

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONOMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA DO BIOGÁS NOS ATERROS DE GRAMACHO E SEROPÉDICA

FÁBIO VIANA DE ABREU¹, MAURO CARLOS LOPES SOUZA², ERICA SILVANI SOUZA³, MILA ROSENDAL AVELINO⁴

¹ Faculdade de Geologia da UERJ

² Departamento de Processos Metalúrgicos da UEZO

³ Instituto de Tecnologia ORT

⁴ Departamento de Engenharia Mecânica da FEN/UERJ

RESUMO:

A geração de energia a partir do biogás é uma maneira de produzir energia elétrica limpa, buscando reduzir os impactos globais gerados pela queima dos resíduos sólidos urbanos. Nesse trabalho foram estudadas as tecnologias de conversão energética, com a análise da melhor alternativa para a conversão energética do biogás em aterros sanitários e na agropecuária no Brasil. São apresentados estudos comparativos e os resultados demonstraram que os grupos geradores, utilizando motores de combustão interna (ciclos Otto ou Diesel), são mais viáveis tanto no viés técnico quanto no econômico, para conversão energética do biogás de aterros sanitários no Brasil por meio de Unidades Termoelétricas a biogás.

Palavras Chave: Biogás; Conversão Energética; Gases de efeito estufa; Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

ABSTRACT:

Power generation through biogas is a way to produce clean electric power, seeking to reduce the global impacts generated by the burning of municipal solid waste. In this work energy conversion technologies were studied with the analysis of the best alternative to energy conversion of biogas in landfills and agriculture in Brazil. Comparative studies are presented and the results showed that the generators using internal combustion engines (Otto or Diesel cycles) are more viable in both the technical bias and economic energy for conversion of landfill gas in Brazil through the Thermoelectric Biogas Units.

Keywords: Biogas; Clean Development Mechanism; Energetic Conversion; Greenhouse gases;

1. INTRODUCTION

A geração de desperdício e excessos no Brasil são reflexos da adoção de um desenvolvimento com a característica de alto padrão consumista. Por isso, a busca de soluções adequadas para a disposição final dos resíduos sólidos de forma integrada, da sua origem até a disposição final, é essencial para o desenvolvimento sustentável (ABREU, 2011).

A gestão adequada do lixo e a geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários são soluções ambientalmente sustentáveis (gerando energia elétrica renovável e limpa).

A negociação de créditos de carbono é a forma transacional dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) (UNFCCC, 2007). Tais iniciativas induzem investimentos em projetos sustentáveis onde pode haver redução de emissões e/ou sequestro de carbono, assegurando um modelo de desenvolvimento limpo para os países emergentes, onde os custos de implementação de tais projetos são maiores (CEBDS, 2001).

1.1 Aterro Sanitário de Gramacho

O aterro de Gramacho teve suas atividades de recepção de resíduos sólidos encerradas em

2011. Atualmente, o aterro Gramacho está sendo administrado pelo consórcio Novo Gramacho, formado pelas empresas Biogás Energia Ambiental (constituída pela Logus e pela Heleno Fonseca), a paranaense J. Malucelli Construtora de Obras e a S.A. Paulista de Construções e Comércio. O consórcio Novo Gramacho venceu a licitação da Comlurb, no Rio de Janeiro, para operar por 15 anos o aterro sanitário de Gramacho.

O status mais recente do Aterro de Gramacho foi à conclusão da primeira fase da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos, que trata diariamente, segundo a Comlurb, 960 m³ de chorume. Essa era uma das principais preocupações dos ambientalistas temendo a contaminação da Baía de Guanabara. O próximo passo é a produção de energia, a partir do biogás do lixo. No momento existe apenas a venda do gás para alimentação das caldeiras da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC/Petrobras).

1.2 Aterro de Seropédica (Santa Rosa)

O CTR Santa Rosa está localizado no Estado do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, próximo da cidade do Rio de Janeiro. O CTR Santa Rosa ocupa uma área de 222,6 hectares e iniciará suas operações em 2011, tendo recebido todas as licenças ambientais necessárias para sua operação. O aterro espera receber inicialmente, em seu primeiro ano, 6.000 toneladas por dia de resíduos sólidos dos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro (Ciclus Ambiental, 2010).

