

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: APLICAÇÃO NO ATERRO METROPOLITANO SANTA TECLA

Emerson Vanzin¹
Marcele Salles Martins²
Adalberto Pandolfo¹
Laércio Stolfo Maculan¹
Andréia Saugo³
Renata Gheno⁴
Luciana Marcondes Pandolfo¹

RESUMO

Este artigo objetiva apresentar procedimento para a análise de viabilidade ambiental relacionado à geração de energia elétrica, com a utilização do biogás, proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários com aplicação no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla, localizado em Gravataí - RS. O trabalho determina o potencial de geração de gás metano, sua capacidade de geração de energia elétrica e a avaliação ambiental. Sendo a avaliação dividida em três fases: pré-análise, análise e pós-análise. Para a obtenção dos impactos ambientais, foram utilizadas as metodologias MECAIA e LCA. Os impactos mais nocivos ao meio ambiente são gerados pelos resíduos e efluentes, chamando atenção às emissões, especialmente, a etapa de queima do biogás. A instalação da usina de geração de energia elétrica beneficia financeiramente os proprietários do aterro, em virtude da comercialização do biogás, nesse caso as prefeituras municipais. Também pode ser estendido à comunidade, com a diminuição da taxa de limpeza urbana e da taxa de iluminação pública pela energia elétrica gerada; além de contribuir para o superávit da balança comercial pela venda de créditos de carbono. O sistema elétrico seria beneficiado pela diversificação da matriz energética.

Palavras-chave: impacto ambiental, aterro sanitário, biogás

¹ Universidade de Passo Fundo (UPF).

² Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ). Curso de Arquitetura e Urbanismo. E-mail para correspondência: marcelesalles@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

⁴ Universidade FEEVALE.

ABSTRACT

Analysis of environmental impacts of the use of biogas landfill for electric power generation: application in metropolitan landfill Santa Tecla. This paper aims to present procedures for the analysis of environmental feasibility related to the generation of electricity with the use of biogas, from the anaerobic decomposition of waste in landfills with application in Santa Tecla Metropolitan Sanitary Landfill, located in Gravataí/RS. The work provides the potential to generate methane gas, its ability to generate electric energy and environmental assessment. The assessment is divided into three phases: pre-testing, analysis and post analysis. To obtain the environmental impacts were used methodologies MECAIA and LCA. The most harmful impacts to the environment are generated by waste and effluents, calling attention to issues, particularly the step of burning the biogas. The installation of the plant to generate electricity benefits financially the owners of the landfill, due to the marketing of biogas, in this case the municipal governments. It can also be extended to the community with a decrease in the rate of urban cleaning and the rate of public lighting by electricity generated, in addition to contributing to the surplus of trade balance for the sale of carbon credits. The electrical system would benefit by diversifying the energy matrix.

Key words: environmental impact, landfill, biogas

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e o estilo de vida da sociedade moderna são processos complexos que compartilham um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. Contudo, a preocupação com o meio ambiente instiga questões relacionadas com o aquecimento global, a chuva ácida e a disposição dos resíduos, que estão estritamente ligados à forma como é usada a energia. De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2003), a energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna, indispensável para criar bens a partir de recursos naturais e fornecerem muitos dos serviços.

Segundo Ensinas (2003), a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o planeta e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis. Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos são os aterros sanitários, que têm como um dos subprodutos a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico. Os principais constituintes desses gases são o dióxido de carbono

e o gás metano, sendo este último um combustível possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2008), a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos no Brasil é de 677 Gg, cuja densidade é de $0,716 \text{ kg/m}^3$, o que representa 945 milhões de metros cúbicos por ano. Como o metano representa 55% do volume do biogás, têm-se 1.718 milhões de metros cúbicos anuais desse gás, com recuperação típica de 90%, estariam disponíveis 1.546 Mm^3 de biogás para geração de energia elétrica. Multiplicando esse valor pelo poder calorífico do biogás, 5.800 kcal/m^3 e o resultado por 4.180 J/kcal , obtêm-se $3,7 \times 10^{16}$ Joules, sendo que cada joule corresponde a 1 Watt-segundo. Dividindo esse valor pelo número de segundos em uma hora (3.600 s/h) e multiplicando o resultado pela eficiência do motor, a combustão interna, normalmente usada nesse sistema, na faixa de 20%, encontra-se a energia disponível de 2,1 TWh, que alimentaria uma cidade de 875 mil residências com consumo médio mensal de 200 KWh, o que equivale a uma cidade de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes.

Segundo Miguel (2005), o consumo crescente e o impacto ambiental causados pelas fontes de energia tradicionais levam o governo e a sociedade a pensar em novas alternativas para geração de energia elétrica. Segundo o Balanço Energético Nacional ano base 2007 (BRASIL, 2008), 89% da matriz de oferta de energia elétrica do Brasil é renovável, enquanto a média mundial em 2007 era de 18 %. No entanto, nesse mesmo ano de 2007, 77,3% da energia elétrica do país era gerada em grandes usinas hidrelétricas, o que provoca grande impacto ambiental, tais como o alagamento dessas áreas e a consequente perda da biodiversidade local. Os problemas sociais não são menores com a remoção de famílias das áreas atingidas.

Para o mesmo autor, diante desse cenário, as fontes alternativas de energia como eólica, solar e biomassa, além de causarem impactos ambientais menores, ainda evitam a emissão de toneladas de gás carbônico na atmosfera.

Para se avaliar os impactos ambientais, têm-se vários modelos, dentre os quais o Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais – MECAIA. Essa avaliação foi desenvolvida para suprir a necessidade de uma abordagem capaz de avaliar, simultaneamente, impacto e custos ambientais em processos industriais (Amaral e Silva, 2006).

