

## CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS E GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO PRIVADO.

### Vinícius Pedreira Coimbra

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus Experimental de Sorocaba

### Gerson Araujo de Medeiros

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus Experimental de Sorocaba, Professor, Doutor em Engenharia de Água e Solo.

### Sandro Donnini Mancini

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus Experimental de Sorocaba

### André Henrique Rosa

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus Experimental de Sorocaba

### Thaís do Amaral

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus Experimental de Sorocaba

**Email do Autor Principal:** (gerson@sorocaba.unesp.br)

### RESUMO

A disposição de resíduos sólidos em áreas de aterro sanitário tem se incrementado ao longo das últimas décadas pelo crescimento populacional e pelo maior controle dos órgãos ambientais, que tem reprimido os chamados lixões. Esses aterros sanitários têm buscado novas formas de arrecadação de recursos, tendo se destacado, recentemente, a exploração do biogás para a produção de energia e venda de créditos de carbono. O trabalho tem como objetivo analisar a geração de biogás em um aterro sanitário, localizado no estado de São Paulo, para fins de implantação de um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O aterro sanitário estudado recebe resíduos domiciliares de seis municípios: Sorocaba, Iperó, Águas de Santa Bárbara, Sarapuí, Alambari e Boituva, e também resíduos industriais não-perigosos de centenas de indústrias do município de Sorocaba e de cidades da região. Para a determinação da geração de biogás fez-se uma caracterização dos resíduos sólidos do aterro sanitário. Posteriormente à caracterização, foi realizada uma simulação da geração do biogás de acordo com a vida útil do aterro, baseado em metodologia preconizada pelas Nações Unidas, para uma estimativa do quanto deixará de ser emitido para a atmosfera após a construção de uma usina termelétrica no aterro. Realizou-se, ainda, uma medição do biogás gerado no aterro no período de dezembro de 2011 a maio de 2012. Os resultados demonstram a alta variabilidade da geração atual de gases de efeito estufa ao longo do período estudado, pois parte das células monitoradas apresentavam quantidades e idades de resíduos variadas, devido ao pouco tempo de operação do aterro. A modelagem matemática utilizada demonstrou os ganhos ambientais com o aproveitamento de biogás para a produção de energia. O aterro gerará 4.558.125 toneladas de biogás (t CO<sub>2</sub>e), sendo que serão coletadas 3.353.070 toneladas, e devido aos fatores considerados na metodologia, chegou-se ao número de 2.619.193 toneladas de CO<sub>2</sub>e certificadas como créditos de carbono.

**PALAVRAS-CHAVE:** gestão ambiental; gestão de resíduos; energia.

### INTRODUÇÃO

A geração do lixo nos centros urbanos é um dos principais reflexos do crescimento populacional associado às mudanças dos hábitos de consumo da população.

Segundo Jucá (2003), o aumento da quantidade de resíduos se acentua em meados da década de 1990, quando houve uma redução dos índices inflacionários e aumento de consumo por parte da população. Caso a logística da coleta, transporte e destinação final desses resíduos não for corretamente gerenciada, o impacto ambiental e social causado será grande.

A produção de resíduos sólidos está relacionada ao desenvolvimento da região, sendo uma relação diretamente proporcional, já que quanto maior o poder aquisitivo da população, maior será o volume de resíduos produzidos. Além disso, o nível sócio econômico da população também influencia nas características físicas e químicas dos resíduos, além do perfil da atividade econômica. Em regiões com desenvolvimento agrícola geram-se resíduos diferentes daqueles de polos tipicamente industriais.

O lixão (ou vazadouro) é o local em que os resíduos sólidos urbanos, de todas as origens e naturezas, são simplesmente lançados, sem qualquer tipo ou modalidade de controle sobre os resíduos ou sobre seus efluentes; o aterro controlado difere dos lixões pela adoção de modalidades objetivas de controle periódicas sobre o maciço de resíduos ou seus efluentes, como o recobrimento diário. Já o aterro sanitário é uma instalação de destinação final dos resíduos sólidos urbanos sob controle técnico e operacional permanente, de modo que nem os resíduos, nem seus efluentes líquidos e gasosos, venham a causar danos à saúde pública ou ao meio ambiente.

Além da disposição nos aterros sanitários têm sido exploradas outras fontes de geração de recursos financeiros como a produção de energia a partir do biogás gerado e a venda de créditos no mercado de carbono, no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O MDL é um mecanismo de flexibilização que incentiva o financiamento de projetos em países subdesenvolvidos, com o objetivo de auxiliar os países industrializados do Anexo B a cumprir a meta de redução estipulada no Protocolo de Kyoto. O Brasil está classificado como um país credor, ou seja, país que deve receber dinheiro por projetos de MDL desenvolvidos em território nacional.

