro, a recuperação do biogás produzido tornou-se uma tecnologia padronizada na maioria dos países industrializados para recuperação de energia e por razões ambientais e de segurança. Cerca de 1000 aterros em todo o mundo realizam a recuperação do biogás, a maioria deles nos EUA e Europa (WILLUMSEN apud ZANETTE, 2009 p.5).

No Brasil poucos projetos de recuperação dos gases de aterros sanitários foram implantados. Dois destes projetos são relatados por Danese (1981), sendo um deles da COMGÁS (Companhia de Gás da São Paulo), que distribuía o gás de um aterro sanitário localizado no Km 14,5 da Rodovia Raposo Tavares para um conjunto residencial próximo ao local. O outro se refere ao aproveitamento do gás do Aterro Caju no Rio de Janeiro em 1977 pela CEG (Companhia Estadual de Gás), juntamente com a COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), no qual o biogás



coletado, depois de purificado, era adicionado ao gás craqueado de nafta que abastecia a cidade. A quantidade adicionada à rede era de 1000 m<sup>3</sup>/dia, com uma economia de nafta de aproximadamente 8000L/dia. O projeto teve duração de 10 anos, sendo que em 1985 iniciou-se o aproveitamento do gás para o abastecimento da frota da COMLURB, com cerca de 150 veículos movidos a gás, além do abastecimento de taxis que utilizavam esse combustível (COMLURB *apud* ENSINAS, 2003, p. 24).

A deposição deve ser feita seguindo critérios técnicos definidos, tais como: resíduos dispostos em camadas compactadas, com espessura controlada, com inclinação definida para a drenagem do chorume.

A medida que as camadas de lixo forem formando as células, será necessário a construção de drenos internos horizontais e verticais os quais devem ser interligados para melhor eficiência na drenagem dos gases e chorume, gerados na decomposição do lixo.

O aterro sanitário que tem em vista além do armazenamento correto do lixo, “o aproveitamento do biogás gerado ao longo do tempo possibilita uma maior eficiência na produção e captação do metano gerado na massa de lixo. Uma rede de drenos de biogás previamente instalada que atinja todas as camadas de lixo, diminui os custos da implantação de novos drenos após o encerramento do aterro” (ENSINAS, 2003, p. 2).

O metano é o gás produzido em maior volume dentre os gases liberados na decomposição do lixo, sendo explosivo e bastante volátil, por isso é comum controlar seu escapamento através de queima, a qual apresenta invisível. Segundo Zanette (2009, p.16) “a produção de metano em quantidades significativas inicia de seis meses a dois anos após a disposição dos resíduos e pode durar décadas dependendo das condições do local de disposição, das características dos resíduos e da quantidade de resíduos no aterro”.

O biogás é um gás inflamável produzido por microorganismos quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar. O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre (BARREIRA, 1993, p. 9).

O aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à 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 (ABNT – NBR 8419, 1992). A Figura 1 apresenta um desenho esquemático de um aterro sanitário.

