

ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DE TÉCNICAS PARA TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

C. Dmitrijevas⁽¹⁾, S. A. Oliveira⁽²⁾, M. A. F. Pires⁽¹⁾

(1) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN
Av. Prof. Lineu Prestes, n° 2242 – Cidade Universitária – São Paulo – SP
Caixa Postal 11049 – CEP 05422-970 – Pinheiros - (11) 3133-9194

(2) Fundação Espaço ECO: Estrada Ribeirão do Soldado, 230 - Botujuru - São
Bernardo do Campo – SP – CEP 09822-010

e-mail: cibele@evivance.com.br

RESUMO: *Os resíduos sólidos urbanos são um dos grandes problemas da sociedade atual. Nesse sentido é necessário discutir soluções para seu gerenciamento. Este trabalho expõe os resultados de uma avaliação econômico-ambiental comparativa, utilizando-se uma ferramenta denominada de análise de ecoeficiência, metodologia esta desenvolvida pela BASF, realizada entre duas potenciais tecnologias para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: aterro sanitário e a incineração com recuperação de energia. Para viabilizar o trabalho, as informações utilizadas foram tanto de dados reais provenientes do aterro sanitário e do incinerador da Empresa Essencis Soluções Ambientais S.A., (assumindo algumas premissas) quanto a utilização de dados secundários, utilizando o estudo de Arena et al., 2003. Esta ferramenta de Análise de Ecoeficiência abrange a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que é uma técnica para avaliar as entradas e saídas de matéria e energia e os impactos ambientais potenciais associados a todas as etapas de extração de recursos e suas transformações, além do uso e disposição final do produto. Os dados obtidos na avaliação ambiental são apresentados segundo as categorias principais, usando um método de ponderação e compreende o consumo de recursos naturais, consumo de recursos energéticos, emissões (atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos), potencial de toxicidade humana, acidentes do trabalho, doenças ocupacionais e uso da terra. A avaliação econômica levou em consideração os custos envolvidos na operação e manutenção das técnicas de disposição ou tratamento dos resíduos sólidos urbanos. O estudo comparativo considerou a disposição ou tratamento de 7.324.109.000 quilogramas de resíduos sólidos urbanos. Como resultado, a matriz de ecoeficiência*

aponta que o incinerador com recuperação de energia é a alternativa que mais se destaca, considerando o perfil ambiental e econômico, dentro das premissas adotadas neste estudo e levando-se em consideração que é uma técnica com aproveitamento de energia.

Palavras-chave: ecoeficiência, aterro sanitário, incinerador, avaliação do ciclo de vida, ACV.

INTRODUÇÃO

Desde o início da história da humanidade, os resíduos ou materiais excedentes de cada processo eram simplesmente descartados. As tecnologias de produção e a química envolvida nos produtos foram escolhidas em uma época mais inocente, quando compradores podiam se dar ao luxo de prestar pouca ou nenhuma atenção aos impactos adversos do que se produzia. O ambiente se encarregava de absorver os resíduos descartados pelo homem e gerados na produção. Lidar com resíduos provenientes da produção de bens e serviços era considerado antieconômico, pois havia espaço suficiente para descartar o pequeno volume e não existia limitação para a utilização de matérias primas e disposição dos resíduos gerados⁽¹⁾.

Com o aumento da população mundial, o descarte dos resíduos sólidos se tornou cada vez mais problemático e, por conseqüência, o acúmulo destes resíduos, além de dissipar substâncias tóxicas no ambiente, pode influenciar na saúde e na qualidade de vida dos indivíduos⁽²⁾.

Segundo Lima⁽³⁾ o aumento populacional exige maior incremento na produção de alimentos e bens de consumo direto para atender a esta nova e surpreendente demanda. A tentativa de atender a esta demanda faz com que o homem transforme cada vez mais matérias primas em produtos acabados, gerando, assim, maiores quantidades de resíduos que, dispostos de forma inadequada, podem contribuir significativamente para a degradação da biosfera, em detrimento da qualidade de vida em nosso planeta. O setor de tratamento e gerenciamento de resíduos e serviços ambientais no Brasil há mais de uma década vem se desenvolvendo, se aprimorando e imprimindo a noção da necessidade para a questão dos resíduos no país.

