



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO LIXO URBANO RESIDENCIAL, EM MOSSORÓ/RN.

CON10-1896

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, BR 110 - Km 47, Bairro Pres. Costa e Silva, CEP 59.625-900.

Resumo: *O trabalho mostra a viabilidade da implantação em Mossoró-RN de uma Usina de aproveitamento energético de Resíduos Sólidos Urbanos, solução integrada para dois problemas distintos: produção de lixo e crescente demanda energética. Chegamos a um potencial de 3,3MW com processamento de 150 ton./dia.*

Palavras-chave: *Energia Alternativa, Resíduos Sólidos Urbanos (lixo), Viabilidade Econômica, USINAVERDE, Sustentabilidade.*

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo mostrar de forma clara e objetiva a viabilidade econômica e tecnológica da implantação de uma Usina de aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos em Mossoró-RN. Embasando todo o projeto nos principais referenciais bibliográficos em âmbito nacional.

A produção de lixo é um problema nacional e mundial, bem como a crescente demanda de energia elétrica. O aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU's) para produção de energia elétrica é uma solução integrada para esses dois problemas tão distintos.

Um país populoso como o Brasil descarta todos os dias uma montanha de cerca de 190 mil quilogramas de lixo doméstico e outros 270 mil de entulhos que poderiam gerar uma riqueza anual estimada em US\$ 10 bilhões (Calderoni, 2003). A quantidade diária de lixo doméstico encontra-se na faixa de 0,8 kg per capita nas pequenas e médias cidades, chegando a 1,05 kg nas grandes metrópoles brasileiras.

Até julho de 2000, a produção de energia elétrica era monopólio estatal no Brasil. Só agora, com a mudança do modelo institucional do setor elétrico tornou-se possível a geração de energia elétrica a partir do lixo com a participação da iniciativa privada.

A energia elétrica via lixo pode ser obtida de duas formas: pela compostagem da fração orgânica e pela incineração da parte seca. A fermentação – decomposição da matéria orgânica – é geralmente feita em biodigestores, ou em aterros sanitários munidos de sistema de dutos de coleta do biogás, um conjunto de gases gerados por essa decomposição.

O biogás possui entre 50% e 70% de metano, que tem poder calorífico, isto é, pode ser queimado para gerar energia. No caso da incineração, a energia é gerada através da queima completa dos resíduos. Esse processo produz monóxido de carbono, que também apresenta poder calorífico, segundo José Aurélio Medeiros da Luz, um dos líderes do grupo de pesquisa sobre tratamento de minérios e resíduos da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) (Luz, 2009). O lixo também produzirá retorno financeiro seja para a prefeitura, seja para as concessionárias, com a venda de quilowatts, fertilizantes e de materiais para reaproveitamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Caracterização do Problema

O lixo gerado pela sociedade atual cria sérios problemas ambientais e de saúde pública. Peritos indicam que, no geral, não se conhece a dimensão do perigo que se esconde nas técnicas de disposição adotadas comumente. Ao invés disso, as áreas destinadas a lixões não-monitorados só tem crescido. A disposição de resíduos sólidos a céu aberto no Brasil chegava a 75% em 1989, sendo que esses resíduos são dispostos muitas vezes próximos a mananciais d'água,

contribuindo significativamente para a obstrução da rede de drenagem urbana, facilitando as enchentes e a difusão de doenças como dengue, malária, cólera, leptospirose, e leishmaniose.

Os aterros sanitários em todo o mundo produzem cerca de 20 a 60 milhões de toneladas de metano por ano, como um resultado direto da decomposição orgânica dos componentes do lixo (MUYLAERT, et al., 2000). Aproximadamente dois terços destas emissões são oriundas de países desenvolvidos, sendo que os onze maiores emissores representam 70% das emissões globais. Os EUA são o maior emissor, seguido por China, Canadá, Alemanha e Reino Unido. A contribuição relativa dos países em desenvolvimento está mudando rapidamente, devido à tendência de crescimento populacional e urbanização, bem como as necessidades de crescimento econômico. Estes países serão responsáveis por uma parcela cada vez maior das emissões de metano.

O metano é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa de origem antropogênica. Como seu potencial de aquecimento global (GWP) é 21 vezes maior que o dióxido de carbono, a simples queima do metano, mesmo sem o aproveitamento do calor gerado, reduz o seu impacto ambiental. Se o CH₄ for utilizado para a geração de energia em substituição ao combustível fóssil, esta redução de impacto será mais significativa. Esses benefícios podem ser comercializados no mercado internacional, através da comercialização dos créditos de carbono.

Os aterros sanitários representam oportunidades de geração ou recuperação de energia e produção de fertilizantes orgânicos (compostagem), que podem ser associados a um processo de reciclagem, com ganhos econômicos e ambientais pela matéria-prima primária evitada. Além disso, os aterros apresentam uma oportunidade de redução das emissões de metano em vários países. Apesar disso, quase nada dos resíduos brasileiros é transformado em energia, ao contrário dos países ricos, que processam 130 milhões de toneladas de lixo, gerando energia elétrica e térmica em 650 instalações.