CTR Santa Rosa está localizado no Estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Seropédica e Itaguaí (22°47'35,84"S e 43°45'34,97" O), conforme mostrado na figura 1.

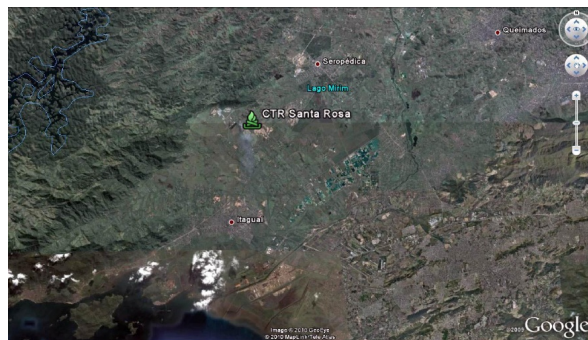


Figura 1 - Localização do CTR Santa Rosa
Fonte: Ciclus Ambiental (2013)

1.3 Biogás de lixo de aterros e suas tecnologias de conversão

O biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente por metano (CH₄ – de 55 a 70%), dióxido de carbono (CO₂ – de 25 a 40%), nitrogênio (N₂ – de 0 a 1%), hidrogênio (H₂ – de 0 a 2%) e gás sulfídrico (H₂S - de 0 a 1%) (POLPRASERT, 1996).

A geração de biogás em um aterro sanitário é iniciada algumas semanas após o início do depósito dos resíduos e continua por 15 anos após seu encerramento. Uma tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário gera em média 200 m³ de biogás. Para comercializar o biogás através da recuperação energética, o aterro sanitário deverá receber no mínimo 200 toneladas/dia de resíduos, com capacidade mínima de recepção da ordem de 500.000 toneladas em sua vida útil e altura mínima de carregamento de 10 metros (WORLD BANK, 2005).

Das tecnologias convencionais para a conversão energética do biogás, destacam-se as turbinas a gás e os motores de combustão interna (ciclos Otto e Diesel). Para geração de energia, a capacidades pequenas e médias, os motores a combustão interna são mais adequados devido ao seu menor custo e maior eficiência nesta faixa. Somente para altas capacidades, as turbinas a gás passam a ter economicidade, melhorada quando utilizadas em ciclos combinados. Os motores a combustão interna de ciclos Otto ou Diesel possuem maior eficiência na faixa de operação

deste projeto. Motores de ciclo Diesel trabalham com taxas de compressão mais elevadas, sendo necessário operar nestes com o biogás misturado ao diesel ou biodiesel; o que representaria um insumo adicional para o Aterro Sanitário.

A Tabela 1 apresenta uma comparação da potência e rendimento entre as tecnologias de conversão energética dos Motores a Combustão Interna e Turbinas.

O biogás também pode ser purificado para atingir as especificações do gás natural e ser utilizado nos veículos que utilizam o gás natural veicular (GNV). No final de 2005 havia mais de 5 milhões de veículos adaptados para o uso de GNV no mundo. A quantidade de ônibus e caminhões movidos a gás natural também está aumentando consideravelmente, totalizando 210.000 veículos pesados (140.000 caminhões e 70.000 ônibus), especialmente nos países da Europa, o que demonstra que a configuração do veículo não é um problema para o uso do biogás como combustível (IEA, 2006). Entretanto, as especificações para a qualidade do gás são estritas. Com respeito a essas exigências, o biogás proveniente de um digestor ou aterro precisa ser purificado. Através da purificação é obtido um gás que: possui um poder calorífico maior para aumentar a autonomia do veículo, possui uma qualidade constante para uma direção segura; não resulta em corrosão devido à presença de H₂S, amônia e água; não contém partículas que causam dano mecânico; não resulta em congelamento devido a um alto conteúdo de água; e possui uma qualidade declarada e assegura (ZANETTE, 2009).