De acordo com Tondowski, da empresa Ambitec Assessoria Ambiental, várias pesquisas ou trabalhos de aproveitamento de resíduos vêm sendo desenvolvidos,

porém estes processos ainda demorarão a chegar ao mercado. Além disso, algumas inovações são excelentes no desenvolvimento de idéias, mas pecam na viabilidade econômica dos projetos. Uma nova tecnologia somente será viável se os benefícios advindos impactarem de forma positiva nos custos de uma determinada operação ou, ainda, se a legislação impuser mudanças que a viabilizem. Se uma tecnologia nova representa uma melhoria ambiental, mas o seu custo é alto, ela estará fadada ao fracasso. A maior parte do mercado fará o discurso da melhoria contínua, mas optará pela solução de menor custo e que atendam a legislação⁽⁴⁾.

O aterro sanitário é um aprimoramento de uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para descarte de seus resíduos, que é o aterramento. É definido como um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o resíduo sólido urbano (RSU), que fundamentado em critérios de projeto, operação, manutenção, monitoramento e fechamento, permite um confinamento seguro, em termos de controle da poluição ambiental.

Atualmente, os aterros sanitários vêm sendo severamente criticados porque não têm como objetivo o tratamento ou a reciclagem dos materiais presentes no RSU. De fato, os aterros sanitários constituem-se numa forma de armazenamento de RSU no solo, fato que não pode ser considerado como positivo, uma vez que os espaços úteis a essa técnica tornam-se cada vez mais escassos.

Teoricamente, a maioria desses rejeitos pode ser reciclada. Na prática não é o que ocorre. Os fatores de ordem técnica e econômica inviabilizam grande parte dos processos deixando como alternativa o descarte. Não se pode desprezar a realidade econômica, na qual nem sempre a comunidade dispõe de recursos suficientes para a implantação e operação de técnicas onerosas para o tratamento de seus resíduos⁽⁵⁾.

Outro processo muito utilizado para o gerenciamento de resíduos, a nível mundial, é a incineração, pois é o processo de combustão controlada que transforma os resíduos sólidos em dióxido de carbono, água e outros gases. Normalmente, a incineração de RSU é utilizada nas cidades em que foram esgotadas todas as outras possibilidades de tratamento e de destinação dos resíduos, por ser um processo dispendioso. A incineração apresenta algumas vantagens sobre outros processos, entre as quais, podemos destacar a redução de massa e o volume de resíduo a ser descartado, operação independente das condições atmosféricas, recuperação de energia e dispensam a utilização de grandes áreas⁽⁶⁾.

Como apresentado, ambas as técnicas de gerenciamento de RSU apresentam vantagens e desvantagens. Porém, qual o processo ambientalmente mais correto e como quantificar o desempenho ambiental e econômico dessas atividades? A adoção de indicadores de ecoeficiência vem sendo proposta como um instrumento capaz de medir a sustentabilidade, auxiliando o tomador de decisão na busca de soluções de produtos e serviços com menor intensidade de utilização de recursos, redução da emissão de substâncias tóxicas, agregação de valor aos bens e serviços e maximização do uso sustentável de recursos renováveis⁽⁷⁾.

A metodologia de análise de ecoeficiência, desenvolvida pela BASF SE em 1996, com a consultoria Roland Berger, foi aplicada e avaliada em diversos estudos acadêmicos e industriais realizados na Europa, EUA e Brasil. Neste trabalho, visando operacionalizar os conceitos de ecoeficiência foi realizada uma avaliação econômico-ambiental comparativa entre o “sistema de produto” denominado de “aterro sanitário” e o “sistema de produto” denominado “incineração com recuperação de energia”.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, procurou-se conhecer a metodologia aplicada na análise de ecoeficiência, desenvolvida pela BASF SE e recentemente validada por organismos competentes, identificando o procedimento de execução, aplicação e interpretação dos resultados. Na execução da análise, o desempenho ambiental é estudado através de uma avaliação de ciclo de vida (ACV)⁽⁸⁾, complementada por uma avaliação de acidentes de trabalho, doenças ocupacionais e uma avaliação de toxicidade humana, para cada uma das alternativas estudadas. Nesta etapa foram elaborados os fluxogramas dos sistemas em estudo, de modo que as atividades e/ou processos avaliados estivessem bem definidos, assim como as fronteiras técnicas do mesmo. Então, foi feito um levantamento de dados de entradas e saídas (consumo de recursos naturais e energia, emissões para o ar, água e solo) para todas as etapas incluídas nas fronteiras do estudo de ACV (unidades de processo). Estes dados foram compilados e as cargas ambientais do sistema foram calculadas e relacionadas à unidade funcional. Para viabilizar o trabalho, as informações utilizadas foram baseadas em dados reais (denominados de primários) – aterro sanitário e incinerador – de procedência da empresa Essencis Soluções

Ambientais S.A. – São Paulo (assumindo também algumas premissas) e da utilização de dados secundários, utilizando o estudo realizado por Arena et al.⁽⁹⁾. A aplicação da metodologia, conforme apresentada na **FIG. 1**, foi realizada na Fundação Espaço ECO, São Bernardo do Campo, SP com o apoio da equipe de ecoeficiência.