A disposição oficial de fomentar esta fonte de energia ficou patente quando em julho de 2007 a Diretoria da ANEEL aprovou alteração do art. 3º da Resolução Normativa ANEEL nº 77, de 18 de agosto de 2004, concedendo “direito a 100% (cem por cento) de redução, a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos.”

Alternativas para Aproveitamento de Resíduos Urbanos (RSU's)

Existem, principalmente, dois conjuntos disponíveis de sistemas de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos e que devem ser consorciados: a reciclagem e a transformação desses resíduos.

A reciclagem está relacionada ao reaproveitamento dos materiais com finalidades similares aquelas para as quais tinham sido originalmente produzidos sendo usados como matéria-prima reciclável nas próprias indústrias que os fabricaram. Cada material tem uma capacidade técnica de reciclagem, nunca inferior a uma vez, ou seja, cada produto pode ser reciclado pelo menos uma vez, com isso tem-se potencial de conservação de energia por tonelada de material reciclado, conforme apresentado na Tab.1.

Tabela 1. Potência de conservação de energia por tonelada reciclada.

Material	Mwh/tonelada
Papel	3,5
Plástico	5,3

Fonte: (Oliveira, Henriques, & Pereira, 2002).

Caso a mesma quantidade de material fosse incinerada, o máximo obtido de energia seria 3,3 MWh por tonelada de material incinerado. Ou seja, reciclando uma tonelada de plástico teria-se 5,3 MWh de energia conservada e depois a possibilidade de geração de energia com o plástico uma vez reciclado de 3,3 MWh/t totalizando 8,6 MWh por tonelada. Conclui-se, com o apresentado, que deve ser concedida prioridade à opção de reciclagem, devido a seu balanço energético mais favorável que a transformação via combustão desses materiais, única alternativa disponível.

Em geral, é reciclado aquilo que gera renda. Infelizmente na atual sociedade tornando-nos tão eficientes e diversificados que é mais barato, para o modelo dominante, produzir bens a partir da matéria-prima virgem do que reciclar a sucata. Há dificuldades técnicas, além disso. É o caso do aço. Há mais de 30 mil graduações de ligas que não são intercambiáveis. Algo semelhante se passa com o plástico. Isto esclarece porque tanto tempo é gasto na separação de materiais antes da reciclagem de fato.

A segunda rota, a transformação, diz respeito ao uso de resíduos para fins diferentes dos originais, como no caso da utilização da biomassa presente nos restos alimentares para produzir combustível ou adubo, em ambos os casos há redução das quantidades de resíduos sólidos urbanos a serem depositadas em aterros sanitários, o que amplia suas vidas úteis e soluciona um dos grandes problemas da atualidade: a escassez de áreas para novos depósitos de RSU.

Quanto à transformação, é preciso caracterizar as alternativas em função do fato de o lixo já ter sido disposto ou não. No primeiro caso, a rota mais indicada é a recuperação do biogás oriundo da decomposição da matéria orgânica,

para abastecer um sistema de geração. Para o lixo não disposto existem alternativas capazes de reduzir substancialmente a quantidade de resíduos a serem encaminhados para os aterros.

Contextualização Nacional e Internacional da Energia proveniente do lixo.

Somente a União Européia extrai 8.800 megawatts de 50,2 milhões de toneladas por ano em 301 usinas concluído na conferência internacional WEIECWB sobre últimas novidades e tecnologias ligadas à geração de energia a partir do lixo, realizada em maio de 2007 na Alemanha (Waste to Energy International Exhibition & Conference from Waste and Biomass - Web Site).

“Só no caso do lixo urbano, existem mais de 1.700 usinas de geração elétrica em funcionamento, aplicando cerca de 100 tecnologias”, afirma Luciano Basto Oliveira, doutor em planejamento energético pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe), da UFRJ, e assessor da Superintendência de Gás e B combustíveis da EPE1. No Brasil o mais comum é extrair energia a partir do biogás - gerado em aterros sanitários -, a tecnologia de tratamento térmico do lixo é uma alternativa já adotada em outros países.

Um caso brasileiro notável de aproveitamento energético dos RSUs é o da Usina Verde. Em funcionamento desde 2004, a usina que fica na Ilha do Fundão, próxima ao Hospital Universitário, recebe diariamente 30 toneladas de resíduos sólidos, já pré-tratados, provenientes do aterro sanitário da Comlurb, no Caju.

A usina é de iniciativa privada e sua tecnologia foi desenvolvida pela Coppe/UFRJ (USINA VERDE). O projeto trabalha com a incineração de lixo urbano e é considerada uma tecnologia limpa, pois destroem termicamente os gases poluentes produzidos no processo, liberando na atmosfera, sem causar danos ambientais, apenas vapor de água e CO₂. Na unidade, os resíduos passíveis de reutilização ou de reciclagem são retirados; o restante é incinerado. Além de ser ecologicamente correta, a usina apresenta também uma faceta econômica, pois cerca de 90% do peso do lixo é transformado em energia. Os custos iniciais para instalação de uma usina desse porte é de 23 milhões de reais, enquanto a importação dessa mesma tecnologia demandaria cerca de 23 milhões de dólares.