Vale destacar que essa ação contribui para a criação de projetos de desenvolvimento sustentável nos países subdesenvolvidos, pelo fato de o investimento nas tecnologias limpas ser menos custoso nesses países. Nesse aspecto se insere o Brasil, o qual vem recebendo recursos com a venda de créditos de carbono. Um crédito de carbono é baseado na redução de emissão de uma tonelada de dióxido de carbono. O dióxido de carbono é a base de cálculo de emissões de gases de efeito estufa (GEEs).

Um exemplo de projeto de MDL é o aterro sanitário Bandeirantes, o qual produz energia a partir do aproveitamento gás metano gerado pela decomposição do lixo. Esse aterro tem capacidade instalada de 22 MW, o suficiente para abastecer 160 mil casas. Outro caso é o aterro São João, também localizado na cidade de São Paulo – SP, o qual possui capacidade de geração de 24,8 MW, suficiente para abastecer 198,4 mil casas (LOBATO, 2008).

Esses créditos de carbono podem ser usados pelo banco tanto para cumprir eventuais metas de redução de emissão de gases de efeito estufa como para vender no mercado internacional, principalmente o europeu (SALANI, 2007).

Empregando-se estudos e modelos matemáticos estima-se as quantidades de metano que se transformarão em dióxido de carbono com a queima, e assim se estipula a quantidade de RCEs (reduções certificadas de emissão) de gases.

Uma outra vantagem da implantação de estações de tratamento de biogás em aterros sanitários, além da redução da emissão de metano para a atmosfera e prover recursos ao país, é a geração de energia elétrica a partir da queima do biogás de aterro. Através das informações obtidas, com a caracterização dos resíduos, além do conhecimento dos respectivos potenciais caloríficos, tem-se uma noção da energia elétrica a ser gerada.

No portal do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2012), dos 283 projetos de MDL aprovados, cerca de 33 ou 11,7% do total, referem-se ao aproveitamento de biogás produzido em aterros sanitários para a geração de energia.

Para a realização de estudos de viabilidade de geração de energia e potencialidade de arrecadação de recursos pela venda de créditos de carbono são necessários diagnósticos da composição dos resíduos sólidos recebidos, com relação a quantidade gerada e a sua qualidade.

Portanto, é de suma importância para os empreendedores de aterros sanitários conhecer melhor os resíduos recebidos no empreendimento, tendo assim uma noção da abrangência qualitativa e quantitativa desses. O nome desse processo de análise quali-quantitativa de resíduos é a caracterização.

Na região Metropolitana de Campinas, mais especificamente no aterro sanitário de Indaiatuba, próximo a Sorocaba, Mancini et al. (2007) avaliou que os resíduos sólidos urbanos desse município compõem-se, em sua maioria, de restos de alimento, os quais correspondem a 40% em massa do lixo gerado (54 toneladas/dia), seguido do lixo de jardim (18,5 toneladas/dia). Dos resíduos inertes, destacam-se os tecidos (8,2 toneladas/dia) e o entulho (5,0 toneladas/dia). As embalagens longa vida correspondem a 1,5 toneladas/dia ou 45 toneladas/mês. Vale destacar que os

autores estimaram que 90% do lixo depositado no aterro sanitário de Indaiatuba é reciclável. Esse é um tema de extrema relevância para a redução dos impactos provocados pela geração e disposição dos resíduos sólidos urbanos.

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a geração de biogás em aterro sanitário da região de Sorocaba, localizado no estado de São Paulo, para fins de implantação de um mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Esse trabalho foi realizado em um aterro sanitário localizado numa área de aproximadamente 60 ha. A área de disposição de resíduos ocupa 52% desse total, sendo os outros 48% destinados para a preservação ambiental. O aterro começou a operar em agosto de 2010, e tem vida útil estimada em 20 anos.

Atualmente, o aterro recebe 700 toneladas diárias de resíduos sólidos domiciliares, tendo licença de operação emitida pela CETESB (Agência Ambiental do Estado de São Paulo) para receber até 1000 toneladas diárias. O aterro está licenciado para o recebimento de resíduos não perigosos (Classes II A e II B).

A maior quantidade de resíduos recebidos pelo aterro provém do município de Sorocaba, variando de 500 a 550 toneladas por dia. Sorocaba é uma cidade de aproximadamente 584.000 habitantes segundo o Censo 2010, mantendo assim uma média de 0,85 kg/hab.dia de resíduos.

A economia de Sorocaba é baseada essencialmente na atividade industrial. É uma cidade que passa atualmente por grande desenvolvimento econômico, e está em fase de expansão, mostrando assim, da sua população crescente, um grande gerador de resíduos sólidos.