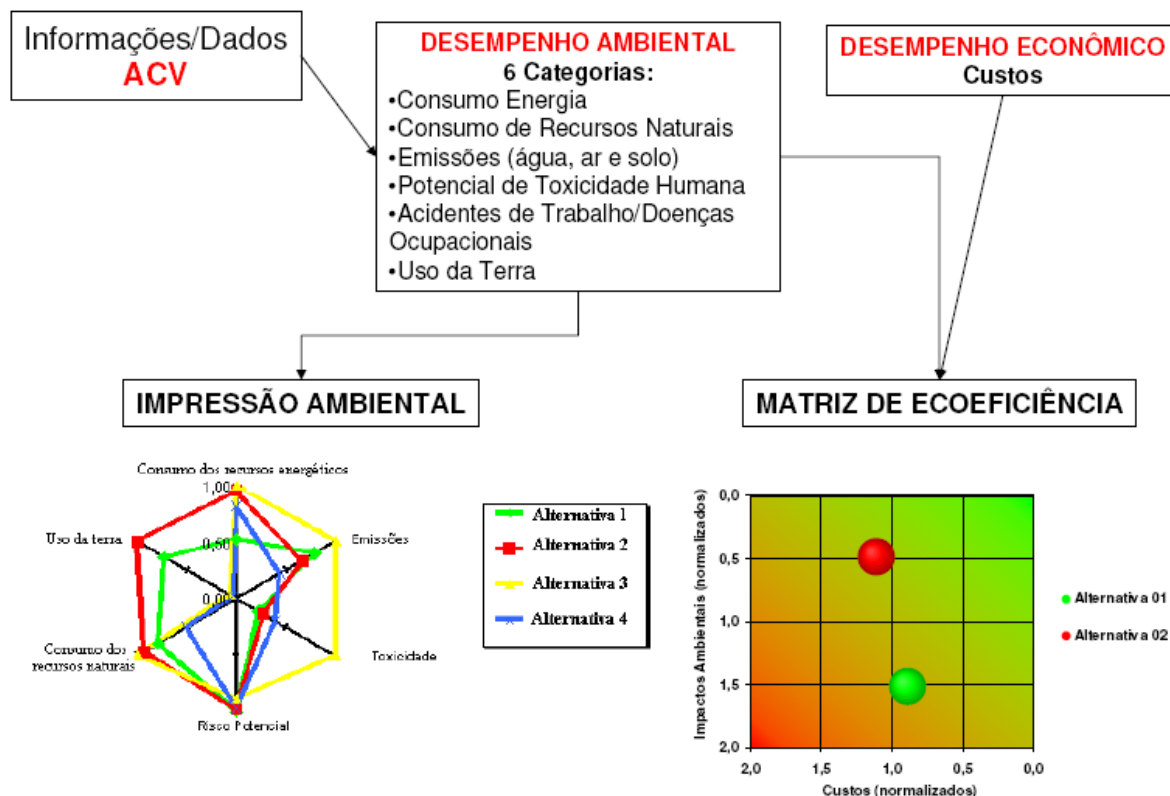
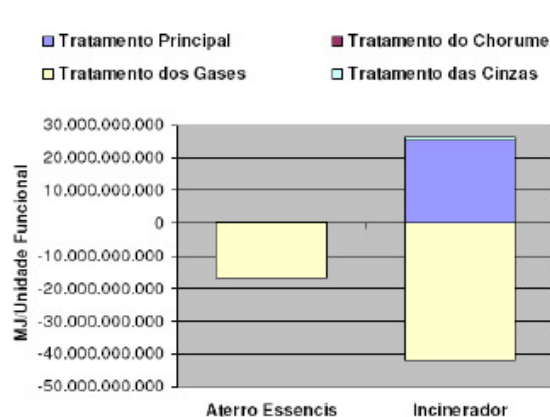