Kraemer (2002) coloca, a fim de facilitar a compreensão do MECAIA e de apresentar sua estrutura de forma didática, que o mesmo foi subdividido em seis fases básicas, como descrito a seguir: (a) Diagnóstico estratégico preliminar; (b) Mapeamento dos processos e atividades empresariais; (c) Identificação dos aspectos

e impactos ambientais; (d) Determinação do custo dos processos e atividades empresariais, com ênfase nos processos ambientais. (e) Estruturação das perspectivas ambientais para a elaboração do BSC Ambiental; (f) Análise estratégica ambiental de custo-benefício e propostas de inovação e melhoria.

Outra ferramenta utilizada para embasar as decisões é a Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA). Na etapa de definições, o grupo de apoio determina quais são os objetivos do estudo, a sua abrangência e a unidade funcional, ou seja, uma referência na qual são expressos os resultados da análise. Essa referência pode ser uma unidade de produto, um lote de produção, um quilograma de produto, sendo que a escolha dependerá do processo produtivo em questão.

O macroprocesso ambiental perpassa os limites empresariais; as empresas ecoeficientes influenciam o meio que estão inseridas e, por outro lado, também são influenciadas. A busca por novos mercados e a melhoria da imagem das empresas frente a esses mercados passa por uma atuação ambientalmente correta por toda a cadeia produtiva ou, pelo menos, para os principais integrantes da cadeia.

O presente artigo objetiva apresentar procedimento para a análise de viabilidade ambiental relacionado à geração de energia elétrica, com a utilização do biogás, proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários com aplicação no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla, localizado em Gravataí – RS. Para representar o processo produtivo do Aterro Santa Tecla e identificar as questões ambientais, foi utilizado o Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais – MECAIA, que atende a essa visão complexa em que se constata a amplitude dos macroprocessos ambientais, pois o meio ambiente está envolvido em praticamente todo o processo produtivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O Aterro Metropolitano Santa Tecla

O Aterro Metropolitano Santa Tecla está localizado na Estrada Henrique Closs, km 6, em Gravataí, Estado do Rio Grande do Sul. Segundo DMLU (2005), até o ano de 1999 a área foi operada como lixão, quando se executaram as obras de remediação e implantação do aterro sanitário, com 10 hectares. O aterro é do tipo rampa, com uma zona antiga fechada que contém 570 mil toneladas de resíduos e uma zona ativa mais recente, com capacidade de 2 milhões de toneladas. A profundidade máxima dos resíduos, na área mais antiga, é de, aproximadamente, 25 metros e na área mais recente de 35 a 40 metros.

Determinação do Potencial de Geração de Gás Metano e a Capacidade de Geração de Energia Elétrica

Para a determinação do potencial de geração do gás metano, foi utilizado o método de inventário das emissões de metano da USEPA (1991), com o “Método Decaimento de Primeira Ordem”, que considera o gás metano emitido por longos períodos de tempo tendo em vista vários fatores que influenciam a taxa de geração do mesmo. A determinação da emissão anual de CH₄, para países, regiões ou casos individuais, pode ser calculada pela Equação 1 a seguir:

$$Q = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

Sendo:

Q: geração de metano no ano (m³/ano);

L₀: potencial de geração de metano dos resíduos (m³/t de lixo);

R: média anual de deposição dos resíduos durante a vida útil do aterro (t/ano);

K: constante de decaimento (ano⁻¹);

c: tempo desde o fechamento do aterro (anos);

t: tempo desde a abertura do aterro (anos).

Segundo a USEPA (1991), o fator L₀ depende da composição dos resíduos e das condições do aterro para o processo de metanização, estando os valores encontrados em bibliografia técnica entre 6,2 e 270 m³ de metano por tonelada de resíduos para aterros americanos. A constante de decaimento (k) está relacionada com o tempo necessário para a fração de carbono orgânico degradável (COD) do lixo decair para metade de sua massa inicial, podendo ser obtida por processo iterativo quando são conhecidas as vazões do gás metano do aterro, o valor “L₀” e a quantidade e o tempo de deposição do lixo no local.

Avaliação Ambiental

Através da utilização do Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais – MECAIA e do uso da Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment* – LCA), procedeu-se o detalhamento e a listagem de todos os processos envolvidos no beneficiamento do biogás e a partir dele a geração de energia elétrica. O modelo MECAIA apresenta seis fases para sua aplicação. No presente trabalho, avaliou-se as questões ambientais para tanto, foram trabalhadas as três fases iniciais, descritas a seguir.

Fase 1 - Diagnóstico estratégico preliminar

Foi verificado o enquadramento do aterro sanitário Santa Tecla nas premissas básicas necessárias à implantação do modelo e focado somente as questões ambientais.

Fase 2 - Mapeamento dos processos e atividades

a) Etapa 1 - Mapeamento dos macroprocessos

Os macroprocessos empresariais referem-se aos diferentes focos de atuação de cada área: o macroprocesso técnico, financeiro, administrativo e RH/Qualidade. Esse trabalho enfoca o macroprocesso técnico e administrativo.

b) Etapa 2 - Mapeamento dos processos e atividades empresariais

Visa inicialmente a conhecer a organização do processo de produção e preencher o Questionário de Pré-Análise (QPA) para posteriormente traçar o panorama ambiental.

c) Etapa 3 - Consolidação dos processos mapeados

Nessa etapa, obtém-se a quantidade de processos que envolve o aterro desde a recepção até a produção da energia elétrica.