Inicialmente, foi feita a caracterização dos resíduos domiciliares que chegam ao aterro da seguinte forma:

- selecionou-se um caminhão da prefeitura de Sorocaba, já que a maioria dos resíduos dispostos no aterro são desse município, para a obtenção de uma amostra mais fiel, o qual despejou os resíduos domiciliares na frente de descarga;
- posteriormente, a máquina pá-carregadeira coletou uma quantidade de resíduos suficiente para encher quatro reservatórios de 200 litros de capacidade;
- através de sorteio, escolheu-se um dos quatro reservatórios para se fazer a caracterização;
- o reservatório escolhido foi levado para o balcão de caracterização de resíduos construído na área do aterro;
- despejou-se parte da amostra do reservatório no solo impermeabilizado com manta PEAD do balcão de caracterização;
- realizou-se então 4 quarteamentos para se obter uma amostra fiel dos resíduos.

A caracterização foi dividida em duas etapas: primeiramente foi realizada para os resíduos domiciliares, obtendo uma amostra do caminhão de cada cidade que destina seus resíduos domiciliares para o aterro, e posteriormente, caracterizou-se os resíduos industriais, obtendo uma amostra de cada caminhão.

Concomitantemente a caracterização dos resíduos e determinação de seu PCI, realizou-se o monitoramento do biogás gerado no aterro e analisou-se a sua constituição, por meio de um analisador portátil LANDTEC com uma periodicidade semanal. Colocou-se um cone colado a um tubo de PVC sobre o dreno de gás, com um furo no tubo de PVC. Nesse furo, colocou-se o sensor do aparelho a fim de obter as concentrações de metano, dióxido de carbono e oxigênio.

Após concluídos esses levantamentos, aplicou-se a metodologia ACM0001 denominada “Metodologia Consolidada Aprovada para queima ou uso de biogás de aterro”, a qual é aprovada pela ONU, para se estimar as gerações de biogás. Essa metodologia tem como objetivo o cálculo das reduções de emissões de metano em locais de disposição de resíduos, por meio da queima de gás de aterro e/ou utilização para gerar energia elétrica.

Para o cálculo das emissões, usou-se a equação:

$$ER_y = BE_y - PE_y \quad \text{equação (1)}$$

Em que  $ER_y$  são as reduções de emissões no ano  $y$  (t  $CO_2e$ );  $BE_y$  são as emissões da linha de base no ano  $y$  (t  $CO_2e$ );  $PE_y$  são as emissões do projeto no ano  $y$  (t  $CO_2e$ ).

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi_y \cdot (1 - f_y) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_{f,y} \cdot MCF_y \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j}) \quad \text{equação (2)}$$

Em que  $BE_{CH_4,SWDS,y}$  é a quantidade de metano no gás de aterro no cenário da linha de base no ano  $y$ . (t  $CO_2e$ );  $x$  é o ano no período de tempo em que houve disposição de resíduos no aterro, variando de 1 (primeiro ano da operação do aterro) a  $y$  (ano do período de crédito para o qual emissões de metano são calculadas, período consecutivo de 12 meses);  $\varphi_y$  é o fator de correção do modelo para contabilizar incertezas do modelo para o ano  $y$ ;  $GWP_{CH_4}$  é o potencial de aquecimento global do metano (unidade: t  $CO_2e/tCH_4$ );  $OX$  é o fator de oxidação do metano do aterro pelo solo ou outro material cobrindo os resíduos;  $F$  é a fração de metano no gás do aterro (fração do volume);  $DOC_{f,y}$  é a fração de carbono orgânico degradável nos resíduos tipo  $j$  (fração do peso);  $MCF_y$  é o fator de correção do metano para o ano  $y$ ;  $W_{j,x}$  é a quantidade de resíduos sólidos tipo  $j$  disposta ou impedida de ser disposta no aterro no ano  $x$  (toneladas);  $DOC_j$  fração de carbono orgânico degradável nos resíduos tipo  $j$  (fração do peso);  $k_j$  é a cinética de degradação dos resíduos tipo  $j$  (1/ano);  $j$  tipo de resíduos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de realizada a caracterização do resíduo recebido no aterro de Iperó, fez-se uma classificação em categorias seguindo-se o padrão utilizado pelo IPCC, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Constituição dos resíduos domiciliares e industriais do aterro sanitário da região de Sorocaba.**