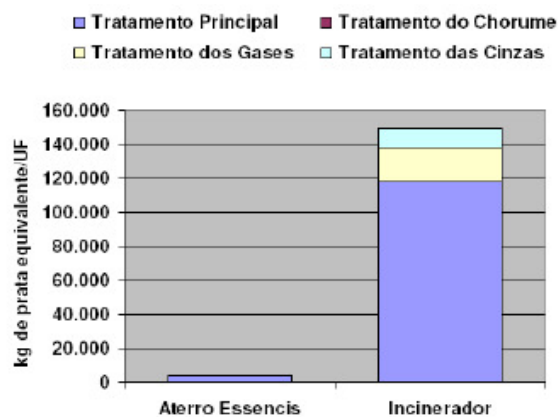
FIGURA 1. Resumo da metodologia de ecoeficiência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

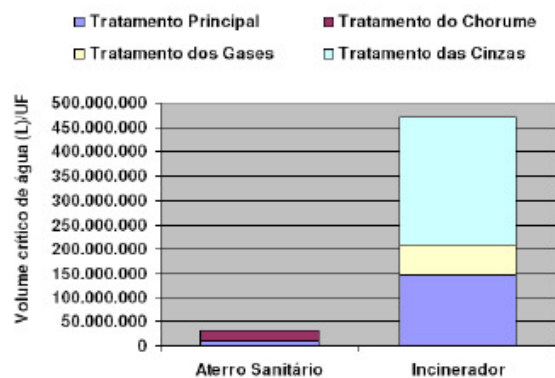
Após a análise do inventário do ciclo de vida das alternativas, dos acidentes de trabalho e doenças ocupacionais, da avaliação do potencial de toxicidade humana e dos custos, aplicando-se a ferramenta de análise de ecoeficiência⁽¹³⁾ os resultados foram consolidados nas respectivas categorias de impactos ambientais e na avaliação econômica correspondente, conforme apresentado na **FIG. 2**.



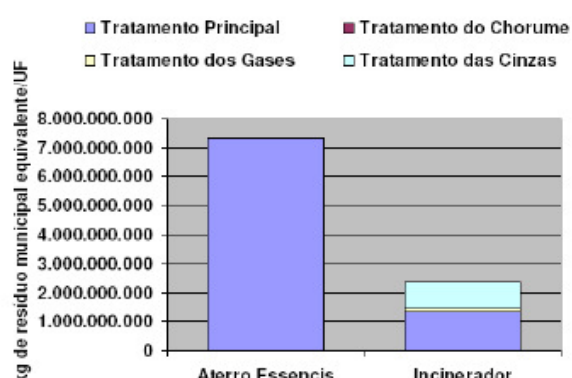
a) Consumo de Recursos Energéticos



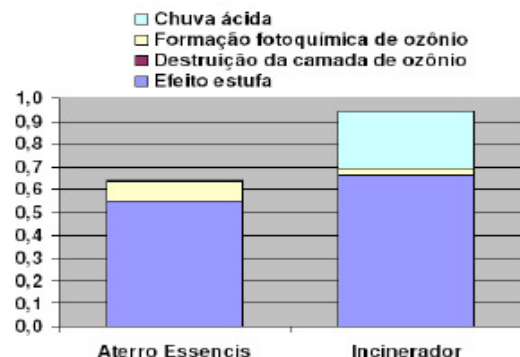
b) Consumo de Recursos Naturais



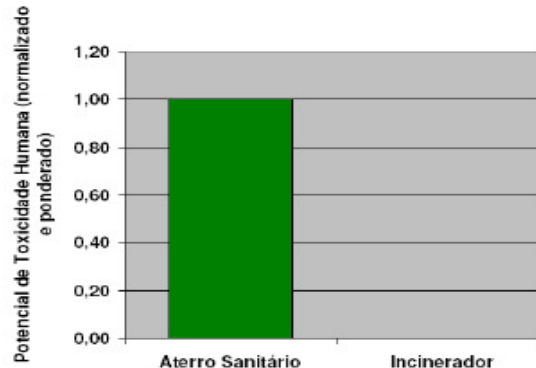
c) Emissão para a Água (Efluentes Líquidos)



