

II-001 - ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. INCINERADOR *MASS BURN* E BIODIGESTOR ANAERÓBIO

Clauber Barão Leite⁽¹⁾

Engenheiro ambiental pelas Faculdades Oswaldo Cruz. Mestrando em Energia, pelo programa de pós graduação em energia da USP.

Roberto Isao Kishinami

Físico, mestre pela IFUSP/FEUSP, consultor da NRG.

Ruy de Goes Leite de Barros

Consultor Climateworks

Tarcísio de Paula Pinto

Arquiteto, Mestre e Doutor pela USP, Diretor da I&T Informações e Técnicas

Endereço⁽¹⁾: Avenida Professor Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã - São Paulo - SP-
CEP: 05508-010 – Brasil - Tel: +55 (11) 3091-2500 – email: clauber@usp.br

RESUMO

Na Política Nacional de Resíduos Sólidos são claras as exigências para o exercício da responsabilidade compartilhada por todo o ciclo de vida dos materiais, implementação da logística reversa para uma série de produtos, inclusive embalagens, redução da periculosidade dos resíduos e a exigência do respeito à ordem de prioridade dos processos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final. No rol de alternativas possíveis, esse trabalho expõe o resultado de uma análise comparativa entre duas alternativas de aproveitamento energético de resíduos sólidos: uma rota tecnológica baseada em incineradores (*incineradores mass burn* - queimam resíduos na forma como são recebidos, com segregação apenas de vidro e metal, ou com adição de outro combustível fóssil para alcançar poder calorífico adequado) e outra baseada em digestores anaeróbios ou biodigestores (biodigestores – tratam os resíduos úmidos controlando a presença de bactérias em ambiente fechado). Ele busca ampliar o conhecimento sobre tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos ainda pouco empregadas no país. A análise abrange o desempenho econômico financeiro relativo à implantação e operação, o balanço energético (energia produzida e energia conservada), as emissões de gases de efeito estufa, o impacto sobre empregos e o atendimento aos marcos regulatórios federais. Estas duas rotas tecnológicas foram analisadas segundo um cenário idealizado (1000 t/dia), compatível com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, incorporando as características médias do resíduo gerado nas cidades brasileiras (51% de resíduos úmidos, 32% de secos e 17% de rejeitos). Entre as características médias deste resíduo está a sua elevada umidade e o pequeno poder calorífico, devido à baixa presença relativa de materiais combustíveis. Neste contexto, o presente estudo comparativo demonstra que a rota tecnológica baseada no biodigestor anaeróbio atende a mais aspectos definidos pela legislação nacional, além de apresentar mais vantagens competitivas do ponto de vista econômico-financeiro (custo do investimento), social (geração de empregos) e ambiental (emissões reduzidas/evitadas e conservação de energia).

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo Sólido Urbano, tratamento de resíduos, Incineração, Biodigestão, Política Nacional de Resíduos

INTRODUÇÃO

Esse relatório expõe o resultado de uma análise comparativa entre duas rotas tecnológicas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Uma baseada em incineradores *mass burn* e outra em digestores anaeróbios. A análise abrange o desempenho econômico-financeiro relativo à implantação e operação, balanço energético e emissões de gases de efeito estufa e impacto sobre empregos.

O trabalho busca fornecer elementos objetivos de decisão para os gestores públicos, responsáveis pela implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e ampliar o conhecimento sobre tecnologias de tratamento de RSU ainda pouco empregadas no país. Desde a vigência da Política Nacional de Resíduos

Sólidos, Lei Federal no 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto no 7.404, do mesmo ano, os municípios brasileiros tem prazos legalmente definidos para apresentar, aprovar e implementar seus Planos Municipais de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, que devem equacionar e definir, em curto e médio prazo, um sistema integrado de coleta, manejo, tratamento e disposição final do RSU.

A etapa da coleta regular de RSU foi foco de investimentos nas últimas décadas, alcançando uma taxa de cobertura de quase 87% do total de domicílios urbanos (IBGE, Censo 2010). Totaliza no país um montante superior a 180 mil toneladas de RSU ao dia, que tende a aumentar com a melhoria dos serviços de coleta, e em taxas mais elevadas do que o incremento populacional, em função da elevação do nível de consumo nas cidades, da atividade econômica, ao mesmo tempo em que surgem novos tipos de resíduos decorrentes dos avanços tecnológicos.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos com a responsabilidade compartilhada entre setor público e privado tornou-se, portanto, uma das mais desafiadoras atividades do cenário urbano. A escolha fundamental no momento atual é a do tratamento e destino a ser dado aos resíduos sólidos urbanos, uma vez que estas etapas tendem a ocupar parte relevante dos recursos alocados para todo plano e, também, por representar o RSU, no conjunto dos resíduos, a parcela sob responsabilidade do poder público municipal.

O que se verifica no presente é que parte significativa da coleta diária é disposta, ainda, de forma indiferenciada. Metade dos municípios destina os resíduos para lixões, sem algum tratamento. Parte significativa dos resíduos secos, do que hoje é disposto em lixões ou em aterros sanitários, poderia ser reaproveitada – pela reutilização ou reciclagem – economizando recursos naturais e econômicos ao serem reintroduzidos no ciclo produtivo. Destes, apenas uma parcela muito pequena, menos de 2%, é reciclada, indicando um grande potencial a ser economicamente explorado e que geraria grandes benefícios ambientais.

Já a parte orgânica dos RSU (51,4%) – cerca de 92mil toneladas ao dia – não encontra outro destino a não ser a disposição em solo, com exceção de algumas experiências de compostagem em pequena escala. Requer, portanto, especial atenção nos planos de gestão para o cumprimento de metas de redução na disposição final propostas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos para o país. Além do encerramento dos lixões, a mera disposição final dos resíduos em aterros sanitários não é suficiente para o cumprimento das exigências legais. Os gestores públicos deverão analisar as rotas tecnológicas disponíveis, das mais simples às mais complexas e eleger a mais adequada às peculiaridades locais. Este é o fator determinante da realização deste estudo, que pretende analisar as tecnologias disponíveis para o processamento da parcela orgânica produzida em grande escala.

Do ponto de vista ambiental os resíduos sólidos são atualmente, um dos principais problemas gerados nas cidades onde são responsáveis pela segunda maior fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) atrás apenas das emissões geradas pelo setor de transportes. O Brasil é signatário de acordos internacionais com metas de redução de GEE que estão instituídas pela Política Nacional sobre Mudanças do Clima desde 2009. Este estudo mostra que a escolha da rota tecnológica pode representar reduções significativas na emissão de GEE. Além disso, a reciclagem de materiais presentes no RSU reduz significativamente a extração de matérias primas, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e o consumo da energia necessária à sua extração e processamento.