Fase 3 - Identificação dos aspectos e impactos ambientais

a) Etapa 1 - Determinação dos aspectos ambientais

A identificação dos pontos de origem e a disposição dos rejeitos oriundos das atividades empresariais e a identificação dos impactos ambientais.

b) Etapa 2 - Determinação dos impactos ambientais

Com base nas respostas obtidas, pode-se traçar um panorama da organização, verificando quais são as suas principais matérias-primas e produtos, tipos de rejeitos produzidos no processo.

Fase 4 - Pós-análise

Nessa fase final, são gerados cenários de melhoria para as operações críticas do processo, buscando minimizar os impactos ambientais identificados. Para tanto,

será empregado, como embasamento teórico, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA), conforme segue abaixo:

- a) o que deve ser feito (*What?*) - quais são os aspectos e os impactos ambientais que serão tratados;
- b) quando será feito (*When?*), isto é, os prazos para a execução de cada atividade planejada;
- c) onde serão executadas as ações programadas (*Where?*) - em qual operação de processamento;
- d) por que essas ações serão executadas (*Why?*), isto é, que requisitos legais ou corporativos determinam a realização dessas atividades;
- e) quem tem a responsabilidade de realizar a ação (*Who?*);
- f) como será realizada a ação necessária para atingir a meta proposta (*How?*);
- g) em termos de custos ambientais, o que esta ação irá acarretar para a empresa (*How much?*).

RESULTADOS

Aterro Metropolitano Santa Tecla

De acordo com o DMLU, o aterro recebeu até maio de 2005 as quantidades de resíduos sólidos apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de resíduos depositados no Aterro Santa Tecla.

Ano de operação do aterro	Quantidade (t)
Até 1999	380.000,00
1999	232.671,14
2000	266.632,76
2001	361.812,47
2002	375.787,43
2003	219.532,28
2004	134.746,81
2005 (até maio)	72.025,36
Total	2.043.208,24

Fonte: DMLU (2005).

Curva de Geração do Biogás no Aterro

Com a utilização do *software Landfill Gas Emissions, Version 2.0*, inserindo a quantidade média de resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário Santa Tecla (Tabela 1), obteve-se a curva de geração de metano ao longo do tempo em anos. A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados para simulação da curva de geração de metano e energia elétrica. Apenas parte do biogás gerado é recuperada e considerou-se, para esse caso, um índice de recuperação de 75%. Portanto, consideram-se apenas os valores de metano possíveis de serem extraídos do aterro.

Tabela 2 – Dados do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

Parâmetro	Valor
Lo (m ³ /ton)	170
R (ton)	260.000
K (1/ano)	0,05
Ano de fechamento	2006
Ano de abertura	1998
Volume de metano no Biogás (%)	50
Índice de recuperação de metano (%)	75
Eficiência do motor	0,2

Curva de Geração de Energia Elétrica

A geração de energia elétrica foi calculada com base na curva de geração de metano do Aterro Metropolitano Santa Tecla, cuja densidade, de acordo com a CETESB (2008) é de 0,716 kg/m³ e o metano representa 50% do volume do biogás com recuperação típica de 75%.

A eficiência do motor para a combustão interna do biogás, normalmente usado nesse sistema, está na faixa de 20%, gerando uma curva de produção de energia elétrica conforme a figura 1.

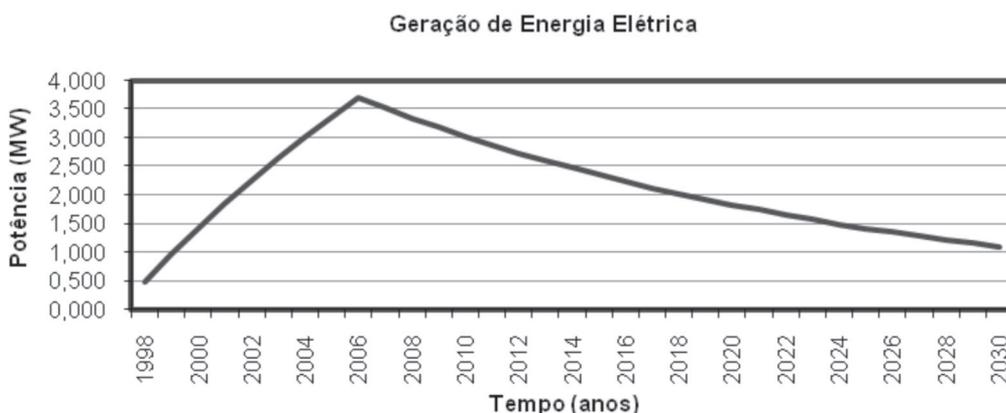


Figura 1. Curva de geração de energia elétrica estimada para o biogás do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

Observa-se que a curva de geração de energia elétrica é simétrica e proporcional à geração de metano no aterro sanitário. Iniciando com uma potência próxima a 0,5 MW chegando ao máximo de 3,69 MW, no fechamento do aterro, e decaindo exponencialmente com o passar dos anos. Porém, para a análise do investimento deve-se definir um valor constante de geração de energia elétrica por um intervalo de tempo determinado. Nesse caso, definiu-se o valor de 2 MW para a geração de energia elétrica entre 2006 a 2016, pois a menor capacidade de produção de eletricidade do período acontecerá em 2016, que é de 2,24 MW.