Tecnologia de Conversão	Potência Instalada	Rendimento Elétrico
Motores a Gás (Ciclo Otto)	30kW - 1MW	25% - 30%
Motores a Gás (Ciclo Diesel)	40kW - 20MW	30% - 40%
Turbina a Gás (Médio Porte)	500kW - 150MW	35% - 42%

Tabela 1 - Tecnologias de conversão
Fonte: Abreu, 2011

1.4 A Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), após duas décadas de discussões, inúmeras comissões e trâmites diversos, foi aprovada e sancionada pelo presidente da república em 02 de Agosto de 2010. Período bem extenso para um país que descarta cerca de 150 mil toneladas de lixo por dia (Abrelpe, 2011). Para se ter uma idéia aproximada do volume que o período de “debates” gerou, basta multiplicar esta quantidade diária por aproximadamente 7.600 (dias). De posse deste número assustador, deve-se considerar que o volume de lixo sem destinação correta alcança cerca de 60% (Ambiente Brasil, 2010).

Outro ponto forte abordado pela PNRS é a logística reversa, já existente em casos pontuais, como fabricantes de pilhas e pneus, quando atribui aos responsáveis o recolhimento ou o retorno dos resíduos ou partes inservíveis do produto visando à correta destinação ambientalmente indicada. Inclui, também, o correto descarte em aterros, embalagens, resíduos da construção civil, dentre outros. Acordos setoriais em todas as instâncias de governo com a iniciativa privada serão pontos fortes da política.

2. METODOLOGIA

Para a realização do estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE), foram levantados os dados técnicos para estudo das alternativas de geração de eletricidade a partir de biogás, bem como a determinação do potencial de biogás a ser produzido e do potencial de eletricidade a ser gerado. Para isso, o modelo utilizado foi o recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (EPA, 2005).

A estimativa de produção de metano está expressa na Equação (1):

$$Q_M = \sum_{i=1}^n 2^k L_o M_i (e^{-kti}) \quad (1)$$

O modelo da USEPA requer o conhecimento do histórico da deposição dos resíduos (ou, no mínimo, da quantidade de lixo depositado e da data de abertura do aterro sanitário); usa uma função exponencial de degradação de primeira ordem, que presume que a geração de biogás alcance o ponto máximo após um intervalo de tempo que representa o período antes da geração de metano.

O modelo da USEPA supõe um intervalo de um ano entre a deposição dos resíduos e a geração de biogás. Após um ano, o modelo prevê que a geração de biogás decresça exponencialmente à medida que é consumida a fração orgânica dos resíduos.

Para a análise do investimento do estudo de caso, foram utilizados os seguintes métodos de análises.

2.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Para Souza (2003) o valor presente líquido corresponde “a diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao projeto e o investimento inicial necessário”.

Gitman (2001) afirma que o VPL é uma técnica de orçamento sofisticada. O seu valor é determinado subtraindo-se do valor inicial de um projeto, o valor presente das entradas líquidas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo do capital da empresa (LEMES JÚNIOR, et al., 2002).

Brasil (2002) cita que “o critério do valor presente líquido fornece indicação a respeito do potencial de criação de valor de um investimento”.

Conforme Lemes Júnior (2002) utilizar o VPL para a tomada de decisões facilita o alcance do principal objetivo do administrador financeiro, que é de maximizar a riqueza do acionista ou proprietário.

A fórmula do VPL pode ser definida pela Equação (2), como:

$$VPL = \sum_{K=0}^n \frac{E(CF_K)}{(1+i)^{k+j}} \quad (2)$$

Onde:

- E** Valor esperado
- CF** Valor genérico do fluxo de caixa líquido no período K (positivo se for benefício, negativo se for custo);
- i** Taxa de desconto: TMA;
- k** Período no instante k do fluxo de caixa;
- j** Posição do vetor no período (início = 0)

2.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

É a taxa exigida de retorno que, quando utilizada como taxa de desconto, resulta em VPL igual a zero (ROSS, et al., 2009) (ABREU FILHO et al., 2003) (SOUZA et al., 2001) (LEMES JÚNIOR, et al., 2002) (BRASIL, 2002).