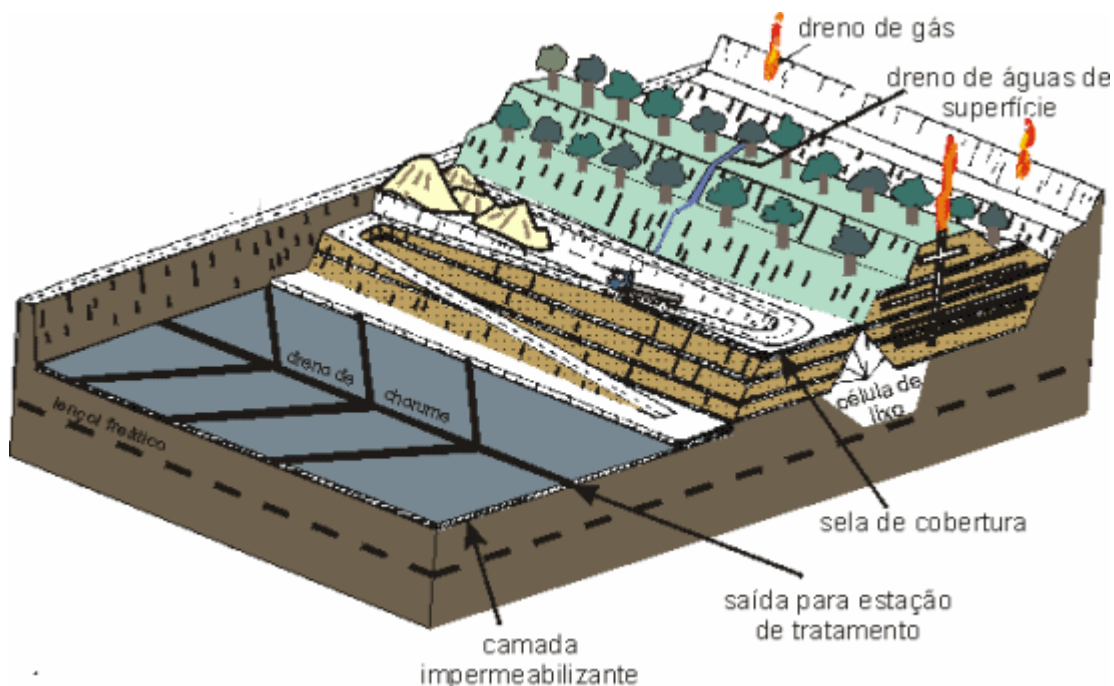


Figura 1: Esquema de um aterro sanitário com seus componentes básicos. Fonte: Ensinas (2003 p.10)

É feito diariamente a cobertura do lixo com camadas de solo, para não atrair vetores de doenças (ratos, urubus, moscas, etc...). Para tanto, os aterros sanitários são construídos, na maioria das vezes, em locais distantes das cidades.

Portanto, a queima do biogás é uma necessidade para o equilíbrio ambiental além de vantagem econômica, se a queima for para produção de eletricidade. A produção de energia elétrica através do aproveitamento do biogás gerado na decomposição de RSD é uma tecnologia pouco utilizada no Brasil [...] Nos Estados Unidos da América existem centenas de projetos bem sucedidos (MENDES; MAGALHÃES apud KUCZMAN et. al., 2010 p. 2).

Segundo Zanette (2009, p. 65) “em geral, o aproveitamento do biogás é viável em estações de tratamento de efluentes com digestão anaeróbica do lodo e aterros sanitários que atendem a uma população superior a 200.000 habitantes, e em fazendas de suínos e de pecuária leiteira com pelo menos 5000 animais e cerca de 1000 animais, respectivamente”.

As aplicações mais comuns para o biogás são o aquecimento e a geração de eletricidade. O mesmo autor salienta,

Além da produção de eletricidade, é interessante considerar alguns dados relacionados ao uso do biogás como combustível veicular. Embora ainda limitado, esse uso tem apresentado interesse crescente em diversos países em função do seu grande potencial e dos diversos benefícios ambientais, especialmente a ausência de emissões de monóxido de carbono e nitrogênio. No final de 2005 existiam apenas 1600 estações de abastecimento de biogás na Europa, entretanto, previa-se a operação ao final de 2006 de 1000 estações na Alemanha, 100 na Suíça e mais de 50 na Áustria (PERSSON apud ZANETTE, 2009, p. 6).

Entretanto, o país mais avançado nesse campo é a Suécia, com 779 ônibus e mais de 4500 automóveis abastecidos com biogás (EC apud ZANETTE, 2009, p. 6).

## 2.3 Formas de utilização de biogás para geração de energia

A permissão da comercialização da energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis impulsiona investimentos em distintas áreas.

De acordo com Resolução Autorizativa ANEEL 1.482, de 29 de julho de 2008, autoriza então o Projeto Geração Distribuída de Energia com Saneamento Ambiental apresentado pela COPEL, por seis meses, como projeto piloto de implantação de geração distribuída em baixa tensão, com potência instalada de até 300 kVA e que utilize biogás produzido por dejetos orgânicos de animais. Esta resolução foi prorrogada pela Resolução Autorizativa ANEEL 1.900, de 5 de maio de 2009, por mais doze meses. Já em 15 de dezembro de 2009 foi aprovada a Resolução Normativa nº 390, que autoriza a comercialização dos excedentes de energia para todos os auto-produtores do Brasil (ANEEL, 2009).

Segundo o caderno Correio do Povo Rural, publicado na semana de 16 a 22 de maio de 2010,

Desde dezembro de 2009, foi permitida a comercialização da energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis. A liberação veio com a instrução normativa nº 390/09 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que estabelece requisitos para outorga de autorização para centrais geradoras com potência igual ou inferior a 5 mil kW. As usinas podem pertencer a pessoa física, jurídica ou empresas reunidas que, em consórcio, produzam energia elétrica de maneira independente ou em regime de autoprodução[...] a Eletrobrás Eletrosul, de Santa Catarina estuda as potencialidades para instalação, no município de Tupandi, de uma usina geradora de energia elétrica e térmica e biofertilizante a partir do aproveitamento dos dejetos das criações e de resíduos. O projeto, que conta com a cooperação técnica da alemã GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technosche Zusammenarbeit GmbH), prevê que a usina gere de 500 kW a 1 mil kW a partir de resíduos de suínos, aves, bovinos, pequenos frigoríficos (sangue, gorduras, pele, rúmen), indústria alimentícia (soro de leite, gordura vegetal, doces), usinas de biodiesel (glicerina, torta das oleaginosas), plantações e lixo orgânico (ANEXO B).