Outro referencial brasileiro na busca para alternativas energéticas para RSU é o pesquisador da USP Sabetai Calderoni. Sabetai criou as Centrais de Reciclagem Integral. Estrutura que integra todas as atividades relacionadas ao tratamento do lixo. "As centrais evitam que 90% do lixo vão para os aterros", proclama seu idealizador. Segundo ele, aproximadamente 70 municípios negociam a implementação dessas unidades. Para ser viável, o volume mínimo necessário de resíduos é de 200 t/dia, quantidade produzida por uma cidade com entre 300 e 350 mil habitantes.

Tecnologias Disponíveis

Como citado anteriormente, existem mais de 100 tecnologias para aproveitamento energético do lixo, mas basicamente abordaremos quatro tecnologias em uso viável para aproveitamento através da geração de energia dos resíduos sólidos urbanos: tecnologia do aproveitamento do gás de lixo; tecnologia da incineração controlada do lixo; tecnologia DRANCO (compostagem seca anaeróbia); tecnologia BEM (processo de pré-hidrólise ácida).

A tecnologia do aproveitamento do gás do lixo é interessante, uma vez que pode ser utilizada a curto e médio prazo para os gases gerados nos aterros sanitários brasileiros. A escolha pela tecnologia da incineração controlada do lixo se justifica pela existência de uma indústria consolidada, co-sistemas de incineração de alta tecnologia e baixas emissões de poluentes, e ainda com utilização para tratamento de lixo hospitalar e perigoso. A tecnologia DRANCO é mais recente e vem sendo utilizada na Europa. A tecnologia BEM é a única ainda não comercializada, porém um grupo de pesquisadores brasileiros vem estudando sua implantação no interior de São Paulo.

Tecnologia de Gás de Lixo

O gás de lixo (GLD) é normalmente usualmente composto por uma mistura de 50% de CH₄, 45% de CO₂ e 5% de H₂S e outros gases. Tal mistura apresenta um potencial de aproveitamento energético.

Um sistema padrão de coleta de GDL tem três componentes centrais: poços e tubos condutores; sistema de tratamento e compressor. Além disso, a maioria dos sanitários com sistema de recuperação energética terá um flare para queima do excesso de gás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos. O flare nada mais é que um dispositivo simples para ignição e queima do GLD.

Integrado a isso, temos um Sistema de Geração ou Recuperação de Energia, cuja finalidade é o aproveitamento energético do GLD e convertê-lo em alguma forma de energia útil. As importantes formas dessa geração/recuperação de

¹ EPE - empresa de pesquisas energéticas

energia são: uso direto do gás de médio BTU; produção de energia/cogeração; vendas de gás de qualidade através de gasodutos.

A melhor configuração de um aterro sanitário em particular dependerá de uma variedade de fatores, incluindo a viabilidade de um mercado de energia, os custos de projetos, as fontes potenciais de receita, e várias considerações técnicas.

Tecnologia da Incineração Controlada do Lixo

Dados recentes falam na incineração de cerca de 10% do lixo do Japão, em torno de 80% do lixo da Suíça e da Alemanha e cerca de 30 milhões de toneladas de lixo incineradas nos EUA por ano. Em Paris, 100% do lixo são incinerados, dentro da própria cidade, e fornecendo água aquecida para cerca de 70 mil apartamentos.

O lixo brasileiro é composto, por estimativa conservadora, em média por 65% de restos alimentares, 25% de papel, 5% plástico, 2% vidro e 3% metais (IPT - Institutos de Pesquisas Tecnológicas, 1998). Toda a parte não reciclável, a parte orgânica, serve como material de incineração. Nesse processo as duas câmaras precisam de combustível auxiliar.

É muito importante observar que a energia gerada é um subproduto do processo de destinação final ambientalmente correta do lixo urbano e como tal uma Unidade de Tratamento de RSU jamais deve ser comparada com hidrelétricas ou termelétricas, cuja função exclusiva é gerar energia.

No Brasil, atualmente, a incineração é utilizada somente para resolver a questão da disposição final de resíduos perigosos e parte dos resíduos hospitalares. No entanto, essa tecnologia utilizada atualmente no país não se faz o uso do aproveitamento energético. Ainda são necessários aprimoramentos tecnológicos para permitir esse aproveitamento de forma economicamente viável e ambientalmente correta. A concepção moderna de incineração de lixo municipal é uma queima extremamente controlada e envolve tipicamente duas câmaras de combustão.

A câmara primária é a receptora direta do lixo. Nessas câmaras controladas evita-se a volatilização de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxido nitroso. A parte sólida no final é reduzida a cerca de 4 a 8% do volume original e tem o aspecto de cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou mesmo aplicado à construção civil (tijolos, capeamento de estradas, etc.).