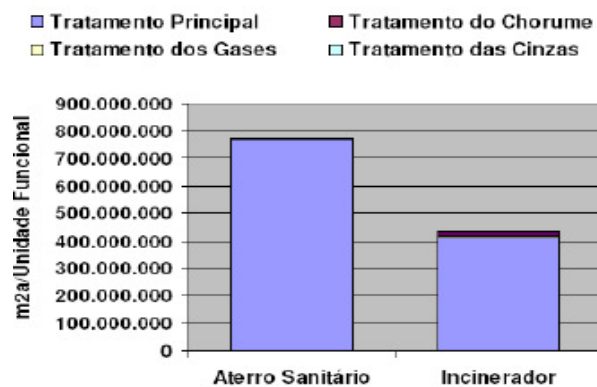
d) Emissões para o Solo (Resíduos Sólidos)



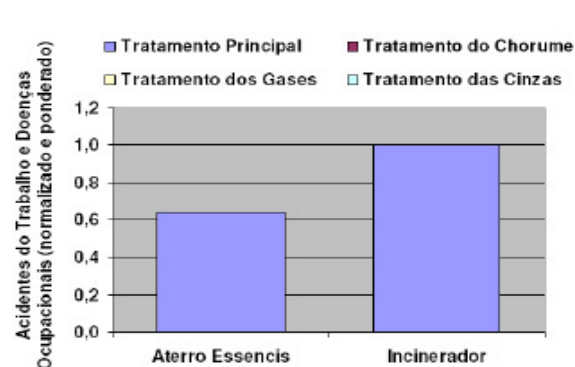
e) Emissões para o Ar (Emissões Atmosféricas)



f) Potencial de Toxicidade Humana



g) Uso da Terra



h) Acidentes do Trabalho e Doenças Ocupacionais

continuação

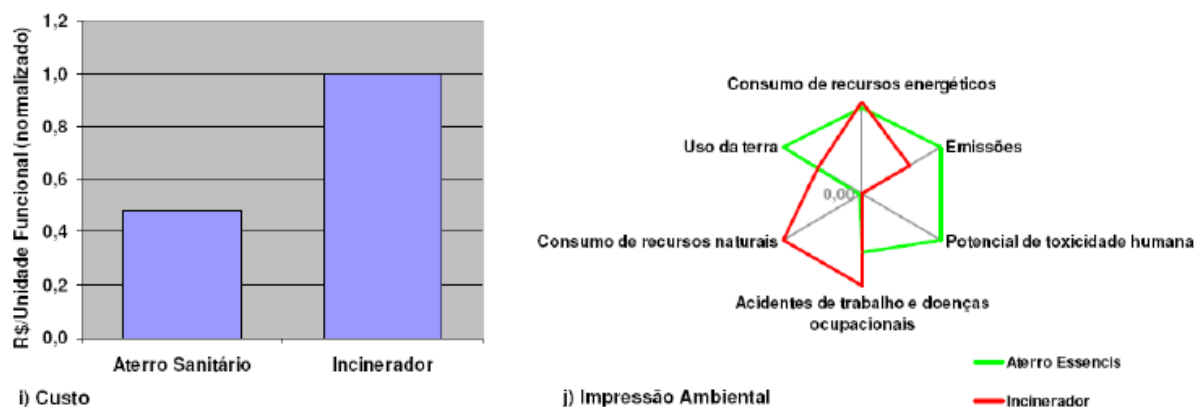


FIGURA 2. Resultado do desempenho ambiental e econômico para as alternativas: Aterro Sanitário e Incinerador.

Na categoria de impacto ambiental, quanto ao item consumo de recursos energéticos (**FIG. 2-a**), ao comparar o sistema de produto “aterro sanitário” com o incinerador, pode-se observar que o aterro sanitário apresenta, no balanço geral, um crédito ambiental maior que o incinerador para o cumprimento da mesma função. Com relação ao consumo de recursos naturais, de acordo com a **FIG. 2-b** pode-se observar que o incinerador é mais intensivo no consumo de recursos naturais do que o aterro sanitário, principalmente na unidade de processo “Tratamento Principal” em função do consumo de ar comprimido, uréia e gás natural. Na categoria de impacto, emissões para a água (**FIG. 2-c**), as unidades de processo “Tratamento das Cinzas” e “Tratamento Principal” referentes à alternativa “incinerador” foram as responsáveis pela maior geração de poluentes em quantidades superiores à capacidade de absorção pelo meio ambiente, necessitando, desta forma, um volume mais expressivo de água, para atendimento aos padrões de emissão. De acordo com os dados apresentados na **FIG. 2-d** pode-se observar que o aterro sanitário apresentou um resultado mais significativo na unidade de processo “Tratamento Principal”, particularmente pela disposição dos RSU. A alternativa “incinerador” também contribuiu para esta categoria, principalmente nas unidades de processo “Tratamento Principal” e “Tratamento das Cinzas” em função da geração de cinzas, porém em quantidades inferiores ao sistema de produto “aterro sanitário”. Com relação a categoria emissão para o ar (ou emissões atmosféricas) representada pela **FIG. 2-e**, o parâmetro CO_2 foi o elemento de maior relevância. Na alternativa “aterro sanitário”, o ciclo de vida do óleo diesel utilizado na unidade de processo