### 2.3.1 Resíduos urbanos

Entre os casos de utilização do biogás para geração de energia encontra-se a decomposição anaeróbia de resíduos urbanos.

Resíduo é qualquer substância ou objeto que não tem mais utilidade para pessoas, indústrias e serviços, como tal, os utilizadores necessitam ou desejam se desfazer destes materiais.

Na linguagem correta “o termo resíduo é considerado sinônimo de lixo; sendo lixo todo o material inútil cuja existência em um dado meio é tida como nociva, devendo ser descartado e colocado em lugar público. O lixo passa assim do domínio privado, como bem de consumo particular, para domínio público, representando um problema para toda a sociedade (CALDERONI apud ENSINAS, 2003, p. 21).

Em outro momento Calderoni apud Ensinas (2003, p. 7) considera “para a legislação brasileira, o lixo doméstico é de propriedade da prefeitura, cumprindo-lhe a missão de assegurar sua coleta e destinação final”.

Isto vem ao encontro de Salomon (2007, p. 69) que concluiu que “um dos principais problemas enfrentados pela administração pública municipal é a questão do gerenciamento dos resíduos urbanos sólidos e líquidos, bem como sua destinação final”.

Segundo o IBGE (2000) as especificações das Unidades de Destino de Lixo indicaram uma situação de destinação do lixo coletado no país, em peso bastante favorável; 47% em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e apenas 30,5% em lixões, ou seja, mais de 69% de todo o lixo coletado no Brasil estaria com destino final adequado em aterros sanitários e/ou controlados. Porém, em número de municípios, o resultado não é tão favorável: 63,6% utilizam lixões e 32,2% aterros adequados (13,8% sanitários, 18,4% aterros controlados), sendo que 5% não informaram para onde vão seus resíduos.

No Brasil, a geração de resíduos sólidos municipais é estimada em 54 mil toneladas/dia, com a geração per capita em uma cidade brasileira variando entre 0,4 e 0,7kg de lixo/habitante/dia (VIEIRA; ALVES apud ENSINAS, 2003, p. 8). Conforme mostra a Tabela 2, a capacidade de geração de energia.

Tabela 2:  
Capacidade de geração de 1m<sup>3</sup> de biogás

Material	Quantidade
Esterco fresco de vaca	25 kg
Esterco de suíno	12 kg
Esterco seco de galinha	5 kg
Resíduos vegetais	25 kg
Lixo	20 kg

Fonte: Barreira, 1993, p. 11.

No caso do lixo como matéria-prima, a produção de 1m<sup>3</sup> de biogás requer apenas 20 kg de lixo.

O crescimento da população mundial desordenado vem provocando um acúmulo cada vez maior de resíduos, isto gera uma preocupação e ao mesmo tempo uma oportunidade de o ser humano se reinventar, inovar.

Para Carlos Silva Filho, diretor – executivo da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) as prefeituras precisam receber incentivos e verbas para poder cumprir com as metas estabelecidas no plano. Atualmente, elas não conseguem manter funcionando por mais de um ano os aterros nos moldes necessários, com a devida proteção, coleta de gases, sem cheiro e ação contra insetos. Ele inclusive defende a idéia de que os municípios se unam em consórcios para construir aterro que atendam a vários deles, otimizando custos. A opção pela incineração em casos de dificuldades para realocar os descartes gerou polêmica nos debates legislativos, mas acabou sendo mantida no texto final. Fixou-se que a queima será feita de forma controlada. Ela pode gerar, por um lado, energia e, por outro, favorecer a emissão de gases poluentes. O desafio é saber como e quando usar esse manejo. No



restante, a lei tem tudo a contribuir para que em breve os lixões, que hoje constituem um problema de saúde pública, possam fazer parte do passado do país (CORREIO DO POVO, 13 de setembro 2010).