Já a câmara secundária tem atmosfera altamente oxidante (excesso de oxigênio) e os gases, recebidos da câmara primária, são oxidados a CO₂ e a H₂O. Na temperatura usual dessa câmara (1000°C) a possibilidade de moléculas grandes como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é praticamente zero.

Com a incineração controlada dos RSU's é possível com 500 toneladas diárias, abastecer uma usina termoeletrica com potência instalada de 16 MW, o que representa um potencial de aproximadamente 0,7 MWh/t.

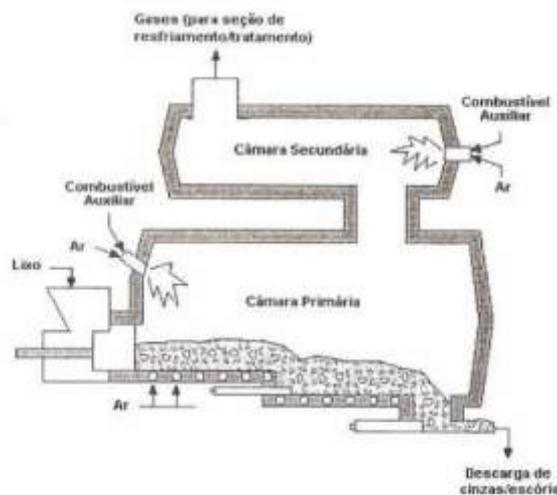


Figura 1 - Esquema Representativo de Dupla-Câmara de Combustão. Fonte: (ARANDA, 2001)

A USINAVERDE é licenciadora de uma tecnologia patenteada, para projetos de implantação de Usinas de Tratamento Térmico de Resíduos Urbanos com Geração de Energia em módulos com capacidade para tratar 150 toneladas de “lixo bruto” por dia, com geração efetiva de 3,3 MW de energia elétrica, sendo 2,8 MW exportáveis.

Cada módulo é capaz de atender às necessidades de disposição final de lixo de uma comunidade em torno de 180 mil pessoas, e de suprir de energia elétrica cerca de 14000 residências (consumo médio residencial de 140 kWh/mês, segundo a EPE/MME). Cerca de 30% da população poderá ser abastecida pela energia do lixo gerado no próprio município.

O tratamento térmico dos resíduos no forno ocorre, em média, a 950° C. A oxidação dos gases, na câmara de pós-queima, ocorre a cerca de 1050°C com tempo de residência de 2 segundos. As cinzas são recolhidas em arrastadores submersos em corrente de água e lançadas no decantador.

Os gases quentes (cerca de 1000° C) são aspirados através de uma Caldeira de Recuperação, onde é produzido vapor a 45 bar de pressão e 400°C. O vapor gerado pela caldeira acionará um turbo-gerador com potência efetiva de 3,3 MW, gerando aproximadamente 0,6 MW de energia elétrica por tonelada de lixo tratado. Os gases exauridos da Caldeira de Recuperação são neutralizados por processo que ocorre em circuito fechado (filtro de mangas, lavadores de gases e tanque de decantação) não havendo a liberação de quaisquer efluentes líquidos.

O processo de lavagem ocorre em dois estágios: no 1º estágio, ocorre a captura dos materiais particulados ainda presentes nos gases, com a utilização de um filtro de mangas; no 2º estágio os gases são resfriados e lavados com uma solução alcalina, no interior de um lavador primário dotado de spray jets; posteriormente os gases são forçados a passar por “barreiras” de solução alcalina micronizada por hélices turbinadas existentes no interior dos lavadores, ocorrendo o chamado “polimento dos gases”.

A solução de lavagem proveniente dos lavadores é recolhida em tanques de decantação onde ocorre a neutralização com as cinzas do próprio processo, hidróxido de sódio e a mineralização (decantação dos sais), retornando posteriormente ao processo de lavagem.

Tabela 2 - Gases Poluentes emitidos após o processo da USINA VERDE – Fonte: (USINA VERDE)

Substância	Concentração (mg/Nm ³)	Oxigênio medido (% vol.)	Concentração corrigida (% vol.)	Limite legal (% vol.)
Gases				
Ácido Clorídrico (HCl)	20.31	11.3	38.52	80
Ácido Fluorídrico (HF)	0.3	12.6	0.03	5
Óxido de Nitrogênio (Nox)	316	10.6	425	560
Óxido de Enxofre (Sox)	2.46	13.8	3.75	280
Material Particulado	16.72	12.6	27.85	70
Poluentes Orgânicos Persistentes				
Dioxinas e Furanos	19 ng/Nm ³	10.6	0.27 ng/Nm ³	0.50 ng/Nm ³
Metais Pesados				
Classe I				
Cádmio (Cd)	0.015	11.7	0.08	
Mercurio (Hg)	0.010	10.06	0.13	
Total Classe I			0.13	0.28
Classe II				
Níquel (Ni)	0.57	11.9	0.29	
Total Classe II			0.29	1.4
Classe III				
Chumbo (Pb)	8.6	11.7	4.38	
Cromo (Cr)	1.16	12.2	0.60	
Cobre (Cu)	1.75	12.2	0.90	
Antimônio (Sb)	0.39	12.3	0.20	
Total Classe III			6.27	7
Testes realizados jan/fev de 2009 na Usina Verde.				