Categorias	Resíduos Domiciliares (%)	Resíduos Industriais (%)
Madeira, produtos de madeira e palha	1,23	6,59
Celulose, papel e papelão	13,93	6,44
Alimentos, restos de alimentos, embalagens de bebidas e fumo	56,97	17,89
Têxteis	3,53	2,53
Poda e resíduos de varrição	0,00	22,26
Lodo	0,44	5,94
Recicláveis e Inertes	23,26	37,85
Borracha e couro	0,64	0,50
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Os resultados da Tabela 1 demonstram que a matéria orgânica predomina nos resíduos domiciliares, chegando a aproximadamente 57 %, se considerarmos os alimentos, restos de alimentos, embalagens de bebidas e fumo. Esse resultado está de acordo com o observado por Mancini et al. (2007), na cidade de Indaiatuba. Já nos resíduos sólidos industriais destacam-se os recicláveis e inertes, os quais atingem cerca de 38% do total disposto no aterro, seguido dos resíduos de poda e varrição, que correspondem a 22,3% do total.

A porcentagem de poda e resíduos de varrição (22,26%) corresponde aos resíduos domiciliares. Ela só está representada na coluna de resíduos industriais, já que quem coleta e dispõe esses resíduos para a prefeitura de Sorocaba no aterro são empresas terceirizadas desse município.

O lodo dos resíduos domiciliares corresponde aquele que o SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) de Sorocaba gera. As características do lodo dos resíduos industriais são muito heterogêneas.

Analisando os gráficos das emissões dos drenos de biogás, existe uma variação de concentração dos gases analisados já que alguns estão em locais distintos:

- Drenos de talude: dreno 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 17 e 21;

- Drenos no meio do maciço de resíduos: 9, 14 e 19.

As Figuras 1 a 15 mostram a variação de concentrações de biogás dos drenos possíveis de se medir com o analisador de gás.

O dreno 1 (Figura 1) está presente em talude de 1ª célula, com resíduo antigo, só que com uma quantidade pequena. Percebe-se, devido a isso, uma quantidade insignificante de biogás, já que as porcentagens de metano e dióxido de carbono são nulas na maioria das medições.

O dreno 2 (Figura 2) está em talude na 1ª célula com pouco resíduo, porém antigo, ou seja, a produção de biogás na região está ocorrendo, observando as concentrações entre 20% e 50% de metano e dióxido de carbono na maioria das leituras.

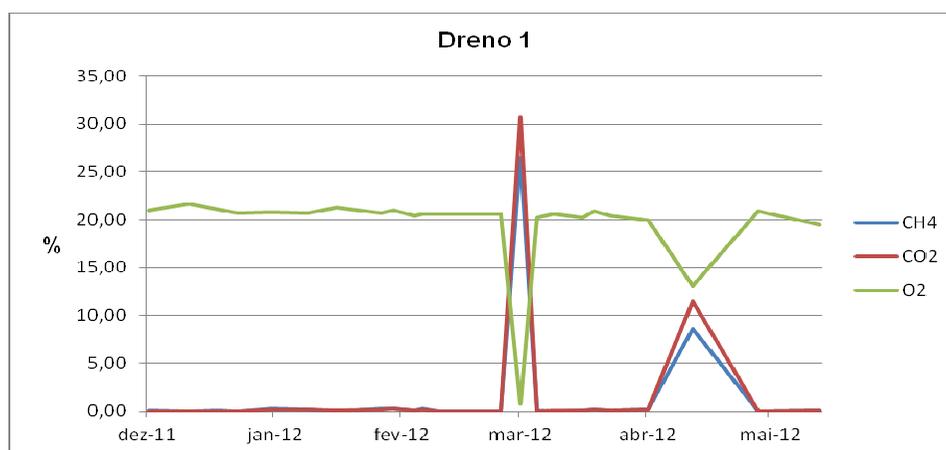


Figura 1. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 1, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

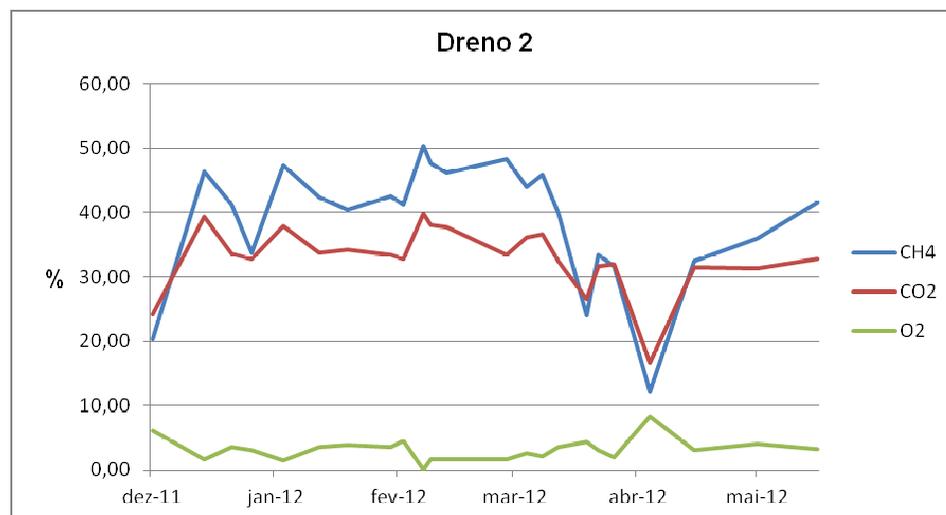


Figura 2. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 2, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