A este respeito, é esclarecedor transcrever as tecnologias da digestão anaeróbias:

Uma vez que as tecnologias de digestão anaeróbica foram inicialmente comercializadas para as indústrias de processamento de alimentos e bebidas, não é de se estranhar que estas sejam ainda as que mais utilizam o tratamento anaeróbico dos seus resíduos. A indústria da pasta e papel tem sido uma área de crescente aplicação desta tecnologia, juntamente com as indústrias químicas e farmacêuticas. A utilização da digestão anaeróbica para o tratamento de águas residuais de indústrias tem crescido tremendamente ao longo da última década, a tal ponto que se estimam que existam mais de 1000 instalações no mundo inteiro. Cerca de 40% destas instalações estão localizadas na Europa, com apenas 12% nos EUA. Uma parte significativa desses sistemas são localizados na Ásia, particularmente na Índia (CCE, 2000, p. 54).

Segundo D'Almeida e Vilhena apud Ensinas (2003, p. 8), no Brasil nota-se que mais de 50% do lixo urbano ainda é composto por matéria orgânica, mas segundo Meldonian apud Ensinas (2003, p. 8) esse número vem baixando, o que demonstra uma mudança de hábitos do brasileiro, refletindo as mudanças econômicas que estão em curso. A seguir a Tabela 3 apresenta a composição do lixo urbano em diferentes cidades brasileiras.

Tabela 3:  
Composição percentual média do lixo domiciliar em cidades brasileiras

Material	São Paulo	Rio de Janeiro	Salvador	Porto Alegre	Fortaleza
Papel e Papelão	18,8	22,2	16,2	22,1	22,6
Plástico	22,9	16,8	17,1	9	8,3
Vidro	1,5	3,7	2,9	9,2	3,3
Metal	3	2,8	3,7	4,7	7,3
Outros	53,8	54,6	60,2	55	58,6

Fonte: D'almeida e Vilhena apud Ensinas (2003, p. 8).

Ensinas (2003, p. 17) cita o trabalho de Bingemer e Crutzen que afirmam que restos de alimentos e resíduos de jardim levam de 1 a 5 anos para se decompor, papéis cerca de 5 a 20 anos e a fração de 70% da madeira que não inclui a lignina demora de 20 a 100 anos para se decompor. A fração de 30% de lignina da madeira, os plásticos e as borrachas são consideradas não biodegradáveis ou com taxas de decaimento muito lentas, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4:

Componentes do lixo urbano de biodegradabilidade rápida e lenta

Componentes do lixo orgânico	Rapidamente Biodegradável	Lentamente Biodegradável
Restos de alimento	X	
Jornais	X	
Papel de escritório	X	
Papelão	X	
Plástico	Não-biodegradável	
Resíduos têxteis		X
Borrachas		X
Folha e grama	X	
Madeira		X

Fonte: Adaptado Ensinas (2003, p. 17)

### 3- Metodologia

A metodologia baseou-se num estudo de caso do aterro sanitário do município de Cascavel localizado no estado do Paraná. Os dados foram conseguidos mediante visita in loco do próprio pesquisador, além do estágio realizado junto a empresa fornecedora de motores estacionários.

### 4. Resultados e discussões

#### 4.1 Aterro sanitário de Cascavel

Para o estudo e elaboração deste trabalho foram coletados dados e informações no aterro sanitário do município de Cascavel. O município de Cascavel situa-se no terceiro planalto do Estado, na região oeste paranaense, com uma altitude média de 785 metros e uma área de 2.091 Km<sup>2</sup>. O aterro está localizado na zona rural do município, na localidade de Espigão Azul, estrada Jotaesse próximo ao Km 14. A área de 14 hectares fica aproximadamente a 30 km da sede do município e recebe em média 230 toneladas de lixo por dia para serem devidamente tratados.

O aterro sanitário de Cascavel atende os padrões da legislação ambiental, e possui impermeabilização inferior, sistema de drenagem e remoção de percolato e sistema de drenagem e reaproveitamento de gases.

A operação do aterro segue uma série de etapas na deposição do lixo. Inicialmente, após a entrada do caminhão de coleta no aterro, é feita a pesagem do mesmo em uma balança onde é escriturada a quantidade de carga contida e apontado o tipo de resíduo. Após a pesagem, o caminhão destina-se a área denominada para descarga onde o lixo é depositado, sendo posteriormente compactado por tratores-esteiras que se deslocam sobre o lixo. Quando a célula atinge o tamanho desejado, é aplicado terra com material inerte sobre o material de cobertura.

Em relação ao chorume, também chamado de percolato, pode-se dizer que é uma substância líquida, encontrado em lixões e aterros sanitários, resultante do processo

de decomposição de matérias orgânicas além do contato com a água da chuva. Este líquido é viscoso e possui odor forte e desagradável.

