



III-228 – AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE BIOGÁS PELA CAMADA DE COBERTURA DE UM ATERRO SANITÁRIO EXPERIMENTAL UTILIZANDO A METODOLOGIA DA PLACA DE FLUXO

Juliana Gonçalves Fernandes

Engenheira Ambiental (UFV), Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Gustavo Ferreira Simões⁽¹⁾

Engenheiro Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio), Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Vinícius Fernandes de Oliveira Moraes

Graduando em Engenharia Civil (UFMG), Bolsista de Iniciação Científica vinculado ao Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Escola de Engenharia da UFMG. Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia. Av. do Contorno, 842 / 608 – Centro – Belo Horizonte – MG – CEP: 30110-060 – Brasil – Tel: +55 (31) 3409-1792 – Fax: +55 (31) 3409-1793 – e-mail: gustavo@etg.ufmg.br

RESUMO

O biogás gerado e emitido em aterros sanitários é constituído predominantemente por CO₂ e CH₄, gases potencializadores do efeito estufa. Por este motivo é de fundamental importância mensurar as vazões do biogás. O presente trabalho tem como objetivo apresentar resultados de ensaios de placa de fluxo realizados no Aterro Sanitário Experimental de Belo Horizonte. São apresentados detalhes da construção da placa e da metodologia utilizada na realização dos ensaios. O fluxo de metano emitido pela camada de cobertura variou entre 23,24 e 337.67 g/dia.m² e a de CO₂ variou entre 29,09 e 233,24 g/dia.m². Os valores, embora dispersos, encontram-se dentro das faixas relatadas na literatura. Observou-se de forma qualitativa uma redução das concentrações de metano, quando comparados os valores registrados no interior e na superfície do aterro sanitário experimental, sugerindo a oxidação desse gás pela camada de cobertura.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, metano, Aterro sanitário, resíduos sólidos urbanos, placa de fluxo.

INTRODUÇÃO

Um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos pode ser visto como um grande biorreator, onde ocorre, naturalmente, a biodegradação da matéria orgânica, em ambiente predominantemente anaeróbio. Dessa biodegradação resulta a geração do biogás, composto basicamente de CO₂ e CH₄, grandes responsáveis pelo efeito estufa. O CH₄ deve receber maior atenção por possuir um potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o CO₂. Esses gases chegam à atmosfera por meio de drenos de gases ou através da passagem pela camada de cobertura dos aterros.

Segundo IPCC (2001), a quantificação de gases emitidos pela camada de cobertura de aterros é requerida por três propósitos:

- Entender a magnitude do problema causado por aterros individualmente e, conseqüentemente, o problema global causado pela disposição de resíduos orgânicos em aterros;
- Identificar e implementar métodos para o controle de emissões atmosféricas;
- Avaliar a eficiência dos métodos de controle das emissões de gases dos aterros para a atmosfera.

Segundo Czepiel *et al.* (1996), o método mais popular utilizado na avaliação da emissão de biogás para a atmosfera é o das placas de fluxo dinâmicas ou estáticas.

As placas de fluxo utilizam como princípio a avaliação da concentração dos gases com o tempo em caixas fechadas (estáticas) ou semi-abertas (dinâmica) cravadas no solo de cobertura. No modelo dinâmico, os gases no interior da placa são diluídos através de um fluxo contínuo de ar para serem em seguida analisados e por fim dispersados na atmosfera. No método estático, os gases são analisados sem diluição e retornam em

seguida para a placa em um fluxo fechado (Maciel, 2003). Utilizando a placa de fluxo é possível medir a emissão de gases diretamente.