O dreno 3 (Figura 3) está presente no talude da 2ª célula, com resíduos de idades diferentes (resíduo antigo da 1ª célula e um pouco mais novo na 2ª célula). Pode-se visualizar uma queda acentuada na produção de biogás.



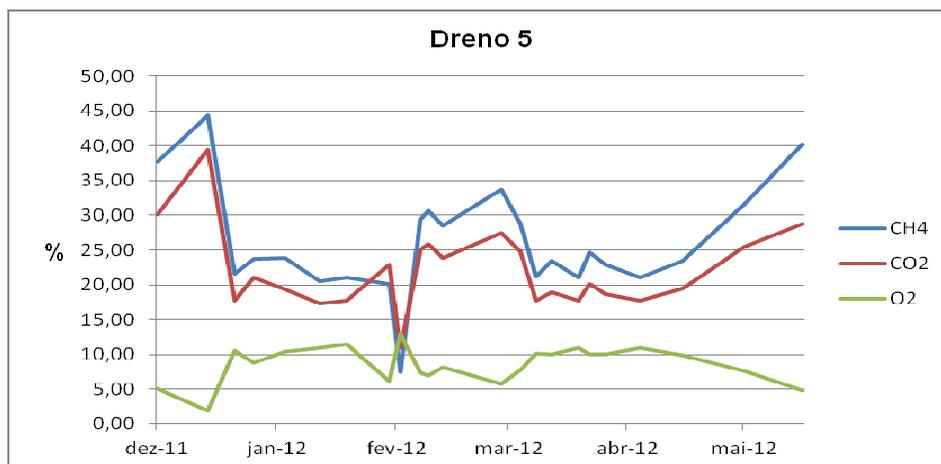


Figura 5. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 5, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

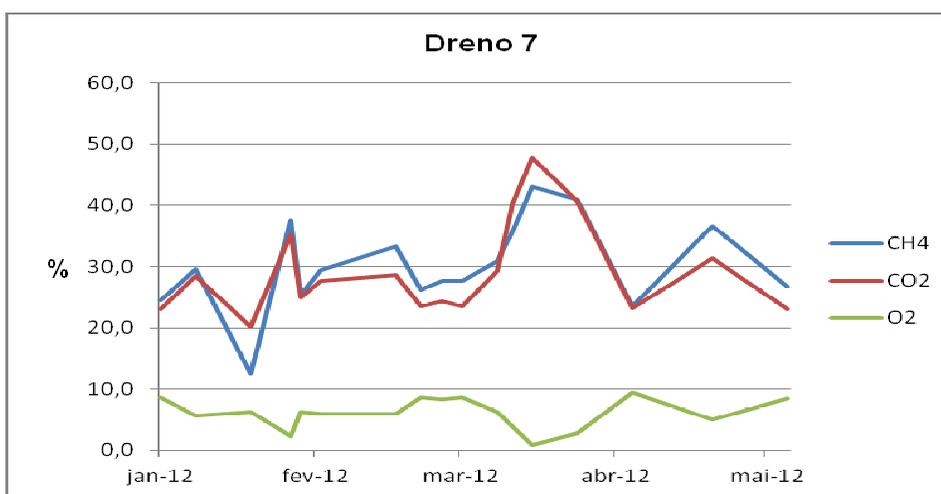


Figura 6. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 7, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