Assim, quando o VPL é zero, encontra-se o ponto de equilíbrio econômico do projeto. Desta forma, não haverá criação nem destruição de valor (ROSS et al., 2009).

Com a TIR, procura-se determinar uma única taxa de retorno para sintetizar os méritos de um projeto. Essa taxa é dita interna, no sentido de que depende somente dos fluxos de caixa de certo investimento, e não de taxas oferecidas em algum outro lugar (LEMES JÚNIOR, et al., 2002).

Para avaliação de propostas de investimento, através do cálculo da TIR, é necessário se conhecer os montantes de dispêndio de capital, e dos fluxos de caixa líquidos gerados pela decisão, onde a TIR representará a rentabilidade do projeto expressa em termos de taxa de juros (ASSAF NETO, 2003).

A TIR é uma taxa média que considera toda a vida econômica do projeto e é expressa em termos anuais. Esta taxa é calculada obtendo-se as raízes da Equação (3):

$$\text{TIR: } \sum_{k=0}^n \frac{E(CF_k)}{(1 + \text{TIR})^{k+j}} = 0 \quad (3)$$

Gitman (2002), afirma que o critério de decisão, quando a TIR é usada para tomar decisões do tipo, aceitar ou rejeitar um projeto, resulta em: se a TIR for maior que o custo de capital, aceita-se o projeto; se for menor, rejeita-se o projeto. Com esse critério, fica garantido que a empresa esteja obtendo, pelo menos, sua taxa apropriada de retorno.

2.3 Tributos

Para a elaboração do EVTE do projeto, é necessária a apuração dos tributos incidentes nos ganhos obtidos com a venda da energia elétrica produzida e com os créditos de carbono. De acordo com a Tabela 2 (MME, 2005 e OMA, 2006), serão listados os tributos que serão incluídos no fluxo de caixa do projeto.

Tributos				
	Tributos	Alíquota	Incidência	Competência
1	COFINS	7,6%	Receita Bruta	Federal
2	PIS	1,6%	Receita Bruta	Federal
3	ICMS	0%	Receita Bruta	Estadual
4	IR*	15 + 10%	Lucro antes dos impostos	Federal
5	CSLL	9%	Lucro antes dos impostos	Federal

Tabela 2 - Tributos incidentes em projetos de energia

* IR = 15% até R\$ 240.000/ano + 10% acima de R\$ 240.000/ano

Nota:

COFINS: Contribuição Permanente sobre Movimentações Financeiras.

PIS: Programa de Integração Social.

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

IR: Imposto de Renda

CSLL: Contribuição Social sobre o Lucro

O ICMS é um tributo estadual e em decorrência do Convênio ICMS nº 107/2002, sua alíquota é zero (MME, 2005). No caso do Imposto sobre produtos industrializados (IPI), a incidência do mesmo não foi considerada (alíquota é zero) de acordo com o Decreto nº 4542/2002. Na Tabela 2, as tarifas do PIS/COFINS são não cumulativas, mas as tarifas adotadas no EVTE foram cumulativas, com o PIS (0,65%) e o COFINS (3,0%). Por fim, a incidência de Impostos sobre Serviços (ISS) sobre as operações relativas à comercialização de energia elétrica devem ser desconsideradas, por força do §3º do Art. 155 da Constituição Federal (CF).

Com relação à tributação das receitas dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs), incidem apenas IRPJ e CSLL. Já as operações que envolvem a exportação de “Créditos de Carbono”, não incidem PIS e COFINS por força de imunidade, prevista no art. 149, §2º, I, da CF. No caso de ISS, não há incidência desse imposto, pois os CERs são considerados cessões de direito e não prestação de serviços pela jurisprudência majoritária.

3. RESULTADOS

3.1 Aterro de Gramacho

Para avaliar o potencial de geração de biogás do aterro sanitário coletou-se os dados de disposição de resíduos, data de abertura e encerramento do aterro, valores do potencial de geração do metano e a constante de decaimento, aplicando-se a metodologia utilizada para o aterro sanitário no caso em tela. Obtém-se a curva de geração de metano ao longo do tempo. A queima do metano através de motores de combustão interna, acoplados a geradores de energia elétrica, cria o potencial de geração de energia elétrica, utilizando o biogás.