Com relação ao sistema de coleta de chorume este é feito pela base do aterro. O chorume coletado é enviado a lagoas previamente preparadas com impermeabilização do solo. Após coletado, o chorume é tratado antes de ser descartado no riacho localizado próximo ao aterro, sendo que o líquido resultante desse processo encontra-se em níveis aceitáveis de contaminação, definido pelos órgãos ambientais. O tratamento adotado no caso do aterro de Cascavel é inicialmente o biológico, através de lagoas anaeróbias e posteriormente o processo físico-químico. Esses processos servem para dissolver a viscosidade do líquido das lagoas, ou seja, é feita a circulação do chorume em duas lagoas, através de motores elétricos. Em seguida o tratamento físico-químico é usado para controlar poluentes não removidos pelos processos biológicos, sendo posteriormente recirculado.

O biogás contém elevadas concentrações de gás metano ( $CH_4$ ), que pode ser utilizado como combustível. O gás gerado no aterro é então coletado, e convertido em energia elétrica, com auxílio de um conjunto moto-gerador. Para que esse gás possa ser coletado, foram instalados drenos coletores de gases ao longo do aterro municipal, dos quais foram selecionados seis drenos de biogás para realizar a captação. Para tanto, extraíram-se os tubos de concreto que serviam como incineradores, e foram colocados capuzes de manta plástica para conduzir o biogás aos tubos condutores.

#### 4.2 Descrição dos motores estacionários

O motor a combustão interna, é um tipo de máquina termodinâmica, na qual uma mistura de ar e combustível é inflamada e queimada. O calor liberado pela queima aumenta a pressão interna nos cilindros.

A pressão gerada por esta queima é transformada em trabalho mecânico através dos pistões que ao se movimentarem, forçam o virabrequim a fazer um movimento rotativo, que é transmitido ao gerador.

Este tipo de motor é um conjunto de peças mecânicas e elétricas, cuja finalidade é produzir trabalho pela força de expansão resultante da queima da mistura ar/combustível.

Devido a este processo, o motor que trabalha com combustão interna possui um rendimento térmico muito maior que o possibilitado pela combustão externa. Afinal o combustível é queimado de forma controlada, resultando maior aproveitamento da energia produzida.

Os motores estacionários utilizados na geração de energia são motores normais como de um veículo, transformados para operar 100% a biogás. Estes motores devem ser instalados em local adequado para sua fixação e protegidos, levando em conta que o gerador acoplado ao motor não pode estar exposto ao tempo. Para seu melhor funcionamento esses motores necessitam de manutenção, as quais devem seguir as recomendações do fabricante. Tais como, a troca dos seguintes equipamentos após a quantidade de horas de uso: vela 500 horas, cabo de vela

1500 horas, rotor 1500 horas, tampa de distribuição 1500 horas, sonda lambda 2500 horas, troca de óleo 300 horas, turboar 5000 horas. Estas precauções contribuem para o aumento da vida útil do equipamento.

Na casa de máquinas estão instalados dois moto-geradores. O biogás do aterro é succionado por um compressor, filtrado por esponja de aço e serve como combustível para dois motores à combustão interna. O moto-gerador 1 aciona um gerador de eletricidade 36 KVA que alimenta um circuito interno de rede de iluminação do aterro e motores elétricos de tratamento de percolado.

A energia gerada é repassada à rede interna do aterro, que, por sua vez, está ligada à rede da distribuidora de energia. Como o aterro é grande consumidor de eletricidade, quando o motor está funcionando e não atende ao consumo, a rede da distribuidora fornece a energia que falta. Quando existe excedente, ele é transferido para a rede. Todo esse movimento de energia é registrado pelo medidor, que avança ou retorna na leitura, conforme o fluxo de energia.

#### **4.2.1 Principais modificações nos Motores Estacionários para utilização do biogás**

Nos motores de ciclo Otto, a principal alteração diz respeito a regulação do carburador para uma mistura biogás/ar de característica mais pobre. Outra alteração também pode ser necessária ao nível dos tempos de ignição, ou seja, a posição do ponto de ignição, que deve ser alterado.

A conversão de motor diesel para funcionamento segundo o princípio Otto é mais complexa e envolve aspectos como a remoção de bomba de admissão de combustível, a introdução de um carburador distribuidor de ignição, a instalação de velas no lugar dos injetores e a redução da taxa de compressão. A Figura 8 apresenta as adaptações da vela no motor.