“Tratamento Principal” para movimentação dos caminhões e o consumo de energia para o tratamento do chorume foram os insumos que mais contribuíram para este resultado. Para o sistema de produto “incinerador”, o CO₂ também foi o aspecto ambiental mais significativo, particularmente devido aos perfis ambientais da uréia e do gás natural (entradas da unidade de processo “Tratamento Principal”), assim como a sua própria emissão, mesmo após tratamento. Na unidade de processo “Tratamento das Cinzas”, o cimento (ou o processo de sua produção) foi à matéria prima que mais contribuiu para a emissão de CO₂, devido ao seu perfil ambiental.

Após a normalização, conforme a metodologia de análise de ecoeficiência observa-se ainda que de acordo com os resultados apresentados na **FIG. 2-e**, que a unidade de processo “Tratamento dos Gases”, promoveu uma maior contribuição para o efeito estufa (EE), tanto no aterro sanitário quanto no incinerador. O consumo de óxido de cálcio contribuiu para a categoria chuva ácida (CA), na alternativa “incinerador”. A emissão de metano, proveniente da unidade de processo “Tratamento Principal”, na alternativa “aterro sanitário” e o ciclo de vida do ar comprimido, utilizado na unidade de processo “Tratamento Principal” na alternativa “incinerador”, foram os principais responsáveis para a formação fotoquímica de ozônio (FFO). De acordo com os resultados apresentados na **FIG. 2-f**, observa-se que a unidade de processo “Tratamento Principal” do sistema de produto “aterro sanitário” foi a unidade que mais contribuiu para o potencial de toxicidade humana em função do uso do óleo diesel e a disposição dos RSU. O resultado obtido nesta categoria foi potencializado, favorecendo a alternativa “incinerador” pelo fato deste, na unidade de processo “Tratamento dos Gases”, liberar uma quantidade expressiva de energia e, assumindo que a energia gerada evitará a compra de energia de outras fontes externas ao sistema, teremos, por consequência, um potencial de toxicidade humana evitado, proporcional a esta energia economizada.

Ao comparar a área ocupada pelo aterro sanitário com a área ocupada pelo incinerador, o valor de uso da terra do aterro sanitário, conforme apresentado na **FIG. 2-g**, é extremamente expressivo, sendo esta uma das principais desvantagens apontadas pelas literaturas quando da utilização desta técnica para o gerenciamento dos RSU. De acordo com a **FIG. 2-h**, o incinerador é mais significativo na categoria de acidentes do trabalho e doenças ocupacionais, se comparado com o aterro sanitário. O número de acidentes de trabalho contabilizado neste estudo para a alternativa “aterro sanitário” foi de 18 e o número de acidentes de trabalho para o

incinerador foi de 28. Registro de doenças ocupacionais e acidentes fatais não foram relatados em nenhum dos sistemas. Conforme demonstra o gráfico representado pela **FIG. 2-i**, o custo total do incinerador é maior que o do aterro sanitário, mesmo considerando o potencial de venda de energia.

Com as seis categorias determinadas e normalizadas para cada uma das alternativas, foi possível determinar o gráfico de impressão ambiental, representado na **FIG. 2-j**. Neste gráfico, quanto mais afastado do centro encontra-se o valor da categoria de efeito ambiental, maior é o impacto desta sobre o meio ambiente e a sociedade. Aplicando o fator de ponderação e agregando ao indicador ambiental o indicador econômico, a matriz de ecoeficiência é obtida demonstrando a alternativa mais ecoeficiente. De acordo com os resultados apresentados na **FIG. 3** podemos observar que o incinerador com recuperação de energia é a alternativa mais ecoeficiente quando comparada com o sistema de produto “aterro sanitário”.