Restarão no decantador um precipitado salino (concentração de cálcio e potássio) e material inerte, correspondendo a algo em torno de 8%, em peso, dos resíduos para tratados. Este material está sendo testado ainda, em substituição à areia, na fabricação de tijolos e pisos. Um módulo de 150 t/dia gera material suficiente para a produção de 1500 tijolos/dia (uma casa de 50 m2 por dia). Contudo o foco desse projeto nos encaminha a desconsiderarmos produção ou fim dos RSU's que na seja energético.

Os gases limpos, após passagem por eliminador de gotículas (demister), são liberados para a atmosfera pela chaminé. Exaustores instalados imediatamente após o filtro de mangas garantem que todo o sistema combustão dos resíduos no forno e de recuperação de calor na caldeira opere em pressão negativa, impedindo que haja vazamento dos

gases da combustão diretamente para a atmosfera. Os resultados que vêm sendo obtidos encontram-se em perfeita conformidade com as normas ambientais, como pode ser observado nos quadros que se seguem:

Dados Obtidos de Mossoró-RN.

A cidade de Mossoró-RN com apresentou no último censo do IBGE no ano de 2000 com Divisão Territorial 2001 e já se encontra com uma população de 213.841 habitantes com uma taxa de crescimento de 1,20% ao ano. Obtivemos da Secretaria de Serviços Urbanos de que a população atualmente é de 244.287 habitantes, produzindo uma quantidade de resíduos domiciliares estimados em 228,31 toneladas/dia. Contudo a produção de lixo mensal na cidade de Mossoró/RN é de, aproximadamente, 4 mil toneladas (SANEPAV, 2009), ou ,aproximadamente , 135 toneladas/dia.

Atualmente esse lixo é depositado no aterro sanitário da cidade, sabe-se que essa destinação do lixo causa grandes impactos ambientais, como: emissão de gases poluentes, contaminação dos lençóis freáticos pelo chorume, ocupação de áreas extensas, intenso tráfego de caminhões e onerosa manutenção. As usinas de tratamento térmico do lixo exigem áreas menores e operam sem odor e ruído.

Ainda vale apenas ressaltar que ainda existe uma boa parte de lixo que pode ser aproveitada para um projeto como esse, que se trata do “lixo público”, como troncos e folhas de árvores, etc. Assim a produção de lixo chega a mais de 150 toneladas/dia. (SANEPAV - Saneamento Ambiental Ltda. Empresa responsável pela gestão do aterro sanitário). Para a análise da composição gravimétrica dos resíduos, foram dispostos diretamente dos caminhões de coleta de cada setor, cerca de 2m³ de resíduos, durante dois dias, e efetuado o quarteamento.

Tabela 3 - Composição gravimétrica dos Resíduos de Mossoró

Materiais	Regional Norte	Regional Sul	Regional Centro	Média
Restos de alimentos	17.40 %	26.75 %	14.39 %	19.51 %
Papel/papelão	6.02 %	5.78 %	5.04 %	5.61 %
Plástico filme	3.68 %	4.56 %	1.44 %	3.23 %
PET	1.67 %	1.52 %	0.58 %	1.26 %
Outros plásticos	2.21 %	1.52 %	0.86 %	1.53 %
Vidro	0.47 %	0.18 %	0.14 %	0.26 %
Material ferroso	2.41 %	1.28 %	0.07 %	1.25 %
Alumínio	0.00 %	0.18 %	0.00 %	0.06 %
Têxteis	4.02 %	3.65 %	4.96 %	4.21 %
Madeira	0.27 %	0.12 %	0.00 %	0.13 %
Folhagem	12.38 %	6.69 %	22.09 %	13.72 %
Borracha	0.00 %	1.64 %	0.22 %	0.62 %
Ossos	0.20 %	0.06 %	0.00 %	0.09 %
Inerte	49.26 %	46.08 %	50.22 %	48.52 %
Total	100.00 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %

Fonte: (EIA/RIMA - Aterro Sanitário, 2005)

Análise de Viabilidade Econômica

O aumento da segurança do sistema elétrico com a geração descentralizada a custos competitivos, usando combustível cotado em moeda nacional e, normalmente, custo negativo, deve ser somado ao fato de que a oferta desta energia limpa permitirá ao Brasil reverter parte do fluxo internacional de capitais. Este processo decorrerá da redução da importação de gás natural, substituído pelos resíduos na geração elétrica e da captação de recursos internacionais decorrentes do Protocolo de Quioto, devido ao combate de duas das principais fontes de emissão de gases do efeito estufa: os vazadouros de lixo e as usinas termelétricas de combustíveis fósseis.