Avaliação Ambiental

Fase 1 - Diagnóstico estratégico preliminar

O diagnóstico estratégico preliminar visou a levantar as questões macro envolvendo a implantação do aterro sanitário, tais como: a) planejamento estratégico, no qual foram determinadas a missão, a visão e a estratégia organizacional, entre outras; b) os roteiros e volumes de produção dos principais produtos; c) os dados contábeis e econômicos não foram focados no presente trabalho apesar de disponibilizados; d) os quantitativos de matérias-primas, insumos e sub-produtos utilizados (inputs) e rejeitos produzidos (outputs) foram obtidos e; e) os locais de deposição dos rejeitos produzidos (pós-tratamento).

Fase 2 - Mapeamento dos processos e atividades

a) Etapa 1 - Mapeamento dos macroprocessos

Os macroprocessos empresariais referem-se aos diferentes focos de atuação de cada área, para o estudo em questão é focado o setor produtivo, administrativo e de serviço.

O trabalho partiu da geração do resíduo sólido urbano, RSU, até a produção da energia elétrica, detalhando cada processo produtivo com suas respectivas peculiaridades, conforme demonstra a figura 2.

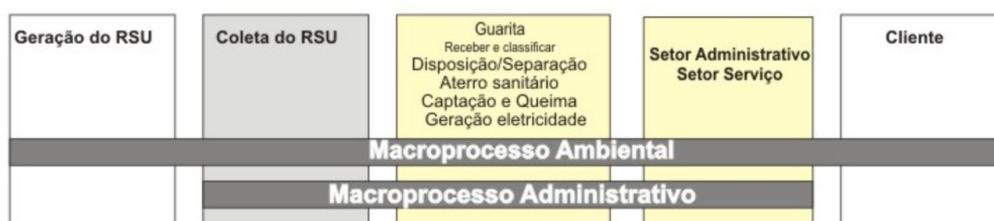


Figura 2. Mapeamento dos macroprocessos do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

a) Etapa 2 - Mapeamento dos processos e atividades empresariais

A partir do mapeamento dos macroprocessos, foi elaborado o detalhamento do processo produtivo, com base no Questionário de Pré-Análise (QPA) para traçar o panorama ambiental.

Após a análise do QPA, foi elaborado o fluxograma do macroprocesso ambiental, o qual, para facilitar a compreensão, foi dividido por cores sendo: amarela o processo produtivo e administrativo e em verde os processos exclusivamente ambientais. Como demonstra a figura 3, que ainda expressa, em cada microprocesso, os impactos ambientais envolvidos.

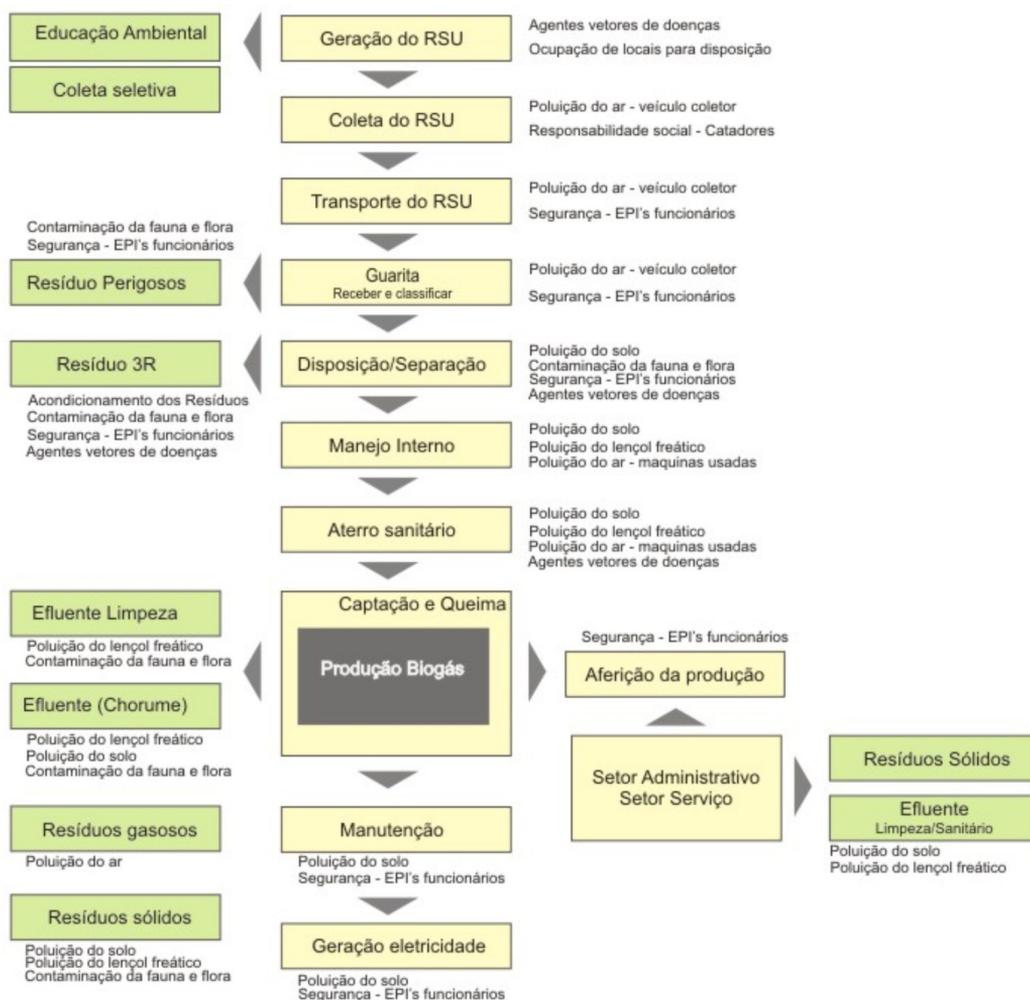


Figura 3. Fluxograma do macroprocesso ambiental.

a) Etapa 3 - Consolidação dos processos mapeados

A consolidação dos processos mapeados trata de duas questões. Primeira é o detalhamento das atividades em cada microprocesso, deixando claro o objetivo de cada etapa do processo produtivo e administrativo. A segunda questão trata do número de operações envolvidas no sistema, objetivando apresentar quantitativamente o processo ambiental.