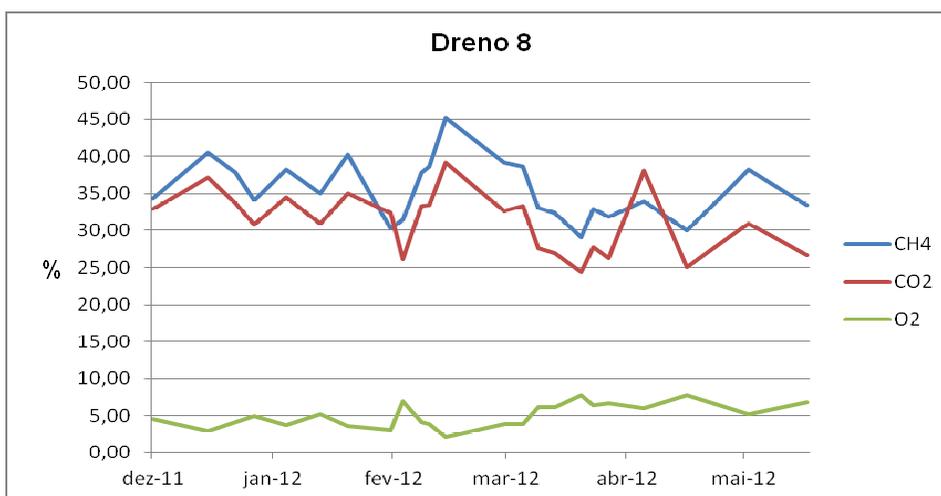


Figura 7. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 8, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

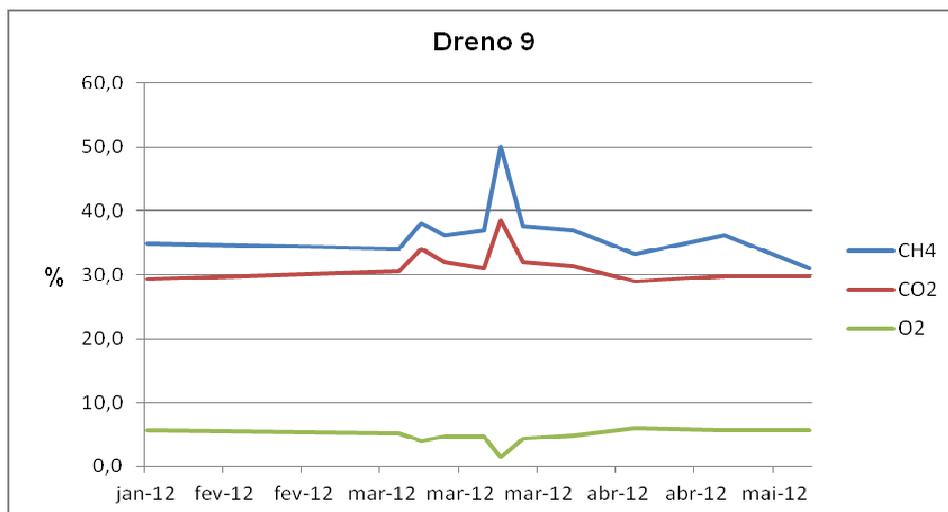


Figura 8. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 9, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

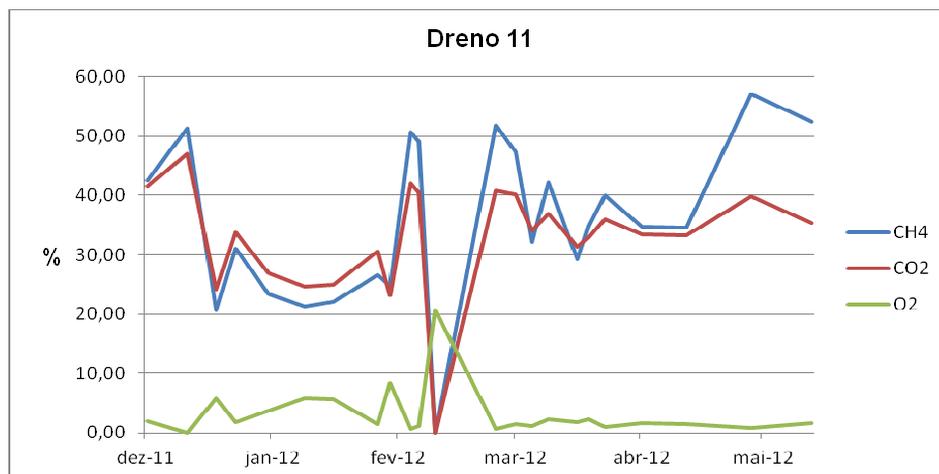


Figura 9. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 11, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