METODOLOGIA

As duas rotas tecnológicas de tratamento do RSU – baseadas em incinerador *mass burn* e digestor anaeróbio – foram analisadas segundo um cenário idealizado, compatível com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Analisaram-se a performance econômica financeira, as contribuições para a redução das emissões de GEE e o aumento da eficiência energética, os empregos diretos gerados e a conformidade às exigências legais. As rotas tecnológicas foram tratadas como conjugações de tecnologias, com processos que deverão ser aplicados anteriormente e posteriormente à incineração ou biodigestão, da recuperação prévia de materiais à disposição final de rejeitos.

A performance econômica financeira foi obtida para dois empreendimentos idealizados para atender a oferta de 1.000 (um mil) toneladas diárias de RSU, cada qual baseado em uma das tecnologias analisadas. Os

empreendimentos foram avaliados por meio do cálculo de seu Fluxo de Caixa Descontado, segundo taxas de desconto de 8% ao ano, para 20 anos de operação¹.

Para fins dessa análise o ano zero consolida todo investimento. A rigor, os prazos para a implantação dos empreendimentos baseados em incineradores ou biodigestores podem diferir de vários anos, dependendo do ambiente regulatório, da disponibilidade e das características das áreas para instalações de tratamento de RSU, da disponibilidade de recursos no sistema financeiro para empreendimentos desse segmento e outros fatores locais, como a saturação das bacias aéreas para determinados poluentes (por exemplo NOx, presente em todos os processos térmicos) ou restrições ao lançamento de efluentes líquidos e sólidos. Nesse estudo considerou-se que os prazos de implantação para os empreendimentos – incinerador *mass burn* e digestor anaeróbio – são os mesmos.

Os valores de investimento e de operação e manutenção foram obtidos a partir de orçamentos fornecidos por empresa de projeto e construção, no caso da rota baseada em biodigestão, ou de projetos similares e literatura com validação por consultores internacionais, no caso da rota baseada em incineração.

VOLUME DE RSU A SER TRATADO

Para este estudo, definiu-se como padrão o tratamento de 1.000 toneladas/dia de RSU, adequado à situação de máximo rendimento em operação de um incinerador *mass burn* sem adição de material combustível. Por essa razão, para ambas as rotas tecnológicas considerou-se a necessidade de tratamento de um volume total de 1.000 toneladas diárias de RSU² que, na composição gravimétrica brasileira média atual³ significa estimativamente 510 toneladas diárias de parcela úmida, 320 toneladas diárias de parcela seca e 170 toneladas diárias de rejeitos.

PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI) DO RSU

A composição gravimétrica atual do RSU brasileiro, somada à perspectiva de aumento da reciclagem dos seus componentes, impõe cautela ao planejamento do seu uso como combustível em processos *mass burn*. Resumidamente, a composição gravimétrica adotada nesse estudo resulta em um RSU com PCI de 1.980 kcal/kg, conforme detalhado no Anexo 2. Uma redução de 27% na presença dos plásticos do RSU é suficiente para trazer o seu PCI ao patamar de 1.680 kcal/kg, considerado limite inferior para a queima autossustentada em incineradores *mass burn*⁴.

CUSTOS DE INVESTIMENTO

INCINERADORES MASS BURN

Existem várias tecnologias de incineração em desenvolvimento e destinadas ao tratamento, por via térmica, de resíduos sólidos: incinerador de leito fixo, leito fluidizado, pirolítico, tambor rotativo, entre outros. De todas elas, a que conta com a maior experiência de aplicação e está disponível comercialmente no Brasil e em outras partes do mundo, é o denominado *mass burn*, que foi objeto deste estudo.

¹ Resultado do Fluxo de Caixa para 30 anos de operação não mostra diferença significativa do resultado obtido para 20 anos.

² Capacidade apontada por fabricantes europeus como patamar inferior para a viabilização da operação de incinerador *mass burn* com resultados financeiros positivos. Como pode ser visto no Anexo 2, essa capacidade média responde por um intervalo de 850 toneladas diárias a 1.150 toneladas diárias de RSU.

³ Proporções da composição gravimétrica para o Brasil em 2008. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Op.cit.

⁴ “Decision Makers’ Guide to Municipal Solid Waste Incineration”, World Bank, Washington, D.C., 1999.

Os custos de investimento em um incinerador *mass burn* foram retiradas de valores declarados em projetos de tratamento de RSU para municípios brasileiros⁵. Esses valores foram submetidos a especialistas em tecnologias de tratamento de RSU⁶.

Alguns empreendimentos com incinerador *mass burn* tem sido projetados para a exportação de vapor, ao invés de eletricidade. Nesses projetos há a eliminação ou redução dos investimentos na turbina a vapor, no gerador, na cabine de força, na subestação e nas linhas de sub-transmissão de eletricidade. Por outro lado, há investimentos em linhas de vapor, com retorno de condensado dependendo das distâncias envolvidas e aumento dos custos operacionais com a captação e tratamento de água. Como resultado dessa mudança de configuração do sistema energético do incinerador, pode-se chegar a uma redução de até 30% no valor do investimento total⁷. Nesses casos, o empreendimento comporta-se não como um produtor independente ou autoprodutor de eletricidade mas, mais adequadamente, como uma extensão (casa de caldeira) do consumidor de vapor, alimentado por RSU. Não se considerou esse desenho de empreendimento nesse estudo.

Outra observação importante diz respeito à composição desse custo de investimento: até 65% do investimento ocorre à jusante da queima do gás na câmara de combustão, para um incinerador projetado para atender os padrões da União Europeia, similares aos vigentes no Estado de São Paulo no tocante aos teores de dioxinas e furanos nas emissões aéreas do incinerador. O sistema de catálise do NO_x, lavagem dos gases, retirada dos particulados leves (*flyash*) em filtros manga – que concentram a quase totalidade dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) – e o precipitador eletrostático são os responsáveis por esse custo.

Além do custo de capital, há que se considerar também o custo operacional acarretado pelos componentes antipoluição.

DIGESTORES ANAERÓBIOS

Os digestores anaeróbios em disponibilidade no mercado mundial apresentam ampla variedade em termos de projeto (cilíndricos, retangulares), de regime de operação (contínuos ou de batelada), de temperatura de processo (mesofílico ou termofílico), de grau de umidade (via úmida ou via seca), entre outros parâmetros. Todos eles, entretanto, têm em comum o fato de que seu produto é sempre um biogás composto por Dióxido de Carbono (33% a 42%) e Metano (55% a 65%), além de substâncias traço. O digerido apresenta composição apropriada para uso em agricultura, seja como composto, seja como fertilizante⁸, dada a presença de altos teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK). Tradicionalmente, as receitas com a digestão anaeróbia nos países da União Europeia incluem a venda do digerido, após cura em ambiente aberto (coberto ou não), para uso agrícola. Nesse estudo optou-se por não considerar essa receita pela falta de referência de mercado que possa apoiar a adoção de um preço unitário para esse produto.