Os dados levantados nessa etapa estão dispostos na Tabela 3 a seguir, a qual apresenta 22 operações, sendo 10 exclusivamente ambientais e 12 operações do setor produtivo, administrativo e serviço.

Fase 3 - Identificação dos aspectos e impactos ambientais

As informações que servem de suporte para a aplicação das metodologias pré-definidas são embasadas pelos dados obtidos através do Questionário de Pré-Análise (QPA). O método aplicado MECAIA, foi dividido da seguinte forma:

a) Etapa 1 - Determinação dos aspectos ambientais

A identificação dos pontos de origem e disposição dos rejeitos oriundos das atividades empresariais e a identificação dos impactos ambientais. Conforme será apresentado na etapa final onde é aplicado o PDCA.

b) Etapa 2 - Determinação dos impactos ambientais

Essa etapa teve por finalidade identificar quais as etapas do processo apresentavam potencial de impacto sobre o meio ambiente e seu alcance, conforme a Tabela 3. Os impactos neste trabalho foram enfocados como positivos e negativos.

Tabela 3 – Determinação dos impactos ambientais do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

Processo	Nº	Atividades	Impactos ambientais
Geração do RSU	01	Geração de diferentes resíduos e origens.	Agentes vetores de doenças
Educação Ambiental	02	Implantação para reduzir a quantidade de RSU	Ocupação de locais para disposição
Coleta Seletiva	03	Implantação para reduzir a quantidade de RSU	Diminuição na quantidade de RSU
Coleta do RSU	04	Coletar os resíduos produzidos	Melhora do Processo Produtivo
Transporte do RSU	05	Transportar os resíduos coletados	Diminuição na quantidade de RSU
Guarita	06	Receber e classificar	Poluição do ar – veículo coletor
Resíduos perigosos	07	Não recebimento, destinação correta.	Responsabilidade social- catadores
Disposição/Separação	08	Separação do material recebido	Poluição do ar - veículo coletor
Resíduo 3R	09	Reduzir, Reutilizar e Reciclar os resíduos.	Segurança – EPI's Funcionários
			Poluição do ar - veículo coletor
			Segurança – EPI's funcionários
			Contaminação da fauna e flora
			Poluição do solo
			Segurança – EPI's funcionários
			Poluição do solo
			Contaminação fauna e flora
			Segurança EPI's funcionários
			Agentes vetores de doenças
			Contaminação fauna e flora
			Segurança EPI's funcionários

continuação

Processo	Nº	Atividades	Impactos ambientais
Manejo Interno	10	Condução do material para local apropriado	Poluição do ar – maquinário Contaminação fauna e flora Poluição do solo
Aterro sanitário	11	Disposição conforme questões técnicas	Poluição do ar – maquinário Contaminação fauna e flora Poluição do solo Poluição do lençol freático
Captação e queima	12	Captação e queima do biogás	Efluentes limpeza Efluentes chorume Emissões de gases Resíduos sólidos
Emissões de gases	13	Produzidos pela queima	Poluição do ar
Efluente limpeza	14	Condução e tratamento do efluente gerado	Poluição do lençol freático Contaminação da fauna e flora
Efluente (chorume)	15	Condução e tratamento em lagoa de decantação	Poluição do lençol freático Contaminação da fauna e flora Poluição do solo
Resíduos sólidos	16	Resultado da queima, disposição no aterro	Poluição do solo Poluição do lençol freático Contaminação da fauna e flora
Aferição da produção	17	Verificação da produtividade e funcionamento Gerenciar todo o processo	Segurança – EPI's funcionários
Setor Administrativo Setor Serviço	18	Funcionários recepção, vestiários, refeitório, demais dependências	Resíduos sólidos Efluentes limpeza e sanitários
Resíduos sólidos	19	Destinação 3R, resíduos setor administrativo	Poluição do solo
Efluentes limp/sanit.	20	Condução e tratamento do efluente gerado	Poluição do solo Poluição do lençol freático
Manutenção	21	Manutenção de maquinário de todo o processo	Poluição do solo Segurança – EPI's funcionários
Geração eletricidade	22	Geração da energia elétrica	Poluição do solo Segurança – EPI's funcionários

A tabela 3 trata de cada atividade, os impactos gerados, dentre os impactos levantados é citado alguns classificados como positivos: diminuição na quantidade de RSU; melhora do processo produtivo; diminuição na quantidade de RSU; responsabilidade social – catadores; segurança – EPI's funcionários.

Por outro lado, os mais significativos quantitativamente são os impactos negativos, entre todos podemos destacar os mais citados: agentes vetores de doenças, ocupação de locais para disposição; poluição do ar; contaminação da fauna e flora; poluição do solo; efluentes limpeza; efluentes chorume; emissões de gases; resíduos sólidos.

Fase 4 – Análise

Essa etapa foi relacionada às operações dos processos ambientais e seus principais impactos ambientais. Cada atividade foi classificada segundo o estado em que abrange, por exemplo, atividade de agentes vetores de doenças (roedores, insetos) foi classificada como estado social. Outro exemplo, poluição do ar pelo veículo coletor é classificado como emissões.