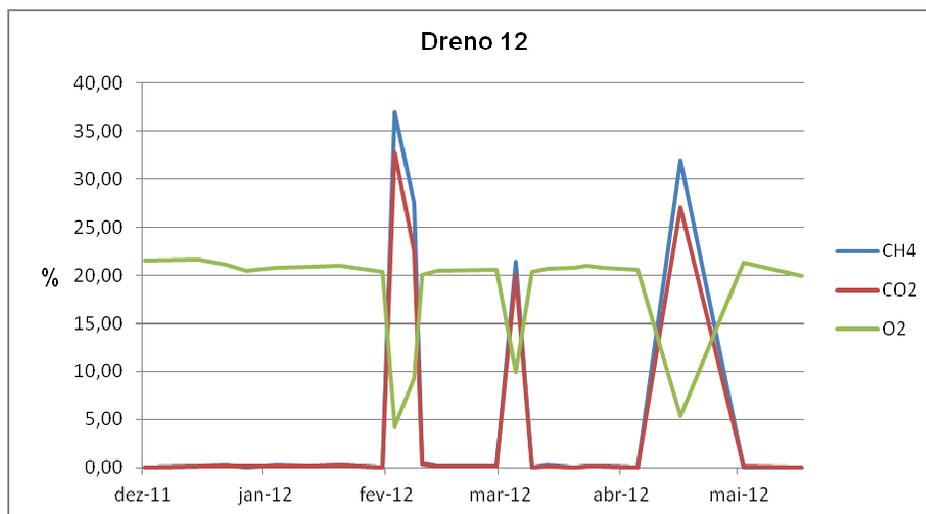


Figura 10. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 12, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.



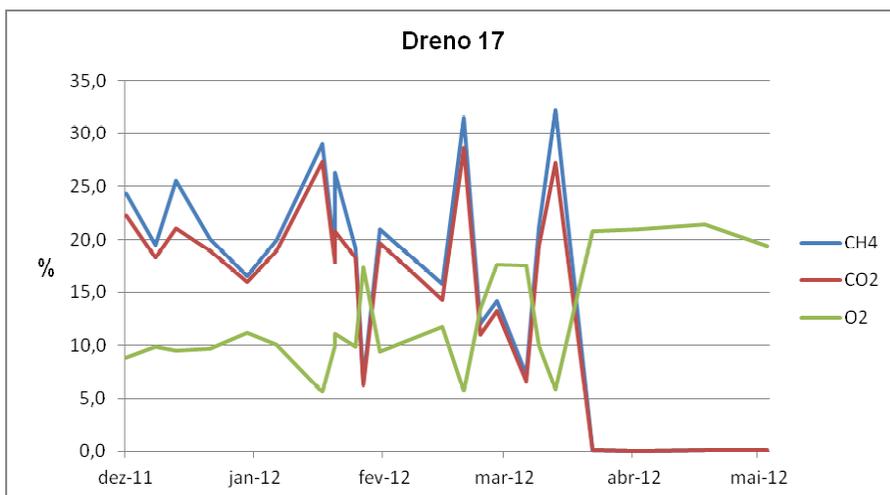


Figura 13. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 17, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

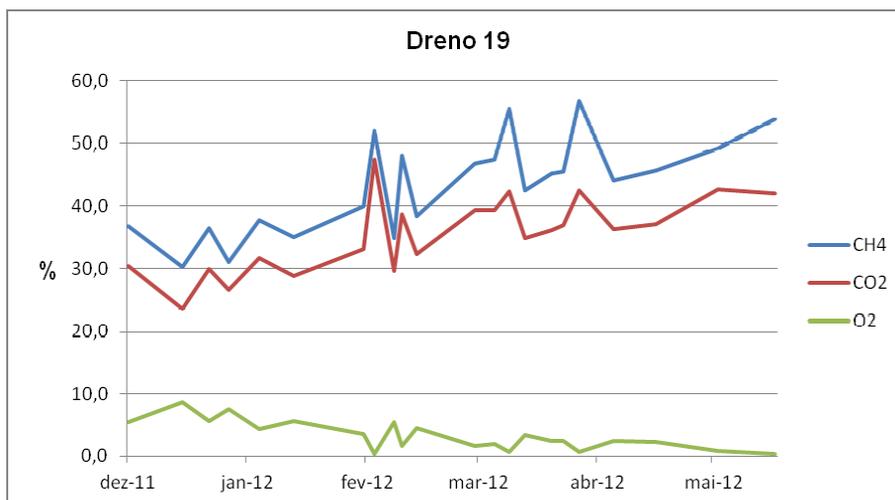


Figura 14. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 19, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