O orçamento para um equipamento do porte definido no Item 2.1, valor médio de US\$ 60.000 por tonelada nominal de RSU tratado, foi obtido junto ao Prof. David Stafford, sócio proprietário da empresa ECL Enviro – Control Ltd, baseada no Reino Unido, reconhecido como uma das principais referências em sistemas de tratamento biológico de resíduos de todas as origens. O Prof. Stafford dimensionou o sistema de forma a otimizar a produção de eletricidade a partir da parcela orgânica do RSU brasileiro (51,4%), observando que o alto grau de umidade, juntamente à alta temperatura ambiente, conferem alta eficiência à biodigestão. Para fins de uma análise conservadora, o sistema de digestão anaeróbia proposto opera à temperatura mesofílica (ótimo entre 36°C a 40°C), em sistema contínuo e por via úmida, com pouca ou nenhuma adição de água, dado o alto grau de umidade do RSU brasileiro.

⁵“Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de Orientações para Governos Municipais de Minas Gerais”, FEAM, 2012; “Municipal Solid Waste Incineration, World Bank Technical Guidance Report”, Washington DC, 1999.

⁶ Entre eles, o Dr. Georg Ringhofer, da Ivenio GmbH (www.ivenio.com)

⁷ Banco Mundial. Decision Makers’ Guide to Municipal Solid Waste Incineration, Washington DC, 1999.

⁸ Manual de Biodigestão – Winrock International -

http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf

O equipamento para digestão anaeróbia, complementado por uma pequena central de geração de eletricidade, teve ainda adicionado um sistema de remoção de recicláveis secos na recepção do RSU. Esse complemento atende a duas razões. A primeira é que a digestão anaeróbia ocorre nos materiais degradáveis. Assim, a inserção de plásticos, metais, vidros, papel e papelão no biodigestor, apenas reduz espaço produtivo no seu interior, reduzindo a produção de biogás por volume processado. A segunda e principal razão é que a separação dos recicláveis secos é um dos pilares de sustentação da PNRS, pelos múltiplos benefícios que acarreta para ciclos econômicos na sociedade local, para a economia nacional pelo aumento da eficiência energética, para o meio ambiente local pela redução da extração de matérias primas e para o planeta pela redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M)

INCINERADOR *MASS BURN*

Na ausência de incineradores em operação no Brasil os custos de O&M foram calculados a partir dos dados primários de recursos humanos, serviços de terceiros, materiais de consumo e insumos utilizados e consumidos por plantas de incineração de porte semelhante na União Europeia. Os custos de mão de obra foram calculados a partir de valores médios locais (São Paulo) para as qualificações exigidas, praticados em empresas concessionárias de geração de eletricidade.

Os custos de manutenção foram calculados em dois grupos. Um primeiro, a partir de dados fornecidos pelos fabricantes de equipamentos e confrontados aos verificados em instalações termoeletricas, dado o fato de que os maiores custos de manutenção são verificados no sistema de geração de energia (vapor e eletricidade) e de tratamento antipoluição dos gases de exaustão⁹.

Num segundo grupo, os custos de reinvestimento (*overhauling*) do equipamento foram alocados em uma distribuição linear ao longo de 20 anos de operação. O principal desses custos ocorre com as grades móveis¹⁰ do *mass burn* que, por trabalharem em um ambiente extremamente hostil e corrosivo, tem de ser removidas e substituídas a cada 5 anos de operação contínua. Uma alternativa a essa alocação nos custos de manutenção é considerar essa substituição como um novo investimento, com implicações contábeis na análise do fluxo de caixa do empreendimento. Por razões de simplicidade optou-se por incluir esse custo entre os itens de manutenção do equipamento.

Entre os custos operacionais, diferentemente dos projetos de incinerador *mass burn* que tem sido apresentado em municípios¹¹ brasileiros, foi considerado o custo operacional acarretado pelos componentes antipoluição¹². Enquanto nos equipamentos antigos a maior parte das partículas de cinzas leves (*fly ash*) era dispersada pelo meio ambiente através da pluma da chaminé, nos equipamentos mais recentes observa-se que, em média, 10%¹³ da massa entrante no incinerador é convertida em material contaminado com POPs, o que obriga a sua disposição final em Aterros Especiais Classe I¹⁴.

⁹ Os poluentes da queima de RSU apresentam o agravante de maior proporção de POPs, comparados aos oriundos da queima de combustíveis fósseis tradicionais.

¹⁰ A queima do RSU nesses incineradores ocorre sobre uma plataforma móvel, que empurra o RSU em direção ao interior do equipamento e cuja função é múltipla: homogeneiza tanto quanto possível o material combustível, aumenta o contato dos seus componentes com a atmosfera da câmara de combustão, permite a troca de calor do material em combustão com o material entrante.

¹¹ No Estado de São Paulo, os municípios de Barueri, Mauá, São Bernardo do Campo e Osasco, entre outros, tem projetos de incineradores *mass burn* em algum estágio de implementação.

¹² Os custos de investimento e O&M adotados aqui para o incinerador correspondem aos limites de emissão de poluentes aéreos vigentes no Estado de São Paulo, que são mais rígidos que os vigentes para o restante do país definidos na Resolução Conama 316/2002, particularmente para os teores de dioxinas e furanos. Isso significa, na prática, um custo de investimento da ordem de 25% a 30% maior no Estado de São Paulo comparado com os demais Estados brasileiros.

¹³ Essa fração inclui materiais adicionais ao RSU que são usados para conter o material poluente (filtros mangas contaminados e seus recipientes) ou que entram em contato com ele no processo fabril – máscaras, uniformes, botas etc.

¹⁴ Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE – existem 16 Aterros Classe I licenciados no Brasil, situados, na quase totalidade, na faixa territorial mais próxima ao litoral brasileiro. São 3 no estado Rio Grande do Sul, 4 em Santa Catarina, 1 no Paraná, 3 em São Paulo, 1 no Rio de Janeiro, 1 em Minas

Além desses rejeitos contaminados por POPs, há as cinzas da fornalha do incinerador cuja composição inclui metais pesados e inertes de diferentes origens. Essas cinzas totalizam em torno de 15% do RSU em peso, podendo ser dispostas – se manipuladas corretamente – em aterros sanitários classe IIA ou na produção de sub base asfáltica, caso estas alternativas de destinação sejam aceitas pelos órgãos ambientais responsáveis em cada local de implantação.

Não foram considerados os custos de transporte destes resíduos à disposição final.

DIGESTOR ANAERÓBIO

Os custos de operação do digestor anaeróbio foram calculados a partir do quadro de recursos humanos necessário, dos materiais de consumo e insumos observados em instalações semelhantes na União Europeia. Na medida em que foi desprezada neste estudo a possibilidade de uso do composto produzido na digestão, foram considerados os custos da disposição final em aterros sanitários classe IIA, de 40% dos resíduos levados ao digestor (20,5% do total, em peso), agregados aos rejeitos presentes no RSU original. Tal como para os incineradores, não foram considerados os custos de transporte destes resíduos à disposição final.