O destino caracteriza deposição no meio ambiente onde ocorre o impacto. Os exemplos citados anteriormente seriam respectivamente sociedade e atmosfera. O meio ambiente diretamente impactado trata diretamente do meio que sofrerá o impacto, é determinante para especificar o tipo de mitigação a ser aplicada.

A origem do processo produtivo apresenta a procedência do impacto ambiental, podendo nesse caso ser: matéria-prima, transporte, mão-de-obra, maquinário, resíduos, processo produtivo e efluentes. A tabela 4 apresenta a totalidade dos dados.

Tabela 4 – Dados do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

Processo	Nº	Atividades	Classificação Estado	Destino	Meio diret. impactado	Classif.	Origem processo produtivo
Geração do RSU	01	Agentes vetores de doenças	Social	Sociedade	Cidade	negativo	Matéria-prima
		Ocupação de locais para disposição	Social	Sociedade	Cidade	negativo	Matéria-prima
Educação Ambiental	02	Diminuição na quantidade de RSU	Social	Sociedade	Cidade	Positivo	Matéria-prima
Coleta Seletiva	03	Melhora do Processo Produtivo	Social	Sociedade	Cidade	Positivo	Matéria-prima
		Diminuição na quantidade de RSU	Social	Sociedade	Cidade	Positivo	Matéria-prima
Coleta do RSU	04	Poluição do ar – veículo coletor	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Transporte
		Responsabilidade social - catadores	Social	Sociedade	Cidade	Positivo	Matéria-prima
Transporte do RSU	05	Poluição do ar - veículo coletor	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Transporte
		Segurança – EPI's Funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra

continuação

Processo	Nº	Atividades	Classificação Estado	Destino	Meio diret. impactado	Classif.	Origem processo produtivo
Guarita	06	Poluição do ar - veículo coletor	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Transporte
		Segurança – EPI's funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra
Resíduos perigosos	07	Contaminação da fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Matéria-prima
		Poluição do solo	Emissão, resíduo e efluente.	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Segurança – EPI's funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra
Disposição/Se paração	08	Poluição do solo	Emissão, resíduo e efluente.	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Contaminação fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Matéria-prima
		Segurança EPI's funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra
		Agentes vetores de doenças	Social	Sociedade	Cidade	negativo	Matéria-prima
Resíduo 3R	09	Contaminação fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Resíduo
		Segurança - EPI's funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra
Manejo Interno	10	Poluição do ar – maquinário	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Maquinário
		Contaminação fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Resíduos
		Poluição do solo	Emissão, resíduo e efluente.	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
Aterro sanitário	11	Poluição do ar – maquinário	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Maquinário
		Contaminação fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Resíduo
		Poluição do solo	Emissão, resíduo e efluente.	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Poluição do lençol freático	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
Captção e queima	12	Efluentes limpeza	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Processo produtivo
		Efluentes chorume	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Processo produtivo
		Emissões de gases	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Processo produtivo
		Resíduos sólidos	Resíduo	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo

continuação

Processo	Nº	Atividades	Classificação Estado	Destino	Meio diret. impactado	Classif.	Origem processo produtivo
Emissões de gases	13	Poluição do ar	Emissão	Atmosfera	Ar	negativo	Processo produtivo
Efluente limpeza	14	Poluição do lençol freático	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Contaminação da fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Resíduo
Efluente (chorume)	15	Poluição do lençol freático	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Efluente
		Contaminação da fauna e flora	Emissão, resíduo e efluente.	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Efluente
		Poluição do solo	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Efluente
Resíduos sólidos	16	Poluição do solo	Resíduo	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Poluição do lençol freático	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Contaminação da fauna e flora	Resíduo	Atmosfera	Ar, solo e água.	negativo	Resíduo
Aferição da produção	17	Segurança – EPI's funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra
Setor Administrativo Setor Serviço	18	Resíduos sólidos	Resíduo	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Efluentes limpeza e sanitários	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
Resíduos sólidos	19	Poluição do solo	Resíduo	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
Efluentes limp/sanit.	20	Poluição do solo	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Efluente
		Poluição do lençol freático	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Efluente
Manutenção	21	Poluição do solo	Efluente e Resíduo	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Segurança – EPI's funcionário	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra
Geração eletricidade	22	Poluição do solo	Efluente	Aterro sanitário	Solo	negativo	Resíduo
		Segurança – EPI's funcionários	Social	Sociedade	Indústria	Positivo	Mão-de-obra

Fase 5 - Pós-análise

Nessa fase cada etapa do processo produtivo é classificada segundo: estado físico (resíduo, efluente ou emissão), destino (aterro industrial, estação de tratamento de efluente ou atmosfera), o meio diretamente impactado por ele (solo, água ou ar) e a origem do processo produtivo (matéria-prima, insumo, produto intermediário ou limpeza de maquinário). Podemos observar segundo a Tabela 4 do item anterior, como o mapeamento do Aterro Sanitário está contextualizado.

O plano de ação foi utilizado para visualizar a adequação do Aterro Santa Tecla aos impactos ambientais causados pela extração do biogás. A Tabela 5 relaciona cada etapa e seus impactos ambientais.