O gás coletado em placas de fluxo estáticas não é continuamente diluído pelo ar externo, por este motivo, pequenos fluxos podem ser mensurados pelo método. A principal desvantagem das placas de fluxo estáticas é a influência da própria placa no fluxo de gás. Com o acúmulo de gases na placa, o incremento na concentração diminui a taxa de fluxo.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados de ensaios realizados em campo para estimativa da emissão de biogás do Aterro Sanitário Experimental de Belo Horizonte, com a utilização de placas de fluxo na camada de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

- Área de Estudo

O aterro sanitário experimental está localizado na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR 040, em Belo Horizonte, Minas Gerais, e ocupa uma área de aproximadamente 5.262 m². O aterro possui 3,8 m de altura e 71,50 m x 73,60 m de dimensões externas, enquanto que as internas são 51,80 m x 52,80 m. Foram dispostas cerca de 8.597 t (11.546 m³) de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Detalhes sobre a caracterização dos resíduos dispostos, construção, instrumentação e monitoramento do aterro sanitário experimental encontram-se descritas em Catapreta (2007) e Catapreta *et al.* (2005). As Figuras 1 a 3 apresentam uma vista geral do aterro sanitário experimental.



Figura 1 – Vista geral da CTRS BR 040 e Aterro Sanitário Experimental – 2005



Figura 2 – Vista aérea do Aterro Sanitário Experimental – 2006



Figura 3 – Vista geral do Aterro Sanitário Experimental – 2006

Foram implantadas duas configurações de camada de cobertura final no aterro sanitário experimental. A



primeira, denominada barreira capilar (BC), foi constituída de 30 cm de solo fino sobreposto a 30 cm de resíduos de construção civil beneficiado, e a segunda camada, denominada evapotranspirativa (BE), com cerca de 60 cm de solo fino, conforme detalhado em Catapreta (2007).

- Medições na camada de cobertura

Para a medição do fluxo de gases na camada de cobertura foi utilizada a placa de fluxo estática, por demandar um menor tempo de ensaio e apresentar uma boa precisão. A placa utilizada foi desenvolvida a partir do modelo proposto por Maciel (2003), conforme Figura 4, e possuía uma área útil de 0,16 m² e volume de 8L.

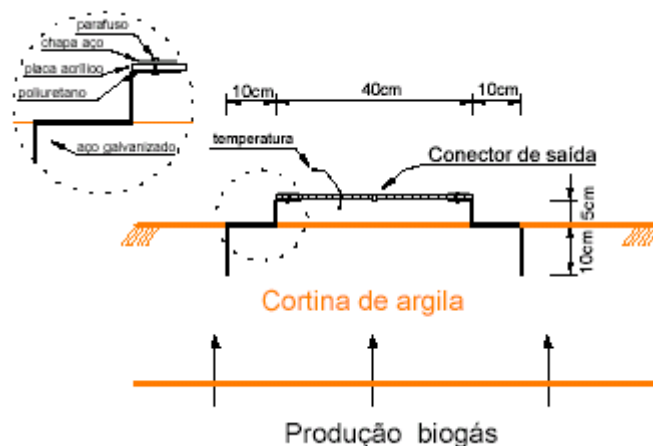


Figura 4 – Esquema da placa de fluxo utilizada na investigação (Maciel, 2003).

A placa foi construída em forma de degrau para evitar entrada de ar atmosférico induzido pelo vento. Duas conexões de saída, tipo engate rápido, foram instaladas no topo da caixa, possibilitando a conexão com o equipamento de medição de gases (LandSurveyor 2), uma para alimentação do medidor e outra para o retorno do gás para a placa. O equipamento registrava as concentrações de CO₂, CH₄ e O₂. As temperaturas ambiente e no interior da placa foram registradas em termopares ligados a um multímetro.

Para a realização do ensaio, inicialmente, coloca-se a placa no local de realização do ensaio para a marcação do perímetro da placa no solo da camada de cobertura. Posteriormente, retira-se a placa e uma escavação manual é feita deixando uma folga lateral para a entrada da placa verticalmente. A escavação deve ser feita com o máximo cuidado para evitar a modificação das condições naturais do solo. Feita a cava, a placa de fluxo é inserida no local e pressionada através do degrau. Finalmente, com a placa no local de realização do ensaio, recompõe-se o solo manualmente na folga lateral, compactando-o. A Figura 5 apresenta um exemplo da montagem do ensaio.