Os custos de manutenção do equipamento foram amplamente dominados pelos equipamentos de geração elétrica¹⁵, uma vez que os digestores são construções relativamente simples com equipamentos periféricos baratos e disponíveis “em prateleira” no mercado brasileiro e internacional.

TAXAS FINANCEIRAS E VALORES UNITÁRIOS

A análise de fluxo de caixa de empreendimentos baseados nas Rotas Tecnológicas A e B, foi feita com a adoção de taxas financeiras e valores unitários compatíveis com o ambiente macroeconômico do país. Os principais desses valores:

- Taxa de Desconto: o valor de referência adotado foi de 8% a.a. Análise de sensibilidade foi feita para taxas de 10% a.a. e 12% a.a. Os resultados mostraram que o valor referencial adotado é representativo para os diferentes cenários.
- Taxa de Alavancagem: adotou-se um modelo em que 30% do investimento é em capital próprio.
- O financiamento foi calculado para as taxas do BNDES, bem como seus prazos e carências, sem incluir *spreads* de eventuais agentes operacionais. Também não foram considerados os custos financeiros com os empréstimos ponte, ou de capital de giro, comuns em empreendimentos dessa escala.
- A receita com a comercialização da energia elétrica foi calculada para o ambiente de contratação livre (ACL), justificada esta opção por se tratar de instalação de pequeno porte – em torno de 25 MW instalados – e operando próxima a centros de carga.
- A receita com o tratamento do RSU advinda do valor cobrado na recepção do rejeito (*Gate fee* ou *Tipping fee*) a ser pago pelos municípios gestores desse material, foi buscada no topo da distribuição desses valores conforme praticado nas principais regiões metropolitanas do Brasil. O valor de R\$ 80 por tonelada, embora bastante alto se comparado à média brasileira (entre R\$ 54 e R\$ 33 por tonelada, MMA 2011) é praticado em aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo¹⁶.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA FINANCEIRA

ROTA TECNOLÓGICA A: BASEADA EM INCINERADORES *MASS BURN*

Esse item expõe os resultados obtidos com a análise do Fluxo de Caixa Descontado de um empreendimento virtual baseado em incinerador *mass burn*, com capacidade nominal de 1.000 (um mil) toneladas diárias de RSU.

Gerais, 2 no Espírito Santo e 1 em Alagoas.

¹⁵ A geração elétrica, nesse caso, ocorre em motores a gás cujos preços foram obtidos junto à MWM, subsidiária da Caterpillar.

¹⁶ Os custos típicos para a disposição de resíduos classe I e classe IIA na Região Metropolitana de São Paulo são, respectivamente R\$ 380 e R\$ 80 por tonelada, desconsiderados os custos de transporte.

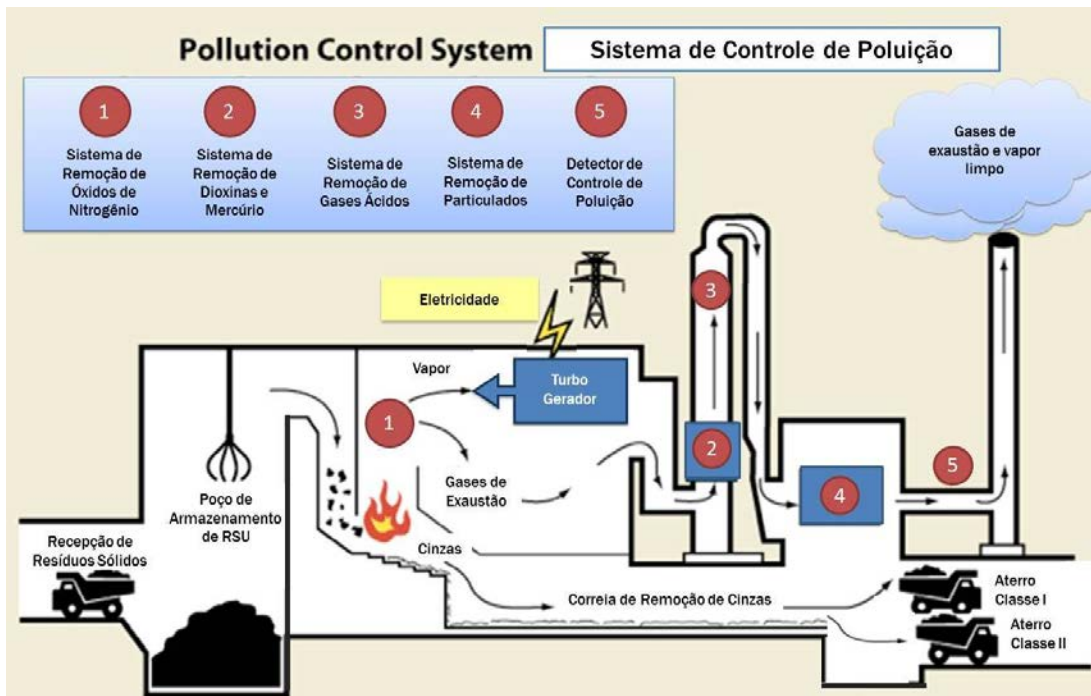


Figura 1: Esquema de funcionamento da tecnologia de Incineração *Mass Burn*.

A figura 1 representa um desenho típico de incinerador *mass burn*. A câmara de combustão é a parte mais antiga da tecnologia, cujas características construtivas não mudaram significativamente nos últimos trinta anos. Um detalhe que diferencia os fabricantes é a grade móvel (próxima ao termo “cinzas” na figura) onde ocorre a combustão.

A figura ressalta, propositalmente, o sistema de controle da poluição atmosférica que, nos últimos trinta anos foi o que mais avançou, com o advento, inclusive, de novas tecnologias para a retenção das partículas poluentes. Os poluentes orgânicos persistentes (POPs), dos quais se destacam as dioxinas e furanos, viajam a grandes distâncias quando eliminadas pela chaminé, por aderirem facilmente a partículas de pequeno diâmetro por adstringência. Como já foi ressaltado no item 2.3, até dois terços do custo de investimento no incinerador estão nesse sistema de controle da poluição atmosférica.

PARÂMETROS E VARIÁVEIS ADOTADAS PARA A ANÁLISE ECONÔMICO FINANCEIRA

O RSU in natura brasileiro apresenta, nas condições atuais anteriores à implantação da PNRS, um poder calorífico (PCI) aceitável para ser usado como combustível em incineradores *mass burn*. Entretanto, como mostrado no Anexo 3, o cálculo desse PCI é altamente dependente da contribuição dos plásticos e dos diferentes tipos de papel: 57% e 22% do PCI total, respectivamente. Isso significa que a remoção dos materiais recicláveis do RSU, nas proporções preconizada na PNRS, dificultará o seu uso como combustível em incineradores “*mass burn*”, tornando provável o uso de combustíveis fósseis (como gás natural ou GLP) para se assegurar a manutenção da queima do RSU. Essa eventual queima de combustível fóssil não foi considerada nesse estudo e implica, obviamente, em aumento dos custos operacionais, além de afetar as emissões de gases de efeito estufa.