Tabela 5 – Dados do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

Processo	Nº	O quê?	Quando?	Onde?	Por quê?	Quem?	Como?
Geração do RSU	01	Agentes vetores de doenças	Sempre	Campanha junto à comunidade	Amenizar este problema	Município Empresa	Educação ambiental
		Ocupação de locais para disposição	Sempre	Otimização do aterro	Não utilização de outras áreas	Município Empresa	Racionalização do trabalho
Educação Ambiental	02	Diminuição na quantidade de RSU	Sempre	Campanha junto à comunidade	Amenizar este problema	Município Empresa	Campanhas
Coleta Seletiva	03	Melhora do Processo Produtivo	Sempre	Campanha junto à comunidade	Amenizar este problema	Município Empresa	Educação ambiental
		Diminuição na quantidade de RSU	Sempre	Campanha junto à comunidade	Amenizar este problema	Município Empresa	Educação ambiental
Coleta do RSU	04	Poluição do ar – veículo coletor	Sempre	Manutenção da frota	Diminuir emissão CO2	Empresa Coletora	Através de vistorias nos veículos
		Responsabilidade social - catadores	Sempre	Nas comunidades de catadores	Funcionários motivados	Empresa Coletora	Através de treinamentos e ações sociais
Transporte do RSU	05	Poluição do ar - veículo coletor	Sempre	Manutenção da frota	Diminuir emissão CO2	Empresa Coletora	Através de vistorias nos veículos
		Segurança – EPI's Funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso
Guarita	06	Poluição do ar - veículo coletor	Sempre	Frota de veículos	Diminuir emissão CO2	Empresa Coletora	Através de vistorias nos veículos
		Segurança – EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso
Resíduos perigosos	07	Contaminação da fauna e flora	Chega de matéria-prima	Recebimento	Devolução	Guarita	Fiscalização
		Poluição do solo	Chega de matéria-prima	Recebimento	Devolução	Guarita	Fiscalização
		Segurança – EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso

continuação

Processo	Nº	O quê?	Quando?	Onde?	Por quê?	Quem?	Como?
Disposição/ Separação	08	Poluição do solo	Sempre	Separação em pilhas homogêneas	Diminuir a poluição	Indústria geradora	Através de treinamento
		Contaminação fauna e flora	Sempre	Nas pilhas de RSU	Evitar acúmulo de animais	Indústria geradora	Cobrimento com terra
		Segurança EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso
		Agentes vetores de doenças	Sempre	Campanha junto à comunidade	Evitar doenças	Município Empresa	Cobrimento com terra
Resíduo 3R	09	Contaminação flora e fauna	Sempre	Nas pilhas de RSU	Evitar acúmulo de animais	Indústria geradora	Cobrimento com terra
		Segurança - EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso
Manejo Interno	10	Poluição do ar – maquinário	Sempre	Manutenção da frota	Diminuir emissão CO2	Empresa Coletora	Através de vistorias nos veículos
		Contaminação fauna e flora	Sempre	Nas pilhas de RSU	Evitar acúmulo de animais	Indústria geradora	Cobrimento com terra
		Poluição do solo	Sempre	Diminuir a utilização do maquinário	Diminuir a emissão de CO2	Indústria geradora	Racionalização do trabalho
Aterro sanitário	11	Poluição do ar – maquinário	Sempre	Manutenção da frota	Diminuir emissão CO2	Empresa Coletora	Através de vistorias nos veículos
		Contaminação fauna e flora	Sempre	Nas pilhas de RSU	Evitar acúmulo de animais	Indústria geradora	Cobrimento com terra
		Poluição do solo	Sempre	Separação em pilhas homogêneas	Diminuir a poluição	Indústria geradora	Através de treinamento
		Poluição do lençol freático	Sempre	Pilhas com material contaminante serão separadas	Evitar infiltração no solo	Indústria geradora	Através de geomembranas
Captação e queima	12	Efluentes limpeza	Sempre	Tratamento	Filtrar e conduzir a rede de coleta	Indústria geradora	Filtro e Fossa
		Efluentes chorume	Sempre	Pilhas com material contaminante serão separadas	Evitar infiltração no solo	Indústria geradora	Através de geomembranas
		Emissões de gases	Sempre	Filtro na Chaminé	Diminuir emissão de gases	Indústria geradora	Troca dos filtros em períodos predeterminados
		Resíduos sólidos	Resíduo	Aterro sanitário	Solo		Resíduo

continuação

Processo	Nº	O quê?	Quando?	Onde?	Por quê?	Quem?	Como?
Emissões de gases	13	Poluição do ar	Sempre	Filtro na Chaminé	Diminuir emissão de gases	Indústria geradora	Troca dos filtros em períodos predeterminados
Efluente limpeza	14	Poluição do lençol freático	Sempre	Tratamento	Filtrar e conduzir a rede de coleta	Indústria geradora	Filtro e Fossa
		Contaminação da fauna e flora	Sempre	Tratamento	Filtrar e conduzir a rede de coleta	Indústria geradora	Filtro e Fossa
Efluente (chorume)	15	Poluição do lençol freático	Sempre	Pilhas com material contaminante serão separadas	Evitar infiltração no solo	Indústria geradora	Através de geomembranas
		Contaminação da fauna e flora	Sempre	Lagoa de decantação	Evitar acúmulo de animais	Indústria geradora	Manter aeração
		Poluição do solo	Sempre	Lagoa de decantação	Evitar infiltração	Indústria geradora	Através de geomembranas
Resíduos sólidos	16	Poluição do solo	mensal	Depósito de cinzas	Evitar contaminação	Indústria geradora	Disposição no aterro sanitário
		Poluição do lençol freático	Sempre	Depósito de cinzas	Evitar contaminação	Indústria geradora	Disposição no aterro sanitário
		Contaminação da fauna e flora	Sempre	Depósito de cinzas	Evitar contaminação	Indústria geradora	Disposição no aterro sanitário
Aferição da produção	17	Segurança – EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso
Sector Administrativo Sector Serviço	18	Resíduos sólidos	Depende da quantidade	Reciclagem	Reaproveitar	Indústria geradora	Reciclar resíduos setor administrativo
		Efluentes limpeza e sanitários	Sempre	Tratamento	Filtrar e conduzir a rede de coleta	Indústria geradora	Filtro e Fossa
Resíduos sólidos	19	Poluição do solo	Depende da quantidade	Reciclagem	Reaproveitar	Indústria geradora	Reciclar resíduos setor administrativo
Efluentes limp/sanit.	20	Poluição do solo	Sempre	Tratamento	Filtrar e conduzir a rede de coleta	Indústria geradora	Filtro e Fossa
		Poluição do lençol freático	Sempre	Tratamento	Filtrar e conduzir a rede de coleta	Indústria geradora	Filtro e Fossa
Manutenção	21	Poluição do solo	Depende da quantidade	Em cada tarefa	Coleta empresa específica	Indústria geradora	Materiais diferenciados como: peças, óleos, etc.
		Segurança – EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso
Geração eletricidade	22	Poluição do solo	Depende da quantidade	Em cada tarefa	Coleta empresa específica	Indústria geradora	Materiais diferenciados como: peças, óleos, etc.
		Segurança – EPI's funcionários	Sempre	Junto a funcionários	Proteção dos funcionários	Empresa	Entregando equipamento e conferindo uso