A Tabela 3 mostra um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário com tributos da UTE, apresentando o Valor

Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto, realizando uma análise de sensibilidade utilizando valores diversos as receitas oriundas das taxas de créditos de carbono (CER).

Investimento inicial de 100% = 15.514.880			
CER (US\$ / ton. CO ₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
10	14,71%	\$8.880.212	0,045
10	15,96%	\$11.476.556	0,055
10	17,07%	\$14.072.901	0,065
10	18,06%	\$16.669.246	0,075

Investimento inicial de 25% = 3.878.720			
CER (US\$ / ton. CO ₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
10	20,95%	\$10.129.089	0,045
10	22,56%	\$12.725.434	0,055
10	23,96%	\$15.321.779	0,065
10	25,22%	\$17.918.123	0,075

Tabela 3 - Sumário da avaliação econômica com UTE de Gramacho e tributos (CERUS\$10)

A Tabela 4 mostra um sumário dos resultados da avaliação econômica no cenário com tributos da UTE e valor de 17 dólares os créditos de carbono.

Investimento inicial de 100% = 15.514.880			
CER (US\$ / ton. CO ₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
17	23,81%	\$27.232.359	0,045
17	24,47%	\$29.828.704	0,055
17	25,09%	\$32.425.049	0,065
17	25,67%	\$35.021.393	0,075

Investimento inicial de 25% = 3.878.720			
CER (US\$ / ton. CO ₂ eq.)	TIR	VPL	TAXA DE VENDAS FORA DO LOCAL (\$/KWh)
17	34,31%	\$28.481.237	0,045
17	35,05%	\$31.077.582	0,055
17	35,75%	\$33.673.926	0,065
17	36,42%	\$36.270.271	0,075

Tabela 4 - Sumário da avaliação econômica com UTE de Gramacho e tributos (CER US\$17)

Com isso, cenários com os créditos de carbono a US\$10 ton. CO₂ eq. e o valor da energia elétrica no patamar de no mínimo US\$/kWh 0,045 o projeto também é viável, mesmo com a inclusão dos tributos.

3.2 Aterro de Seropedica

A TIR do projeto foi determinada pela HAZTEC/SERB tendo os seguintes parâmetros de entrada: preço da eletricidade (MWh) e preço estimado para venda do gás de aterro melhorado como as fontes de receitas mais

relevantes, custos fixos, custos de operação variáveis, COFINS/PIS, depreciação, despesas financeiras, imposto de renda (IR/CSLL) e pagamentos de empréstimos

A Tabela 5 exibe um resumo dos resultados obtidos na análise econômica do projeto, sem a obtenção de créditos de carbono.

Componente/indicador	VPL (R\$)	TIR
Venda do Biogás	-26263788	-0,4%
Energia do Biogás	-27842425	N/A
Projeto CTR Santa Rosa	-53504578	-N/A

Tabela 5 - Sumário da avaliação econômica com UTE de Gramacho e tributos. Fonte: Haztec (2010)

Na Tabela 6, realiza-se uma análise de sensibilidade, as seguintes hipóteses foram adotadas, já que estes são os custos mais significativos envolvendo a atividade do projeto:

- Variação no preço do gás de aterro vendido em + 10%;
- Variação do preço da eletricidade vendida em +10%
- Variação do Sistema de melhoria de gás CAPEX em – 10%;
- Variação da Geração de Energia OPEX em – 10%;

Componente	Variação	IRR	Ponto de equilíbrio
Preço do gás (R\$/m³)	+10%	-5,2%	0,97 (+288%)
Preço do MWh (R\$/MWh)	+10%	N/A	1320 (+850%)
Sistema de melhoria de gás CAPEX	-10%	N/A	-18471252 (-66,8%)
Custo Operacional do Sistema de Geração de Eletricidade	-10%	N/A	N/A

Tabela 6 – Análise de Sensibilidade do Aterro de Seropédica. Fonte: Haztec (2010)

4. CONCLUSÕES

Os projetos estudados – Seropedica e Gramacho – somente são viáveis tecnicamente e economicamente com a obtenção de receitas através da venda de energia e créditos de carbono. Por isso, a importância do estudo do marco regulatório na área de resíduos sólidos e as normas e procedimentos específicos para a obtenção de receitas através dos créditos de carbono.