Ainda que pareçam competir entre si, as rotas tecnológicas de aproveitamentos energéticos de resíduos são compatíveis com as usinas termelétricas a combustíveis fósseis (gás natural), além de serem complementares. A complementaridade é função da oferta de combustível, da lógica do desembolso financeiro e da emissão de gases do efeito estufa.

Devido a falta de dados sobre investimento na coleta seletiva, calcula-se mesmo que o custo operacional desta alternativa seja oito vezes superior ao do sistema atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), o lucro operacional líquido supera R\$ 4,5 bilhões anuais. Este valor é substancial quando comparado aos cerca de 5,5 bilhões de investimentos necessários para as unidades de geração termelétrica.

Como os resíduos são produzidos e dispostos nas proximidades dos grandes centros urbanos, principais consumidores de energia, desconsidera-se o custo de transmissão de energia elétrica. Quanto ao custo de combustível, este será nulo, se for obtido a partir da recuperação do gás dos aterros, pois o custo de disposição final já terá sido pago, mas será negativo no caso dos resíduos serem utilizados por usinas cujas rotas tecnológicas evitem a disposição final da maior parte dos resíduos sólidos urbanos.

Os custos de investimentos, de operação e manutenção, bem como as quantidades de combustível utilizado, diferem de acordo com a tecnologia, como pode ser visto na Tab.4.

Tabela 4 - Dados das principais tecnologias.

	Celulignina	Digestão Acelerada (DRANCO)	Gás do Lixo	Incineração
Toneladas/dia	1250	200	300	500
MW	25	3	3	16
Investimento (US\$/KW)	840	1500	1000	1563
Vida Útil (anos)	30	30	15	30
Prazo de Instalação (meses)	18	9	12	18
Custo de Combustível (US\$/MWh)	-1.3	-10.66	0	-8.18
Custo de Operação e Manutenção (US\$/MWh)	5.99	10.7	7.13	7.67
Custo de Transmissão	0	0	0	0

Fonte: (Pinguelli Rosa, et al., 2003)

Devido a tecnologia BEM não resolver a questão da produção de energia, essa tecnologia foi evitada no decorrer do projeto. A tecnologia DRANCO, por sua vez, apresenta um empecilho crucial que é a falta de um estudo mais aprofundado e falta de uma experiência concreta no Brasil. Restando-nos escolher entre a Incineração controlada e o Gás de Lixo, e pelos dados apresentados a seguir, chegamos à conclusão de que a tecnologia mais adequada para o empreendimento é a de incineração. A tecnologia de aproveitamento o GDL parece viável apenas se usado em conjunto com outra forma de aproveitamento.

A aplicação dos dados da Tab. 4 na metodologia apresentada a seguir permite obter os custos da energia gerada por cada tecnologia, que estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 5 - Índice custo - benefício das tecnologias propostas.

	Índice Custo Benefício (US\$/MWh) das tecnologias propostas, com taxa de desconto de 20% ao ano, sem impostos.
Gás do Lixo	46.34
DRANCO	45.7
BEM	29.09
Incineração	43.61

Fonte: (Pinguelli Rosa, et al., 2003)

A tabela acima mostra que as três rotas tecnológicas de geração de energia com resíduos já em funcionamento tem custos próximos aos das termelétricas a gás natural em ciclo combinado, cerca de US\$ 43,32 / MWh a tecnologia BEM, sinaliza para custos mais atrativos, em função de seu menor custo de investimento o seu rendimento de eletricidade por toneladas de lixo, mas ainda não conta com nenhuma planta em funcionamento.

Outra variável importante, por conta dos acordos internacionais que permitem a comercialização de créditos de carbono, é a que diz respeito a redução de emissões de gases do efeito estufa. O aproveitamento energético do lixo é

reconhecido como uma das iniciativas com o maior potencial neste sentido, por reunir a inibição de duas das principais fontes poluidoras: o metano oriundo da decomposição do lixo e o dióxido de carbono proveniente da queima do gás natural para geração elétrica.

Como cenário de referência foram incluídos dois setores da atividade econômica, sendo necessário detalhar cada uma deles e o primeiro é o setor de tratamento de resíduos, cuja realidade brasileira exposta pela segunda pesquisa nacional de resíduos sólidos (PNSB), realizada pelo IBGE em 2000 mostrou que o metano raramente é recuperada e queimada. Utilizando a metodologia do IPCC (1996) para cálculo do metano, obtém-se que a cada tonelada de lixo, com a composição típica brasileira, emite-se 6,5% de metano, cujo potencial de aquecimento global (GWP) fator de normalização com relação ao dióxido de carbono para o período de 100 anos, é 21. Entretanto o GWP pode ser considerado 20, pois uma unidade será reabsorvida pela fotossíntese quando da próxima safra da biomassa que compõe o lixo e que é decomposta. Isto significa que a cada tonelada de lixo, disposta em aterro sem recuperação e tratamento do biogás, emite 1,3 toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Já a expansão da geração no setor elétrico brasileiro está fundamentada em usina termelétricas a gás natural em ciclo combinado, com fator de emissão de 449 toneladas de CO₂/GWh.