As questões relacionadas à poluição do solo, ao lençol freático e à flora e fauna são discriminados em várias etapas, sendo itens de importante prevenção e de responsabilidade da empresa geradora.

Cabe salientar no item “quando?”, a resposta “sempre” foi utilizada constantemente, pela característica do objeto de estudo, por se tratar de um aterro sanitário, o qual recebe grande quantidade de RSU diariamente, conseqüentemente, tendo que o processar neste mesmo ritmo.

Outra questão importante é que praticamente todos os impactos ambientais gerados são tratados ou resolvidos pela “indústria geradora”, significando processo de produção cíclico, em que não é necessário relocação ou transporte de materiais, diminuindo assim o risco de incidentes ambientais. Os resíduos, ao serem recepcionados na guarita, são avaliados, sendo constatada carga com resíduos perigosos, a carga é devolvida e encaminhada para destinação correta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais impactos ambientais acontecem no solo, provenientes da disposição, separação e manuseio dos resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que podem ser evitados utilizando-se geomembranas, sendo um procedimento normal atualmente.

Os impactos mais nocivos ao meio ambiente são gerados pelos resíduos e efluentes. Cabendo atenção as emissões especialmente a etapa de queima do biogás.

Do ponto de vista da matriz energética, é estratégica a diversificação de fontes geradoras de energia, sendo o biogás uma fonte alternativa, renovável, disponível, próxima aos centros consumidores de energia elétrica e até o presente, com apenas 6% do potencial utilizado.

Do ponto de vista econômico, a venda dos créditos de carbono ao mercado internacional contribui para o superávit da balança comercial. Porém, as altas taxas de juros praticadas no Brasil, diminuem a atratividade para investimentos desta natureza podem afastar os investidores que optam por aplicar no mercado financeiro. Cabe o desafio de fomentar a utilização do potencial do biogás de aterros sanitários para a geração de energia elétrica gerando benefícios ambientais e econômicos.

Com a aplicação do método MECAIA, foi possível identificar o mapeamento do macroprocesso ambiental e administrativo do Aterro Sanitário Santa Tecla. A partir do mapeamento, elaborou-se o detalhamento do processo produtivo da geração de energia elétrica, baseado no QPA, resultando no fluxograma do macroprocesso

ambiental, o qual permitiu a apresentação de operações ambientais e dos setores do macroprocesso administrativo, bem como o levantamento dos impactos ambientais relacionados aos processos.

Nas operações, constatou-se que em sua maioria são resíduos e efluentes, salientando-se que as atividades principais dentro desses processos são: a condução ao tratamento de efluentes e a destinação dos resíduos sólidos para 3R (reduzir, reutilizar e reciclar).

Diante da classificação dos impactos gerados pelos processos, em sua maioria são negativos, dentre os mais citados: agentes vetores de doenças, ocupação de locais para disposição; poluição do ar; contaminação da fauna e flora; poluição do solo; chorume; emissões de gases; resíduos sólidos.

Por outro lado, os impactos positivos são: diminuição na quantidade de RSU; melhora do processo produtivo; diminuição na quantidade de RSU; responsabilidade social com foco nas condições de trabalho dos catadores; segurança dos funcionários com a utilização de EPI's.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, F. G.; SILVA, P. R. S. da. 2006. MACAPI – metodologia para avaliação de impactos e Custos ambientais em processos industriais: Estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2(3):212-222.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. 2008. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: março de 2008.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: março de 2008.
- DMLU - Departamento Municipal de Limpeza Urbana. 2005. **Informações técnicas**. Porto Alegre: DMLU, 67 p.
- ENSINAS, A. V. 2003. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 143p.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. K. 2003. **Energia e Meio Ambiente**. 3. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 540 p.
- KRAEMER, T. H. 2002. **Modelo econômico de controle e avaliação de impactos ambientais – MECAIA**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 191p.

MIGUEL, K. G. **Proinfa incentiva fontes alternativas de energia**. Disponível em: <<http://www.conciencia.br>>. Acesso em: 27 dez. 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). 1991. **Air emissions from municipal solid waste landfills – background information for proposed standards and guidelines**. Emission Standards Division.