Conforme CETESB (1999), a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos brasileiros está na ordem de 677 Gg., cuja densidade padrão definida é de 0,716 Kg/m³, o que significa cerca de 945 milhões de metros cúbicos anuais. Como o metano representa cerca de 50 a 55% do volume de biogás, têm-se 1.718 milhões de metros cúbicos anuais desse gás, considerando uma recuperação típica de 90%, sendo que estariam disponíveis 1.546 Mm³ de biogás para geração de energia elétrica. Isso representaria ao País, utilizando usinas termoeletricas baseadas em motores a combustão interna com eficiência na faixa de 20%, uma energia disponível de 2,1TWh, que alimentaria 1750 mil residências com o consumo médio mensal de 100kWh, equivalente a uma cidade de 3 milhões de habitantes.

Diante do exposto, é possível constatar que o biogás não tem um impacto significativo na matriz brasileira mesmo considerando o valor de 2,1 TWh com relação a oferta total de 497,4 TWh que não representa nem 1% da matriz.

Cabe às instituições de fomento, dar suporte financeiro para ampliar a utilização do potencial do biogás de aterros sanitários para a geração de energia.

REFERÊNCIAS

ABRELPE Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil-2011 [on-line]. São Paulo: ABRELPE; 2011.

ABREU, F. V.; Biogás de Lixo em aterros sanitários, Blucher, 2011.

ABREU FILHO, J. C. F., SOUZA, C. P., GONÇALVES, D. A., CURY, M. Q., Finanças Corporativas. Rio de Janeiro: FGV, 2003.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acesso em 2010.

ASSAF NETO, A., Finanças Corporativas e Valor, São Paulo, Atlas, 2003

BRASIL, H.G. Avaliação Moderna de Investimentos. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002)

CEBDS, Câmara de mudanças climáticas do conselho empresarial brasileiro do desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2001.

CETESB , Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental, Inventário Anual de Resíduos Sólidos Domiciliares, 1999.

CICLUS AMBIENTAL, Disponível: <http://www.ciclusambiental.com.br>. 2013.

CICLUS AMBIENTAL, PDD of Seropedica, 2010

COMLURB, 2010 - Transformando um Passivo Ambiental em um Recurso Energético: O lixo como fonte de energia, Rio de Janeiro, 2010.

EPA, 2005. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide.

EPA-600/R05/047 (May 2005), Research Triangle Park, NC. U.S. Environmental Protection Agency.

GITMAN, Lawrence J. Princípios de Administração Financeira. 7º Ed, São Paulo: Editora Harbra, 2002.

HAZTEC, Disponível em: www.haztec.com.br. 2010.

IEA World Energy Outlook. International Energy Agency, Paris, 2006

LEMES JUNIOR, A. B., CHEROBIM, A. P., RIGO, C. M., Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil. Brasília, 2005.

OMA Brasil (Organização da Sociedade Civil de Interesse Público Mobilidade e Ambiente). Estudo de pré-viabilidade econômica. 2006.

POLPRASERT, C., Organic Waste Recyclin Technology And Management. 2nd Edition. John Wiley & Sons. 412 P. Chichester, 1996.

ROSS, S.A., WESTERFIELD, R. W., JORDAN, B.D., Fundamentals of Corporative Finance, 9th Edition, McGraw Hill/Irwin Hardcover, 2009.

SOUZA, A., CLEMENTE, A., Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

SOUZA, A. B., Projetos de investimentos de capital: elaboração, análise, tomada de decisão. São Paulo: Atlas, 2003.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol, United Nations, 1988.

WORLD BANK. Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas From Municipal Solid Waste Landfills, 2005.

ZANETTE, A. L., Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil, Dissertação (Mestrado) - Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, 2009.