A tabela 1 a seguir resume os valores adotados para a análise econômico financeira do incinerador *mass burn*.

Item	Unidade	Valor
Volume diário processado	t/dia	1.000
Dias de operação por ano	dia/ano	330
Poder Calorífico Inferior (PCI)	kcal/kg	1.980
Geração de Eletricidade	MWh/t	0,5
Investimento Total	R\$ milhões	400
Custo de O&M	R\$/t	100
Valor Cobrado na Recepção do RSU (<i>Gate fee</i>)	R\$/t	80
Preço de Venda da Eletricidade	R\$/MWh	140
Taxa de Desconto	% a.a.	8
Taxa de Alavancagem	%	30/70
Condições de Financiamento – Taxa de Juros, Carência, Prazos.	Referência	BNDES - Infraestrutura

Tabela 1: Valores adotados para a análise econômico-financeira do incinerador *mass burn*.

RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICO - FINANCEIRA

A projeção dos resultados anuais em Fluxo de Caixa de 20 anos, segundo os parâmetros anteriormente expostos, levou ao seguinte resultado na tabela 2:

Taxa Interna de Retorno (TIR)	Abaixo de 8% negativos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 220 milhões negativos

Tabela 2: projeções dos resultados anuais do incinerador *mass burn*.

Na medida em que esses resultados implicam em um prejuízo acumulado de R\$ 220 milhões ao final de 20 anos de operação, calcularam-se quais valores de receita ou redução de investimento produziram um resultado líquido NULO ao final de 20 anos. Nessa situação, correspondente ao ponto de equilíbrio, a Taxa Interna de Retorno (TIR) iguala-se à Taxa de Desconto (TD) e o Valor Presente Líquido (VPL) é zero, conforme podemos verificar na Tabela 3.

Investimento máximo	R\$ 60 milhões
ou Venda de energia elétrica	R\$ 485 / MWh
ou Valor Cobrado na Recepção do RSU (<i>gate fee</i>)	R\$ 244 / t

Tabela 3: Parâmetros para Obtenção do Ponto de Equilíbrio (VPL igual a zero)

Assim, o ponto de equilíbrio dessa tecnologia para as condições do RSU brasileiro implicaria em um valor cobrado na recepção do produto (*gate fee*) de R\$ 244 por tonelada. Tal valor, apesar de elevado para os padrões brasileiros, corresponde ao valor médio praticado na Europa¹⁷. O preço da energia elétrica que tornaria viável a operação do incinerador é inviável por ser muito superior ao preço praticado no mercado¹⁸. O investimento total para a viabilização do incinerador poderá ser parcialmente reduzido caso se utilize menor rigor no controle de poluentes e ou com o desenho já exposto para uso de vapor. No entanto, mesmo essas reduções por si só não seriam suficientes, isoladamente, para atingir o ponto de equilíbrio.

¹⁷ 105 euros por tonelada, de acordo com “Costs for Municipal Waste Management in the EU Final Report to Directorate General Environment, European Commission”, Dr Dominic Hogg, Eunomia Research & Consulting, 2001.

¹⁸ Por exemplo, o último Leilão de Energia A-5, realizado em 20 de Dezembro de 2011, com o objetivo de suprir a demanda projetada das empresas distribuidoras para o ano de 2016, resultou em preço médio de R\$ 102,18/MWh.

Uma observação adicional precisa ser feita sobre o fator de escala desse tipo de equipamento. Nos países de origem de seu desenvolvimento – Europa, Japão – a crescente indisponibilidade de áreas para aterros sanitários e os altos custos da eletricidade criaram as condições favoráveis para sua instalação e operação, de tal forma que a partir de 1.000 toneladas diárias há resultados econômico – financeiros positivos. No Brasil, essa escala não é suficiente para produzir resultados positivos e, tampouco, há indicações de que o simples aumento no tamanho do equipamento seja suficiente para produzir tais resultados.

ROTA TECNOLÓGICA B: BASEADA EM BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

Esse item expõe os resultados da avaliação econômico financeira obtida para um sistema de digestores anaeróbios de grande porte para o tratamento de RSU.

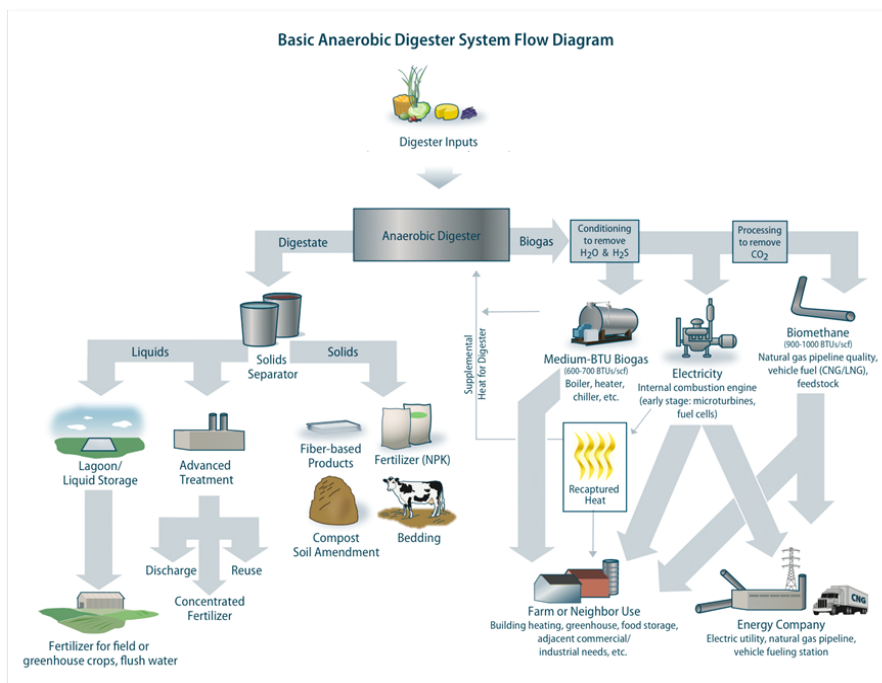


Figura 2: Esquema de funcionamento da tecnologia de Biodigestão.

A figura 2 acima representa todas as possibilidades abertas com a digestão anaeróbia de materiais orgânicos – parcela de orgânicos do RSU, restos da produção agrícola, resíduos da indústria de alimentos etc. – que vai da produção de energia à de fertilizantes para a agricultura. Normalmente, os componentes do desenho final do projeto são escolhidos e desenvolvidos em função do ambiente econômico e financeiro do local em que o biodigestor é implantado.