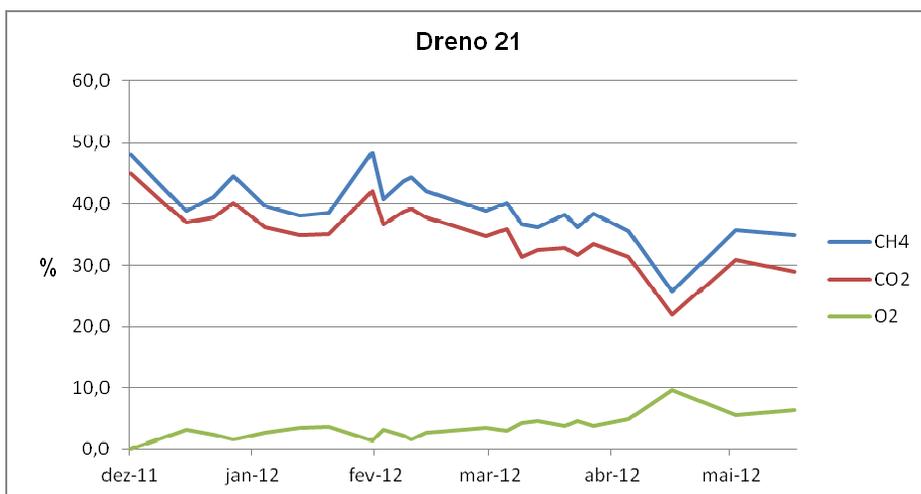


Figura 15. Gases gerados no aterro sanitário, referente ao dreno 21, no período de dezembro de 2011 a maio 2012.

Pode-se concluir que a produção e o fluxo de biogás no maciço de resíduos é inconstante, e pelo fato de haver a mistura de resíduos novos com antigos, fica difícil se estimar a produção de biogás em cada dreno, já que são diversos os fatores a serem considerados.

Observa-se uma relação diretamente proporcional das concentrações de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), e a relação inversamente proporcional desses com o oxigênio. A soma das porcentagens de metano, dióxido de carbono e oxigênio resultam na quase totalidade (100%) da composição do biogás.

Na avaliação da redução de emissões com a implantação do projeto, algumas definições devem ser introduzidas, como a linha de base que representa o cenário em que todas as emissões de biogás do aterro seriam produzidas com a ausência do projeto de MDL.

O metano gerado é a quantidade estimada de produção do biogás ao longo da vida útil do aterro. O metano coletado é a quantidade de metano a ser retirado pela estação para tratamento (queima e geração de energia elétrica).

Nesse contexto, as emissões de metano do aterro sanitário, sem a implantação do MDL, alcançarão 4.558.125 t  $\text{CO}_2\text{e}$ . Com a implantação do projeto de MDL serão coletadas 3.353.070 t  $\text{CO}_2\text{e}$ . Baseado em aspectos como a eficiência de aproveitamento do gás coletado, é possível se atingir reduções certificadas de 2.621.919 t  $\text{CO}_2\text{e}$ .

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou a viabilidade do projeto de geração de energia a partir da queima do biogás é viável, considerando a redução das emissões de metano à atmosfera.

Segundo as estimativas, a geração de metano, ao longo do período de 2013 a 2034 atingirá 4.558.125 t  $\text{CO}_2\text{e}$ , no entanto, com a usina de tratamento de biogás, considerando o rendimento de 73,56%, serão coletadas e tratadas 3.353.070 t  $\text{CO}_2\text{e}$ . No entanto, devido aos vários fatores de redução das emissões, o número total de emissões certificadas que serão comercializadas na forma de créditos de carbono atingirão assim 2.619.193 t  $\text{CO}_2\text{e}$ .

Considerando um valor médio de US\$ 10,00 por t  $\text{CO}_2\text{e}$  (KILLEEN, PORTELA, 2010) seria possível gerar uma receita de cerca de US\$ 26.191.930,00 no período de 2013 a 2034. Além disso, acrescenta-se os ganhos com a venda da geração de energia elétrica para a rede pública, a partir de uma fonte renovável, viabilizando economicamente o projeto e contribuindo para uma diminuição significativa do impacto ambiental causado pelo aterro sanitário na região de Sorocaba.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jucá, J.F.T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL – REGEO'2003, 5, Porto Alegre –RS, 2003, **Anais...** Porto Alegre.
2. Killeen, Timothy J.; Portela, Rosimeiry. The economics of ecosystems and biodiversity: the ecological and economic foundations. 2010, c.l, p. 4. Disponível em: <<http://www.teebweb.org/LinkClick.aspx?fileticket=0ZjhJGzdxxU%3D&tabid=1018&language=en-US>>. Acesso em: 20 set. 2011.
3. Lobato, A. Gás de lixo pode produzir 15% da energia do Brasil. **O Estado de São Paulo**. 14 de junho de 2008. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u412371.shtml>>. Acesso em 8 de Junho 2012.
4. Mancini, S. D.; Nogueira, A. R.; Kagohara, D. A.; Schwartzman, J. A. S.; Mattos, T. Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil. **Waste Management & Research**, v. 25, p. 517-523, 2007.
5. Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) **Atividades de projetos MDL aprovados nos termos da Resolução nº1**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57967.html>> Acesso em 8 de junho de 2012.
6. Salani, F. São Paulo ganha R\$ 34 milhões com crédito de carbono. **Folha de São Paulo**, 27 set. 2007. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u31829.shtml>>, Acesso em 8 jun. 2012.