Para conhecer a emissão evitada pelo aproveitamento energético cada rota tecnológica é preciso considerar suas eficiências individuais, sabendo-se que cada unidade energética consome uma determinada quantidade de lixo e evita uma unidade energética gerada com gás natural, encontra-se a emissão evitada por unidades energéticas gerada por rota tecnológica.

Convém comparar estes valores com os custos da energia gerada nas usinas termelétricas a gás natural, tanto as usinas já em funcionamentos e quanto aquelas que estão em construção os custos de energia geradas por essas usinas apresentam-se na faixa de US\$ 43,32/MWh. Este resultado foi obtido aplicando a metodologia a mesma taxa de desconto de 20% custo de investimento de US\$ 625,00/kW, com dois anos de construção e custos de operação e manutenção de US\$ 7,00/MWh.

3. METODOLOGIA DA ANÁLISE ECONÔMICA

Para calcular o custo da energia gerada é utilizada a metodologia de custo nivelada da energia o que é elaborado através do Índice Custo-Benefício (ICB). Para tanto é considerado:

$$ICB = CI + COM + CTI + CC$$

Onde:

- **CI** – custo anual do investimento na usina em US\$ / MWh, dado por:

$$CI = IU.FR / EG.8760$$

IU – custo total de investimento na usina, juros durante a construção, em US\$;

FRU – fator de recuperação do capital para vida útil econômica da usina, expresso por:

EG – energia garantida da usina em MW /ano;

8760 – número médio de horas do ano.

$$FRU = i.(1 + i)^v / (1 + i)^v - 1$$

i – taxa anual de descontos;

v – vida útil em anos;

- **COM** – custo anual de operação e manutenção na usina em US\$/ MWh, dado por:

$$COM = OMU.POT / EG.8760$$

OMU – custo anual de operação e manutenção da usina em US\$ /MW/ano;

POT – potência instalada na usina em MW.

EG – energia garantida da usina em MW /ano;

8760 – número médio de horas do ano.

- **CTI** – custo anual de investimentos em transmissão em US\$/MWh, dado por:

$$CTI = IT .FRT / EG.8760$$

FRT – fator de recuperação de capital para vida útil econômica da transmissão.

IT – investimentos em transmissão, inclusive juros durante a construção, em US\$;

- **CC** – custo anual do combustível da usina em US\$/ MWh, dado por:

$$CC = CUT.REND$$

CUT – Custo unitário do combustível em US\$/t ou US\$/ m³;

REND – Consumo específico médio da usina em t/MWh ou m³/MWh.

De acordo com os dados de instalação e produção de um (1) módulo comercial com capacidade de processamento de 150 t/dia fornecido pela USINAVERDE, o qual será referido neste trabalho, tem-se o seguintes dados:

$$IU = R\$ 20.555.555,00;$$

$$I = 20 \%;$$

$$V = 30;$$

$$FRU = 0,200846128;$$

$$EG = 05 MWh;$$

$$POT = 3,3 MWh;$$

$$COM = R\$ 12,5;$$

$$CTI = 0;00$$

$$CI = R\$ 0,95$$

$$CC = R\$ 0,00$$

Portanto,

$$ICB = R\$ 13,45/MWh /ano$$

EP - energia produzida em MW por ano;(32000)

PV - Preço de venda MW: (R\$ 140,00)

CT - Custo Total de Investimento (R\$ 20.000.000,00)

- **PERI** - Período Estimado de Retorno do Investimento (5 anos)

$$PERI = CT/EP.PV$$

4. SOLUÇÃO PROPOSTA

A potência mínima instalada, instituída pelo governo, é de 3 MW. Essa quantidade norteará o dimensionamento mínimo de nossa usina e impede a geração de energia com menor quantidade de detrito. A tecnologia utilizada será a da incineração controlada dos RSU e o método será similar ao patenteado pela USINAVERDE, que consiste no tratamento térmico e geração de energia a partir dos resíduos urbanos precedidos por criteriosa seleção manual/mecânica de todos os materiais recicláveis. Somente é submetido ao tratamento térmico o material que seria destinado ao Aterro.

O prazo para implantação de Unidades compostas por até 4 módulos de 150 t/dia é de aproximadamente 23 meses contados a partir da concessão da licença de instalação pela autoridade ambiental local. O uso de água de make-up sem necessidade de tratamento especial e a flexibilidade de utilização, como combustível auxiliar, do gás natural ou mesmo do biogás de aterro, garantem um custo operacional relativamente baixo.