Do ponto de vista técnico, não há nenhuma restrição para que todas as atividades representadas sejam desenvolvidas simultaneamente. Apenas a análise local pode fornecer parâmetros para a escolha das atividades de interesse.

Nessa análise considerou-se um investimento de R\$ 120 milhões no sistema de biodigestão para o tratamento de 510 t/d de orgânicos do RSU, provenientes de 1.000 toneladas diárias. Esse investimento inclui a instalação de uma área para a recuperação de materiais recicláveis (Material Recovery Facility – MRF) capaz de processar 320 toneladas diárias entre plásticos, papel, papelão, metais ferrosos, materiais não ferrosos, vidros e outros. O custo de investimento dessa MRF foi avaliado em R\$ 32 milhões e é composto por mesas com correias transportadoras, caçambas e containers de armazenamento, tanques secos, prensas e – principalmente – sistema anti-incêndio, além de instalações para os trabalhadores, uma vez que essa atividade é essencialmente intensiva em mão de obra.

IMPLICAÇÕES DA ROTA B NO GERENCIAMENTO DO RSU

Na composição do investimento adotado para a Rota B, em que há a adoção de um sistema de tratamento baseado em digestores anaeróbios, é necessário a presença de um forte programa de coleta seletiva e reciclagem do RSU no Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos.

O projeto de sistema de biodigestão adotado nesse estudo inclui uma área de recuperação de recicláveis (MRF), cujo investimento é parte integrante do custo de capital do sistema proposto. Esse investimento está dimensionado para que todo material reciclável seco presente no RSU possa ser separado na planta de biodigestão, a montante dos biodigestores. Dado o peso desse investimento no total (R\$ 32 milhões em R\$ 120 milhões), um forte programa de coleta seletiva e reciclagem no município deverá reduzir significativamente esse investimento.

PARÂMETROS E VARIÁVEIS ADOTADAS PARA A ANÁLISE ECONÔMICO FINANCEIRA

A tabela 4 abaixo resume os parâmetros e variáveis adotados na avaliação da performance econômico financeira do sistema de biodigestão no tratamento do RSU. Os parâmetros referentes ao modelo de negócio (alavancagem) e de financiamento foram mantidos iguais aos adotados para o incinerador *mass burn* para facilitar a comparação entre as performances econômico financeiras.

Item	Unidade	Valor
Volume diário processado	t/dia	1.000
Volume diário digerido	t/dia	510
Material recuperado para reciclagem	t/dia	320
Dias de operação por ano	dia/ano	330
Geração de eletricidade	MWh/t	0,28
Investimento	R\$ milhões	120
Custo de O&M	R\$/t	70
Valor Cobrado na Recepção do RSU (<i>Gate Fee</i>)	R\$/t	80
Preço de Venda de Recicláveis ¹⁹	R\$/t	506,20
Preço de Venda da Eletricidade	R\$/MWh	140
Taxa de Desconto	% a.a.	8
Taxa de Alavancagem	%	30/70
Condições de Financiamento – Taxa de Juros, Carência, Prazos.	Referência	BNDES - Infraestrutura
Participação na Receita de Venda dos Recicláveis	%	30

Tabela 4: Valores adotados para a análise econômico-financeira do biodigestor.

RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICO - FINANCEIRA

As projeções dos resultados líquidos anuais para uma taxa de desconto de 8% a.a. produziram os resultados da tabela 5.

¹⁹ Corresponde ao valor obtida pela simples multiplicação das quantidades previstas pelo PNRS 2012, pelos preços médios dos recicláveis divulgados pelo CEMPRE (www.cempre.org.br) para São Paulo. Observe-se que o empreendimento contabiliza um terço desse valor como receita própria: os dois terços restantes seriam destinados às cooperativas locais de catadores.

Taxa Interna de Retorno (TIR)	12%
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 12,8 milhões

Tabela 5: projeções dos resultados anuais do biodigestor.

A análise de Fluxo de Caixa Descontado de empreendimento baseado na rota tecnológica com digestor anaeróbico revela viabilidade econômica financeira significativa no cenário macroeconômico atual do País para uma gate fee de R\$ 80, produzindo uma TIR de 12%, compatível com investimentos atrativos para o capital privado nas atuais condições macro – econômicas.

EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E BALANÇO ENERGÉTICO NAS ROTAS DE TRATAMENTO DO RSU

A emissão de gases nos processos de tratamento de resíduos sólidos está relatada nos inventários brasileiros de emissões antrópicas de gases de efeito estufa²⁰ e aponta para um crescimento significativo no próximo período. Isto se dará por uma série de fatores, mas principalmente pela ampliação do número de aterros sanitários no território nacional, em substituição aos lixões que predominam como solução em metade dos municípios brasileiros. Os aterros sanitários resolvem muitos dos problemas ambientais gerados pelos lixões mas, confinando os resíduos, criam as condições para a geração e emissão de biogás, com forte presença de gás metano (CH₄).

Como a Política Nacional de Resíduos Sólidos estipula que após 2014 os aterros sanitários só operem com rejeitos, valorizando as frações seca e úmida do RSU, os gestores públicos ficam desafiados a analisar as rotas tecnológicas disponíveis, inclusive no tocante às suas características de emissão de gases de efeito estufa.

O Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa²¹ mostra que, nas estimativas para 2005, as emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos estiveram na ordem de 1.1 milhão de toneladas de CH₄, o equivalente a 23,1 milhões de toneladas de CO₂²²

A Empresa de Pesquisa Energética, vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME/EPE), desenvolveu em 2008 estimativas²³ centradas nas condições dos resíduos sólidos da capital do Mato Grosso do Sul, Campo Grande. As características dos resíduos locais são muito próximas das consideradas neste estudo, em conformidade com as adotadas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

A tabela 6 a seguir apresenta as estimativas de redução de GEE traçadas no estudo da MME/ EPE, cujo parâmetro de análise são as emissões resultantes de aterros convencionais de RSU.

²⁰ Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima, Brasília, 2010

²¹ Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010, op.cit.

²² Considerando-se o potencial de aquecimento global (GWP) do CH₄ como 21

²³ Brasil. Ministério das Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. NOTA TÉCNICA DEN 06/08 Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS, Rio de Janeiro, novembro de 2008;

Rota Tecnológica	Redução de emissões por tonelada de RSU tratada (t_{CO_2e})	Emissões evitadas pela reciclagem e geração térmica substituída (t_{CO_2e})	Materiais recuperados	Total (t_{CO_2e})
Rota A – baseada em incinerador <i>mass burn</i>	0,209	0,034	Vidros e metais	0,243
Rota B – baseada em biodigestor anaeróbio	1,064	0,084	Papéis, plásticos, vidros e metais	1,148

Tabela 6: Estimativas de redução de GEE traçadas no estudo da MME/ EPE.