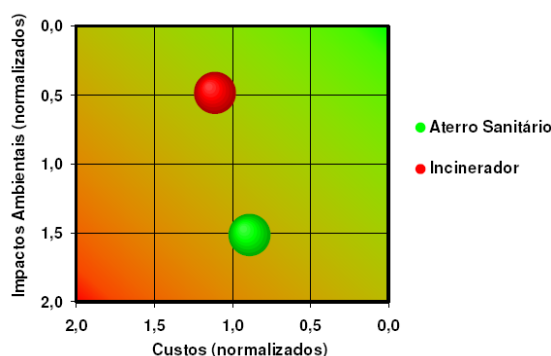
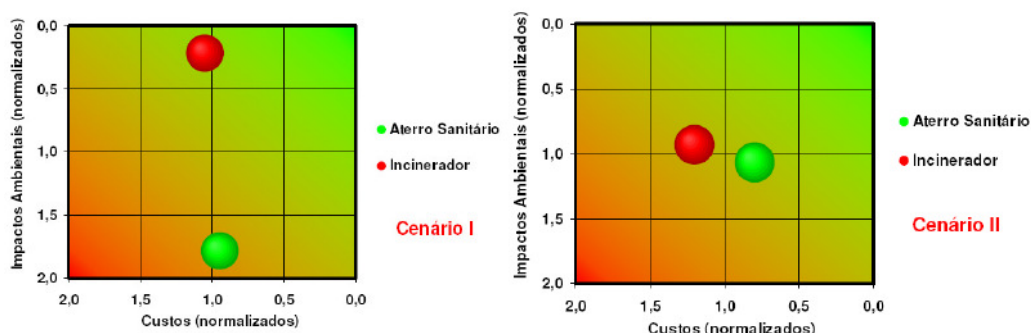


FIGURA 3. Matriz de Ecoeficiência para as alternativas “aterro sanitário” e “incinerador” (Caso Base).

Para uma análise mais completa, foram estabelecidos quatro cenários, levando-se em consideração o cenário base para avaliar a confiabilidade dos resultados finais e conclusões, conforme apresentado na **FIG. 4**.



continuação

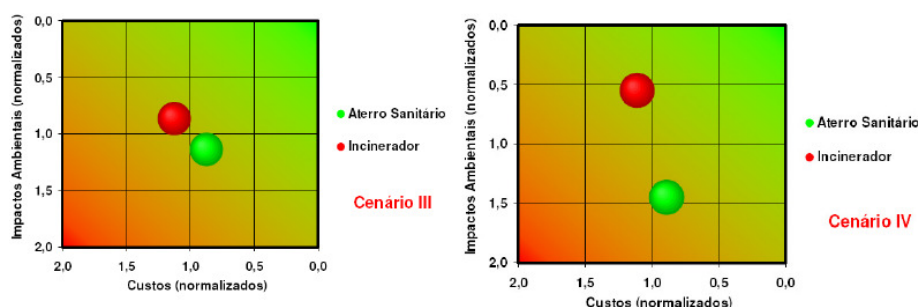


FIGURA 4. Análise de sensibilidade para as alternativas “aterro sanitário” e “incinerador”.

No cenário I não foi considerado o potencial de venda de energia para a alternativa “aterro sanitário” proveniente do aproveitamento do biogás. Em função desta premissa foi assumido um incremento no custo de aproximadamente 55% para disposição de RSU no aterro sanitário. Neste cenário, pode-se observar um aumento da distância entre as alternativas, caracterizando um resultado ainda melhor para o incinerador na vertente ambiental comparado ao caso base (**FIG. 3**).

No cenário II não foi considerado o potencial de recuperação de energia para posterior venda para a alternativa “incinerador”. Em função desta premissa foi assumido um incremento no custo de aproximadamente 62%. Neste cenário, pode-se observar que a recuperação de energia é fundamental para a obtenção do resultado do incinerador como melhor alternativa neste estudo pois, caso contrário, o aterro sanitário passa a ser a alternativa mais ecoeficiente.

No cenário III foi considerado que 50% (matéria orgânica) dos RSU foram depositados no aterro sanitário, os outros 50% foram reciclados (papel, papelão, tecido, vidro, plástico etc.). Neste cenário, podemos observar que o aterro sanitário e o incinerador são igualmente ecoeficientes.

No cenário IV foi considerado um aumento de 10% na eficiência de coleta e tratamento do biogás para a alternativa “aterro sanitário”. Este incremento de 10%, embora contribua para um melhor desempenho ambiental da alternativa não é decisivo para defini-la como melhor opção.