A operação de cada módulo ficará a cargo de 47 profissionais distribuídos por turnos. A área de Pré-Tratamento dos Resíduos opera em dois turnos de 8 horas. A área de Tratamento Térmico & Geração de Energia da Usina opera em regime de 24 horas por dia/7 dias por semana. Além da equipe própria, poderão ser empregadas cerca de 50 pessoas organizadas em regime de “Cooperativa de Catadores”, atuando na segregação de recicláveis e remuneradas pelo resultado da venda dos recicláveis à indústria.

Sob o ponto de vista de negócios para a iniciativa privada, as Unidades de Tratamento Térmico de Lixo com Geração de Energia concebidas dessa forma podem apresentar as seguintes fontes de receitas principais:

- A taxa de Destinação Final do Lixo a ser paga pela Prefeitura conforme Contrato de Concessão dos serviços de Destinação Final de Resíduos Urbanos;
- A venda da Energia Elétrica excedente ao consumo da própria planta. Cada módulo tem a capacidade de exportar aproximadamente 2000 MW/mês.

Tabela 6 - Simulações de fluxo de caixa para 20 anos. Fonte: (USINA VERDE)

Unidade/Capacidade	Estimativa de Investimento	Destinação Final	TIR/Retorno
1 módulo 150 t/dia / 2.6 MW	R\$ 28.000.000,00	R\$ 45,00/t	17.6% / ano 6

O potencial de geração de energia elétrica através do uso de RSU's mostrou-se interessante do ponto de vista sócio-ambiental e econômico, embora esse empreendimento demonstre uma viabilidade com um preço de instalação de R\$ 20.555.555,00 para um módulo de produção com capacidade de 3,3MWh e processamento de 150t/dia.

Seriam gerados diretamente 50 postos de trabalho, incluindo as dependências da usina e associações de catadores. Mas o número de empregos indiretos ultrapassa o número de empregos diretos.

Em particular, notou-se que o potencial de geração é limitado devido à produção de lixo. Contudo, nota-se um grande potencial de desenvolvimento sustentável a partir da viabilização técnico-econômica das usinas de tratamento térmico do lixo para a obtenção de energia elétrica. O tempo de retorno calculado corresponde a um prazo bem aceitável para os parâmetros do tipo de investimento.

5. AGRADECIMENTOS

Ao professor Augusto Pavão que tanto nos motivou para uma busca real do exercício da Engenharia, especialmente, de Energia.

6. REFERÊNCIA

- Aranda, D. 2001. "Catalisadores para Tratamento de Gases Tóxicos Provenientes de Incineração de Lixo". Congresso Brasileiro de Catálise (pp. 228-231). Bento Gonçalves: IBP.
- Calderoni, S. 2003. "Os bilhões perdidos no lixo". São Paulo: Humanitas FFLCH/USP.
- D'almeida, M. 2000. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento integrado. In: A. VILHENA. São Paulo: IPT/CEMPRE.
- Muylaert, M., Ambram, R., Campos, C., Montez, E., Oliveira, L., Pereira, A., et al. 2000. "Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo" – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudo de Caso. Rio de Janeiro: Editora da COOPE.
- Oliveira, L., Henriques, R., & Pereira, A. 2002. Coleta Seletiva, Reciclagem e Conservação de Energia. IX CBE, vol. 3, (p. 1461). Rio de Janeiro.
- Pinatti, D. 1996. Programa BEM – Biomassa, Energia e Materiais – Documento Básico DEMAR. Lorena - SP.
- Pinguelli Rosa, L., Bastos Oliveira, L., Oliveira da Costa, A., Prudêncio Pimenteira, C. A., Bedeschi Rego de Mattos, L., Martins Henrique, R., et al. 2003. Geração de Energia a partir de resíduos do Lixo e Óleos Vegetais. In: M. T. Tolmasquim, Fontes Renováveis de Energia no Brasil (pp. 93-131). Interciência.
- Shapiro, A. 1999. Lixo Urbano: tecnologia e economia. Jornal Gazeta Mercantil .
- Silva, V. 2002. O Futuro das Indústrias e o Papel da Universidade no Desenvolvimento Sustentável. Acesso em 4 de 6 de 2002, disponível em MDIC: www.mdic.gov.br/tecnologia/revista/artigos/PE/art09vandinete.PDF

7. DIREITOS AUTORAIS

8. CON10-1896

STUDY OF ECONOMIC FEASIBILITY OF SETTING UP A PRODUCTION PLANT PRA ELECTRICAL ENERGY FROM URBAN WASTE RESIDENTIAL, IN MOSSORÓ-RN, BRAZIL.

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, BR 110 - Km 47, Bairro Pres. Costa e Silva, CEP 59.625-900.

Abstract: *The work shows the feasibility of the deployment in Mossoró, Brazil, of a plant of energy recovery from municipal solid waste, an integrated solution for two distinct issues: waste generation and increasing energy demand. We have reached a potential of 3.3 MW with processing 150 tonnes / day.*

Key-words: *Alternative Energy, Solid Waste (garbage), Economic Viability, USINAVERDE, Sustainability. Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.*

Os cinco autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.