No mesmo estudo a EPE estimou a redução de emissões pela recuperação do biogás no próprio aterro sanitário, apontando-a no patamar de 0,501 (t_{CO_2e}), incluída a recuperação dos resíduos secos, com exceção do papel e papelão, para que não se inviabilizasse tecnicamente a operação.

A ressaltar que o tempo em que acontece a estabilização dos resíduos é diferenciado nestes processos – a redução das emissões em um aterro com captura do biogás pode se estender em até 50 anos, na rota tecnológica baseada em incinerador *mass burn* é imediata, com a queima do material, e na rota tecnológica baseada em biodigestor anaeróbio acontece em um período de 21 dias. Outro diferencial entre os processos é o fato de que as rotas tecnológicas baseadas em biodigestão anaeróbia e em incineração provocam redução significativa no volume de materiais dispostos em aterro, alongando em várias vezes a vida útil deste empreendimento.

O estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE-MME) desenvolvido para Campo Grande também analisou esta questão, conforme os dados apresentados na tabela 7, referenciados todos no resultado final da Rota A, baseada em incinerador *mass burn*.

Rota Tecnológica	Produção de energia (%)	Conservação de energia pela reciclagem (%)	Materiais recuperados	Benefício total (%)
Rota A – baseada em incinerador <i>mass burn</i>	90,6	10,3	Vidros e metais	100
Rota B – baseada em biodigestor anaeróbio	23,9	225,0	Papéis, plásticos, vidros e metais	248,9

Tabela 7: Comparação do desempenho energético das tecnologias selecionadas.

Estudos desenvolvidos pela Agencia de Proteção Ambiental dos EUA confirmam estas informações²⁴, analisando comparativamente a economia de energia decorrente da adoção de uma ou outra opção de gerenciamento de resíduos. A análise é feita com consideração de todo o conjunto de energias aplicadas aos produtos, da extração da matéria prima aos diversos momentos de transporte, do consumo de combustível fóssil à eletricidade e à própria energia inerente aos materiais. Ressalvado que os melhores resultados são sempre obtidos com a opção de redução da geração dos resíduos na fonte, a EPA demonstra que a rota da reciclagem, comparativamente à rota da incineração, permite uma maior conservação de energia líquida para a maioria dos materiais: plásticos em geral (8 vezes maior), plástico PET (15 vezes maior), papelão (7 vezes maior), jornais (6 vezes maior), carpetes (22 vezes maior).

²⁴ WASTE MANAGEMENT AND ENERGY SAVINGS: BENEFITS BY THE NUMBERS. Anne Choate, Lauren Pederson, Jeremy Scharfenberg, ICF Consulting, Washington DC. Henry Ferland, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC

A reciclagem do conjunto dos materiais, além de contribuir para a extensão da vida útil do aterro, evita a geração de energia elétrica consumida na produção do material reciclável. O potencial de conservação de energia elétrica estimado pela EPE-MME a partir da reciclagem de embalagens é bastante expressivo, podendo situar-se entre 0,66 kWh/kg e 2,97 kWh/kg de RSU²⁵.

Estudo conduzido no Reino Unido²⁶, a partir da análise do ciclo de vida dos materiais, chega também ao mesmo entendimento, caracterizando para a ampla análise efetivada (comparação da análise do ciclo de vida em 55 estudos específicos) que, tal como reconhecido pela hierarquia de resíduos da Diretiva de Resíduos na União Europeia, a reciclagem de resíduos demanda maior energia que a prevenção porém segue sendo melhor para o meio ambiente que a incineração com recuperação de energia.

IMPACTO SOBRE EMPREGO E RENDA

As rotas tecnológicas em estudo, inseridas em um sistema de gerenciamento de RSU, são conjugações de processos que oferecem oportunidades de empregos diferenciadas, tanto na prestação do serviço quanto em outras etapas, anteriores ou posteriores ao tratamento dos resíduos.

Estudo norte americano aponta a relação de 1 emprego para cada 10 mil toneladas anuais de RSU processadas em usinas de incineração e, na rota tecnológica da biodigestão, 10 empregos para cada 10 mil toneladas anuais de RSU em operações na área de recuperação de recicláveis (MRF) e outros 25 em indústrias ligadas à reciclagem dos diversos materiais recuperados²⁷.

No Brasil, a coleta seletiva é grande empregadora de mão de obra pouco qualificada, composta por catadores, organizados ou não, e por empregados em empresas de coleta porta a porta. Do total dos Municípios 58% têm iniciativas de coleta seletiva (ABRELPE, 2011)²⁸ mesmo que atingindo, ainda, patamares muito baixos em relação ao volume total coletado (cerca de 10%).

ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO FEDERAL

Os objetivos e diretrizes expressos na legislação federal orientam a implantação e escolha de soluções técnicas para o tratamento de RSU. Para a continuidade da análise do desempenho das duas rotas tecnológicas foram selecionados aspectos diretamente relacionados à etapa de tratamento de RSU nas Políticas Nacionais, explicitados a seguir:

- i) A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) - Lei nº 11445/2007 determina a escolha de soluções eficientes, graduais e progressivas, com sustentabilidade econômica, adequadas à saúde pública e proteção do ambiente, e que visem à continuidade e segurança na prestação dos serviços e a universalização do atendimento, considerando a capacidade de pagamento dos usuários.
- ii) A Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) - Lei nº 12.187/2009 direciona para a implantação de alternativas que busquem a redução de emissões de GEE, interfiram positivamente no cumprimento das metas compromissadas em âmbito internacional e sejam favoráveis à preservação e recuperação de recursos naturais, evitando emissões.
- iii) Na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12.305/2010 as alternativas tecnológicas estão orientadas a considerar:
 - Os resíduos como um bem com valor econômico, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

²⁵ NOTA TÉCNICA DEN 06/08 Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS; Ministério das Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, novembro de 2008;

²⁶ Environmental benefits of recycling – an international review of life cycle comparisons for key materials in the UK recycling sector. “WRAP 2010

²⁷ Institute for Local Self-Reliance, Washington, DC, 1997. <http://www.ilsr.org/recycling-means-business/>

²⁸ ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2011

- Uma ordem de prioridade no gerenciamento dos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;
- O conceito de responsabilidade compartilhada no ciclo de vida dos produtos, com a reintrodução de materiais na cadeia produtiva; esta se desdobra estrategicamente, na geração de empregos com a inclusão social dos catadores como agentes do processo e na logística reversa, com planos privados de solução para os resíduos gerados.
- Prazos para o término da disposição final não adequada, e o atrelamento da liberação de recursos aos Municípios à elaboração de planejamento do setor.