Segundo Pereira et. al. apud NISHIMURA (2009, p. 21), na dita “ottolização” grandes modificações nos motores são necessárias. Todo o sistema de injeção de Diesel é retirado e, em seu lugar, instala-se um sistema de carburação de gás ao ar de admissão além de alterações no sistema elétrico, com velas para a ignição, que passa a ser feita por centelha. Também são necessárias modificações nos cabeçotes dos motores para a adequação de sua taxa de compressão (motores de ciclo Otto trabalham com taxas de compressão inferiores aos motores Diesel). Não são raras as perdas de potência e performance de um motor ottolizado.

Um dos aspectos críticos para utilização de biogás em motores é a possível presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono, que formam umidade e prejudicam o processo de queima, tornando-o menos eficiente, pois absorvem parte da energia gerada. Para solucionar este problema a empresa Biogás Motores Estacionários Ltda tem um sistema de filtro para reter a umidade do gás conforme apresenta a Figura 9.

Além dos gases citados, há a presença de contaminantes no combustível como ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), que causa danos ao ambiente pela toxicidade que é gerada durante a combustão, quando é convertido em dióxido de enxofre. A utilização do



biogás na geração termelétrica requer atenção pelo conteúdo de H<sub>2</sub>S e pela umidade contida no biogás. Muitos pesquisadores recomendam o limite de H<sub>2</sub>S de 10 ppm ou 0,01% em volume (CUMMINS apud SALOMON, 2007, p. 51).

A purificação do biogás é recomendável dependendo da aplicação. A remoção de H<sub>2</sub>S ajuda a evitar a corrosão no compressor e dos tanques de armazenamento, além de influenciar na vida útil do motor térmico utilizado. Muitos fabricantes impõem limites de concentração de contaminantes, acima dos quais não garantem o bom funcionamento dos motores de combustão interna.

Em qualquer dos casos, todos os elementos constituintes do motor devem estar devidamente protegidos da corrosão provocada constantemente pela queima do metano e demais gases presentes.

#### 4.3 Benefícios econômicos e ambientais do sistema

A prefeitura municipal de Cascavel, inicialmente, pensou nos benefícios ambientais do sistema, pois, em dias de chuva, havia muitas quedas de energia elétrica, deixando o aterro sem energia e inviabilizando o tratamento de chorume, algumas vezes, durante mais de seis horas.

O tratamento do chorume é muito importante para o meio ambiente, pois caso não seja tratado, ele pode atingir os lençóis freáticos, rios e córregos. “A percolação do líquido no aterro pode provocar a poluição das águas subterrâneas e superficiais, sendo que uma das primeiras alterações observadas é a redução do teor de oxigênio dissolvido, que prejudica a fauna e a flora aquática” (SILVA, 2002, p.6).

Outro destaque é que o acréscimo de gás carbônico na atmosfera terrestre esteja provocando um aumento da temperatura média global - fenômeno este chamado de “aquecimento global”. Infelizmente, o gás metano tem potencial para o acréscimo deste efeito da ordem de 21 vezes, ou seja, o metano é 21 vezes mais prejudicial que o dióxido de carbono. Como o biogás é composto em sua maior parte por metano, a sua simples queima diminui o potencial danoso deste componente (Pierobon, 2007, p.8).

Além disso, o Instituto Ambiental do Paraná – IAP para renovar a licença ambiental do aterro exigiu a recirculação do percolado por aspersão e a emissão zero de efluente. Neste sentido, a preocupação com a implantação do sistema era mais ambiental do que econômica, pois visava a continuidade do tratamento em momentos de temporais e pós-chuvas torrenciais, quando a vazão de chorume aumentava e tendia a ocorrer quedas freqüentes no fornecimento de energia elétrica da concessionária.

A Secretaria do Meio Ambiente de Cascavel, com a implantação do primeiro motor em novembro de 2008 observou uma redução significativa na conta de energia elétrica paga a concessionária COPEL, ou seja, economia de recursos financeiros ao município de Cascavel na aquisição de energia elétrica.

O biogás, até então, era tratado como um subproduto, gerado pelo processo de tratamento de resíduos do aterro, e passa a ser visto como possível gerador de benefícios econômicos, sendo que, quando aproveitado, permitiu a prefeitura municipal de Cascavel tornar o aterro auto-suficiente na geração de energia.