CONCLUSÃO

Com a aplicação da metodologia de análise de ecoeficiência, os resultados obtidos poderão auxiliar os tomadores de decisão na escolha da melhor prática, além de fornecer indicadores que poderão ser utilizados pelos gestores das

tecnologias estudadas, possibilitando assim, sua atuação em diferentes etapas do processo que levam a resultados mais relevantes em determinadas categorias de impacto ambiental. Tanto para o aterro sanitário como para o incinerador, uma oportunidade seria a avaliação do reaproveitamento energético gerado pelos resíduos, uma vez que o esgotamento de matérias primas torna-se cada vez mais evidente. Uma outra oportunidade a ser destacada é a aplicação de um manejo integrado de resíduos (como, por exemplo, separação e reciclagem). Numa avaliação sistemática, essa afirmativa se aplica tanto à utilização direta dos insumos requeridos nos processos como também ao uso e transformação da terra para a realização das atividades de coleta e tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GOLEMAN, D. **Inteligência Ecológica. O impacto do que consumimos e as mudanças que podem melhorar o planeta.** Tradução de Ana Beatriz Rodrigues. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. Título original: Ecological Intelligence.
- (2) GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B; BONILHA, S.H. A ecologia industrial dentro do contexto empresarial. **Revista Banas Qualidade**, São Paulo, v. 177, p. 76, set. 2007.
- (3) LIMA, L.M.Q. **Lixo - Tratamento e Biorremediação.** 3.ed. SP: Hemus, 2004.
- (4) QUINTANILHA, L. Conscientização do setor produtivo estimula o desenvolvimento das empresas de tratamento de resíduos. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v. 69, p. 35, set./out. 2007.
- (5) CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento de São Paulo. **Procedimentos para implantação de aterros sanitários em valas.** São Paulo: CETESB, 1997a.
- (6) CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento de São Paulo. **Lixo - Incineração.** São Paulo: CETESB, 1997b.
- (7) WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. **Eco-efficiency Learning Module**, 2006. Disponível em: http://www.wbcsd.ch/web/publications/ee_module.pdf. Acesso em: 12 fev. 2010.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009. (NBR ISO 14044).
- (9) ARENA, U.; MASTELLONE, M. L.; PERUGINI, F. The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study. **Chemical Engineering Journal**, 96, 207-222, 2003.
- (10) ZORZI, F. Engenheiro de processos e Supervisor da Essencis Soluções Ambientais S.A., **Comunicação Pessoal**, 2009.
- (11) CRUTO, T. Assistente de QSMA da Essencis Soluções Ambientais S.A. **Comunicação Pessoal**. 2008.
- (12) IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas / CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado.** 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

(13) DMITRIJEVAS, C. ***Análise de Ecoeficiência de Técnicas para Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos***. 2010. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-USP, São Paulo.

ECO-EFFICIENCY ANALYSIS OF TECHNIQUES FOR DISPOSAL OF URBAN SOLID WASTE

ABSTRACT

Municipal solid waste is one of the major problems of modern society. In this sense it is necessary to discuss solutions to their management. This dissertation presents the results of a comparative economic-environmental assessment, using a tool called eco-efficiency analysis, this methodology developed by BASF, held between two potential technologies for managing municipal solid waste: landfill and incineration with energy recovery. To facilitate the work, the information used were both real data from the landfill and incinerator Essencis Soluções Ambientais S.A., (assuming some assumptions) and the use of secondary data, using the study of Arena et al., 2003. This Eco-efficiency Analysis tool covers the methodology of Life Cycle Assessment (LCA), which is a technique to evaluate the inputs and outputs of matter and energy and the potential environmental impacts associated with all stages of resource extraction and their transformations, and the use and final disposal of the product. The data in the environmental assessment are presented according to major categories, using a weighing method and includes the consumption of natural resources, consumption of energy resources, emissions (air, liquid effluents and solid waste), potential for human toxicity, occupational accidents, occupational diseases and land use. The economic evaluation took into consideration the costs involved in operation and maintenance techniques for treatment or disposal of municipal solid waste. The comparative study found the treatment or disposal of 7.324109 billion kilograms of waste. As a result, the array of eco-efficiency indicates that the incinerator with energy recovery is the alternative that stands out, considering the environmental and economic profile, within the assumptions made in this study and taking into account which is a technique with energy recovery.

Key-words: eco-efficiency, landfill, incinerator, life cycle assessment, LCA.