CONCLUSÕES

Esse documento expõe o resultado de uma análise comparativa entre duas alternativas de aproveitamento energético de resíduos sólidos: uma rota tecnológica baseada em incineradores (incineradores *mass burn*) e outra baseada em digestores anaeróbios (biodigestores). Ele busca fornecer elementos objetivos de decisão para os gestores públicos, responsáveis pela implementação da PNRS e busca ampliar o conhecimento sobre tecnologias de tratamento de RSU ainda pouco empregadas no país. A análise abrange o desempenho econômico financeiro relativo à implantação e operação, o balanço energético (energia produzida e energia conservada), emissões de gases de efeito estufa, o impacto sobre empregos e o atendimento aos marcos regulatórios federais.

Há sensíveis diferenças entre as rotas tecnológicas analisadas, oriundas intrinsecamente de suas próprias características técnicas.

Em municípios de grande porte ou em áreas metropolitanas ou municípios consorciados, quando existem grandes volumes e dependendo das características dos resíduos a serem tratados, ambas as rotas podem ser analisadas. Incineradores necessitam de coleta diária por volta de 1.000 toneladas ao dia. Biodigestores podem ser dimensionados a partir de volumes menores.

Seguem as principais conclusões quanto à análise econômico-financeira, abatimento de emissões de GEE e aproveitamento energético:

ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA:

Os biodigestores são viáveis com valor cobrado na recepção do RSU (*Gate Fee*) de R\$ 80,00 usado como referência no estudo e valores de mercado para a venda de eletricidade. Os empreendimentos baseados nessa rota tecnológica serão viáveis nas condições econômicas vigentes no contexto brasileiro, incluindo as de financiamento ditadas pelo BNDES.

A rota com os biodigestores tem grande complementaridade com a coleta seletiva. A recuperação de materiais secos nas etapas anteriores à destinação e, se necessário, na própria instalação, constituem atividades desejáveis uma vez que a biodigestão se aplica apenas à parcela úmida do RSU.

A análise da rota baseada em incinerador *mass burn* demonstra que há dificuldade de viabilizar empreendimentos baseados nessa tecnologia. Mantidas as condições de investimento, de custo operacional e da receita oriunda da venda de energia no mercado, a viabilidade do empreendimento só pode ser alcançada com uma *gate fee* bem mais elevada que a prática usual no Brasil. Ao se analisar empreendimentos semelhantes na Europa, os incineradores se viabilizam pelas restrições legais impostas à construção de novos aterros sanitários, que resultam em um alto valor de recepção do RSU (*gate fee*); pelo preço de venda de energia, também maior que aquele praticado no Brasil, e pelo uso do vapor em calefação e aquecimento distrital.

Tanto numa rota como em outra as áreas ocupadas são menores que as requeridas por aterros sanitários, o que favorece situações em que haja indisponibilidade de sítios para a construção de aterros, tal como ocorre nos países europeus.

ABATIMENTO DE EMISSÕES DE GEE:

Ao se adotar como linha de base um aterro sanitário sem aproveitamento energético, ambas as rotas abatem emissões de GEE. Como a biodigestão aplica-se aos resíduos orgânicos, a recuperação da parcela seca do RSU

potencializa a redução das emissões de GEE. Por outro lado, para a incineração, a recuperação dessa parcela seca do RSU implica no uso suplementar de combustíveis fósseis, com o consequente aumento de emissões de GEE.

Nos parâmetros adotados nesse estudo, para cada tonelada de RSU tratada em biodigestores e incineradores *mass burn*, se abateria, respectivamente, 1,148 t_{CO2e} e 0,24343 t_{CO2e}.

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO E OUTROS ASPECTOS ANALISADOS:

As duas rotas tecnológicas permitem aproveitamento energético superior ao conseguido em aterros sanitários preparados para o aproveitamento do biogás. Partindo-se do mesmo volume de RSU, a produção de eletricidade por incineradores *mass burn* é maior que aquela correspondente à biodigestão. No entanto, ao se adicionar os ganhos decorrentes da reciclagem, mais pronunciados na rota da biodigestão a economia de energia possibilitada por essa rota se torna superior.

As características diferenciadas de cada um destes processos tecnológicos conduzem também a análise de seu comportamento perante aspectos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal de Saneamento Básico e Política Nacional sobre Mudança do Clima. São estas características que determinam a resultante em termos de capacidade de geração de emprego e renda, convivência com as diretrizes de responsabilidade compartilhada, logística reversa e outras. Esta análise mostra que a rota tecnológica baseada na biodigestão anaeróbia responde positivamente a mais aspectos definidos pela legislação nacional.

Deve haver, por final, a preocupação com o fato de que as características e o alto custo de ambos os tipos de empreendimentos induzem um modelo de negócios de longo prazo, com contratos próprios de financiamento ou contratos de concessão que se estenderão por várias décadas, nas quais o setor público precisará garantir ou a alimentação contínua com resíduos de maior poder calorífico, ou uma intensa coleta seletiva prévia dos resíduos secos. Nestas condições estarão sendo definidas as formas como serão implementadas as políticas nacionais de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011. ABRELPE; São Paulo, 2011.
2. Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de Orientações para Governos Municipais de Minas Gerais. FEAM, 2012;
3. BANCO MUNDIAL. Decision Makers' Guide to Municipal Solid Waste Incineration. The World Bank; Washington DC, 1999.
4. BANCO MUNDIAL. Municipal Solid Waste Incineration. World Bank Technical Guidance Report. Washington DC, 1999.
5. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). NOTA TÉCNICA DEN 06/08 Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. EPE, Rio de Janeiro, 2008.
6. BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. MPOG/ IBGE, Rio de Janeiro, 2008 e 2010.
7. BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima. MCT, Brasília, 2010
8. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Versão Preliminar para Consulta Pública). MMA, Brasília, 2011.
9. BRASIL. Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Institui a Política Nacional de Saneamento Básico;
10. BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC;
11. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.
12. BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.
13. BRASIL. Resolução Conama 316/2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

14. HOGG Dominic. Costs for Municipal Waste Management in the EU Final Report to Directorate General Environment, European Commission. Eunomia Research & Consulting, 2001.
15. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade e Ministério do Meio Ambiente. Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de Orientação. Brasília, 2012.
16. INSTITUTE FOR LOCAL SELF-RELIANCE. Washington, DC, 1997. <http://www.ilsr.org/recycling-means-business/>
17. ONU. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos. Productos Químicos; Ginebra, Suiza, febrero, 2005. (http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/sp/Toolkit_2005es.pdf)
18. WINROCK INTERNATIONAL BRASIL. Manual de Biodigestão.
19. (http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf)
20. WASTE MANAGEMENT AND ENERGY SAVINGS: BENEFITS BY THE NUMBERS. Choate Anne, Pederson Lauren, Scharfenberg Jeremy, ICF Consulting, Washington DC. Henry Ferland U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC
21. WRAP. Environmental benefits of recycling – an international review of life cycle comparisons for key materials in the UK recycling sector, 2010.