Deste modo, fez-se necessário o levantamento do potencial energético proveniente do metano gerado no aterro sanitário para indicar qual o motor a ser utilizado juntamente com o gerador de energia elétrica, o qual pode ser detalhado através da seguinte avaliação: o aterro recebe 230 toneladas de lixo por dia, considerando que 20 Kg de matéria orgânica correspondem a um metro cúbico de biogás. Por uma regra de três, é possível chegar a uma quantidade diária produzida pelo aterro de 11500m<sup>3</sup> de biogás/dia. Segundo CCE (2000, p. 96) 1m<sup>3</sup> biogás corresponde a variação de 1,0 a 1,5 Kwh. Outro conceito que deve-se considerar é que 1m<sup>3</sup> de biogás tem aproximadamente 65 % de CH<sub>4</sub> = 6,5 Kwh/m<sup>3</sup> (CCE 2000, p. 65).

A produção de biogás depende de uma diversidade de fatores, como por exemplo, as características e composição do resíduo a tratar e as condições ambientais em que se desenvolve o processo de digestão anaeróbia. No entanto, é possível estimar a quantidade e qualidade de biogás que é aceitável obter de diferentes tipos de resíduo sem recorrer a determinação da composição exata (CCE, 2000, p 58). Para tanto, considerou-se que 11500 m<sup>3</sup> de biogás dividido por 24 horas equivale a 479,16 m<sup>3</sup> por hora. Este valor refere-se ao verão, período no qual as condições são mais favoráveis a reprodução dos microorganismos, sendo que, o sol acelera a digestão anaeróbia realizando o ciclo completo em menor tempo. No inverno estima-se que a produção de biogás caia pela metade, logo a produção de biogás equivale a 239,58 m<sup>3</sup> por hora.

Para saber a potência do gerador, novamente utilizou-se uma regra de três simples, considerando 1m<sup>3</sup> de biogás para 1Kwh, utilizando um fator de correção de acordo com o catálogo Kcel Motores e Geradores chegou-se ao valor de 598,95 Kva para o gerador. A potência de acionamento do gerador em CV (motor) é estimada pela multiplicação do kva pelo fator de potência (carga) dividido por uma constante de 0,736 multiplicado pela percentagem de rendimento do motor, chegando ao valor de 772,83 CV.

Atualmente a legislação não permite fabricar no Brasil, motores com 772,83 CV, então pode-se utilizar aproximadamente três motores de 300 CV, como o já utilizado no local.

Com a redução das margens de lucros em todos os setores produtivos, intensificou-se a busca pela perda mínima de qualquer insumo e a eficiência máxima de todos os processos. Nesse sentido, o aterro sanitário de Cascavel utiliza seu resíduo como matéria-prima para geração de energia, incentivando a pesquisa e a busca de alternativas sustentáveis para seus processos.

## 5. Conclusões

O esgotamento dos combustíveis fósseis e o fenômeno aquecimento global, são assuntos de interesse da população mundial, discutidos mais acentuadamente nos últimos tempos. A diversificação da matriz energética a partir de fontes renováveis e limpas, como o biogás proveniente de aterros sanitários, aparece como uma alternativa descentralizada e favorável, considerando que o gás metano produzido pelo lixo na decomposição dos resíduos, é cerca de 21 vezes mais contribuinte ao efeito estufa que o dióxido de carbono.

O estudo mostrou que aterro sanitário de Cascavel atende os padrões da legislação ambiental, permite o correto armazenamento do lixo, possui impermeabilização do solo, sistema de drenagem, tratamento de chorume, além de realizar com eficiência a captação de metano para reaproveitar os gases.

Outro fator relevante é a importância do tratamento do chorume para o meio ambiente, pois caso não seja tratado, ele pode contaminar os lençóis freáticos, indispensáveis ao abastecimento de água potável.

A utilização do biogás proveniente de aterros, em motores de combustão interna para a geração de energia, ainda que uma opção pouco explorada no Brasil, constitui um potencial de demanda promissor, cuja fonte, se faz presente em todos os aterros sanitários.

Pode-se afirmar que o emprego do biogás gerado pelo aterro traz benefícios não somente ao meio ambiente, mas também a saúde pública e segurança, na questão de gerenciamento dos resíduos sólidos daquele município. O biogás, até então, era tratado como um subproduto, gerado pelo processo de tratamento de resíduos do aterro, passou a ser visto como possível gerador de benefícios econômicos, sendo que, quando aproveitado, permitiu a prefeitura municipal de Cascavel tornar o aterro auto-suficiente na geração de energia e a parte excedente vender a concessionária de energia elétrica local, COPEL.

O uso dos motores apontou que a durabilidade do motor a combustão interna do gerador elétrico, superou as expectativas, e está operando com 5.000 horas a mais do previsto, sem nenhum reparo, e com redução de 85% na conta de energia elétrica.

## Referências

ANEEL “Resolução Normativa nº 390 de 15 de dezembro de 2009”. Estabelece os requisitos necessários a outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e das outras providências.

Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009390.pdf>>. Acesso em: 25 out 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023(NB 66): **Informação e documentação**: referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419. **Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

BARREIRA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993.

CAMARGO, M. N. **Estudo do comportamento de um motor de ignição por compressão, trabalhando com óleo diesel e gás natural**. Santa Maria, 2003. 280 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

CCE - CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia Técnico de Biogás**. Lisboa, Portugal, 2000.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** Cascavel, 2006. 74p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel.

\_\_\_\_\_. **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** Informe Gepec – Vol. 12, nº 2, jul./dez. 2008.

CONDER - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. **Manual de operação de aterros sanitários.** Disponível em <[http://www.under.ba.gov.br/manual\\_aterro.pdf](http://www.under.ba.gov.br/manual_aterro.pdf)>. Acesso em: 28 ago 2010.

CORREIO DO POVO. **O lixo como negócios de bilhões.** Porto Alegre, 13 set. 2010.

CORREIO DO POVO. **Aterros em vez de lixões.** Porto Alegre, 9 nov. 2010.

CORREIO DO POVO RURAL. **Novo horizonte para produção de biogás.** Porto Alegre, semana de 16 a 22 mai. 2010.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas-SP.** Campinas, 2003, 143p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas.

FIGUEIREDO, N.J.V. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – Estudo de Caso.** São Paulo, 2007, 90 p. Trabalho de Graduação Interdisciplinar do curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

GASPAR, M. B. L. **Utilização em Pequenas e Médias Propriedade Rurais com Ênfase na Agregação de Valor:** Florianópolis, 2003. 106 p. um estudo de caso na região de Toledo – PR. Dissertação de mestrado em engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

GIACOSA D. **Motores endotermicos.** Madrid : Editorial dossat, 1986, 722 p.

KCEL MOTORES E GERADORES. Disponível em <<http://www.kcel.com.br/>>. Acesso em: 10 out 2010.

KUCZMAN, et. al. **Captação de Biogás no Aterro Sanitário Municipal de Cascavel – PR: um estudo de caso.** Cascavel, 2010.

JORNAL ENERGIA ITAIPU. Disponível em <<http://www.plataformaitaipu.org/jornal-energia/itaipu-lanca-condominio-energias-renovaveis-da-agricultura-familiar>>. Acesso em: 28 jul 2010.

JORNAL OESTE. **Empresa de Toledo implanta motor a biogás em Cascavel.** Toledo, 29 de jul de 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2002). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 jul 2010.

NISHIMURA, C. M. O. **Análise comparativa de algoritmos de correlação local baseados em intensidade luminosa.** São Paulo, 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Controle em Automação Mecânica, Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3152/tde-14082008-082214/pt-br.php>>. Acesso em: 10 out 2010.

PIEROBON, L. R. P. **Sistema de geração de energia de baixo custo utilizando biogás proveniente de aterro sanitário.** Porto Alegre, 2007, 139 p. Dissertação de Doutorado em





Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PIMENTEL, V. S. B.; BELCHIOR, C. P.R. **Análise e Diagnóstico de diesel geradores operando com óleo de dendê.** In: 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Anais. CDROM. São Paulo, 2002.

RAUBER, J. (Coord.) et al. **Apresentação de trabalhos científicos: normas e orientações práticas.** Passo Fundo: UPF Editora, 2003.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** Itajubá, 2007. 219 p. Dissertação de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SILVA, A. C. **Tratamento do percolado do aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado.** Rio de Janeiro, 2002. Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVA, E. L. da, MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. – 3. Ed. 2001. 118p. Disponível em <[http://www.ppgep.ufsc.br/legislacao\\_e\\_strutura\\_anterior/metodologia](http://www.ppgep.ufsc.br/legislacao_e_strutura_anterior/metodologia)>. Acesso em: 10 jul 2010.

SILVA, T. N. , CAMPOS L. M. S. **Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes –SP.** Artigo Técnico. Engenharia Sanitária Ambiental. Vol. 13 – Nº I – Jan/mar 2008, 88 -96. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n1/a12v13n1.pdf>>. Acesso em: 10 out 2010.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução.** Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SOUZA, J. **Desempenho de um motor de combustão interna - Ciclo Otto – operando com biogás e gás natural.** Cascavel, 2004. 60 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel.

\_\_\_\_\_. **Desempenho de um motor Ciclo Otto utilizando biogás como combustível.** Cascavel, 2004.

VANZIN, E. **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, 2006. 91p. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** Rio de Janeiro, 2009. 97p. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.