Figura 5 – Placa de fluxo e equipamentos utilizados

Após a cravação, eram iniciadas as leituras. As leituras no Landsurveyor 2 (CO₂, CH₄ e O₂) e no multímetro (temperatura interna a placa e temperatura ambiente) eram realizadas com um intervalo de 2 minutos. Os primeiros ensaios tiveram duração média de 1 hora e os últimos duração de 3 horas, tendo em vista que a



vazão deve ser calculada utilizando os valores de concentração dos primeiros minutos de ensaio. Em seus ensaios Maciel (2003) utilizou o tempo de 25 minutos e Bogner *et al.* (1993) sugere intervalos de 20 a 40 minutos.

Segundo Trégourès *et al.* (1999), a qualidade dos valores encontrados pelo método da placa de fluxo é mais dependente da quantidade de pontos avaliados do que da qualidade de cada medição. Este método tem como vantagens a mobilidade do equipamento, a capacidade de quantificar emissões heterogêneas, simples instalação e maior precisão na determinação de emissões pontuais

O Landsurveyor 2 permaneceu ligado e conectado à placa durante todo o tempo de realização do ensaio. Dois ensaios foram realizados, utilizando a metodologia descrita por Maciel (2003), no qual o equipamento era acoplado à placa somente no momento das leituras. Porém, comparando com os dados anteriores não ocorreram modificações. Para simplificar os ensaios, tomando como referência os intervalos de leitura, o equipamento de medição das concentrações dos gases foi mantido ligado.

- Cálculo do Fluxo de Gases

O fluxo de gás, expresso em unidades de $\text{kg/m}^2\text{s}$, ou simplesmente, a taxa de emissão superficial pode ser determinada utilizando os resultados obtidos nos ensaios da placa de fluxo por meio da Equação 1.

$$J = \frac{V_p \times \rho_{\text{gás}}}{A} \times \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

V_p = volume útil da placa de fluxo = $0,008 \text{ m}^3$;

A = área de solo coberta pela placa = $0,16 \text{ m}^2$;

$\rho_{\text{gás}}$ = densidade do gás a determinada temperatura (kg/m^3);

$\Delta C/\Delta t$ = variação da concentração do gás (% vol) com o tempo (s). O fluxo (J) é.

Utiliza-se a densidade corrigida dos gases em função da temperatura interna da placa, por meio das equações 2 e 3.

$$\rho_{CH_4}(t) = \frac{\rho_{CH_4}(0^\circ C) \times 273}{273 + t} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\rho_{CO_2} = \frac{\rho_{CH_4}(t) \times PM_{CO_2}}{PM_{CH_4}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

$\rho_{CH_4}(t)$ = densidade do metano em função da temperatura (t) em $^\circ\text{C}$;

$\rho_{CH_4}(0^\circ\text{C}) = 0,716 \text{ kg/m}^3$;

t = temperatura em $^\circ\text{C}$;

ρ_{CO_2} = densidade do dióxido de carbono em função da temperatura(t);

PM_{CO_2} = peso molecular do dióxido de carbono = 44;

PM_{CH_4} = peso molecular do metano = 16.

RESULTADOS

- Ensaio utilizando a Placa de Fluxo

Exemplos de resultados das concentrações de metano, dióxido de carbono e oxigênio obtidos nos ensaios da placa de fluxo estão mostrados na curvas das Figuras 3 a 10, onde os ensaios E1 a E4 foram realizados na camada de cobertura evapotranspirativa e os ensaios BC1 a BC4, na camada de barreira capilar.

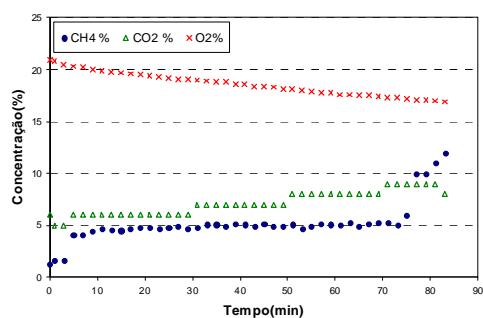


Figura 3– Ensaio de placa de fluxo E1

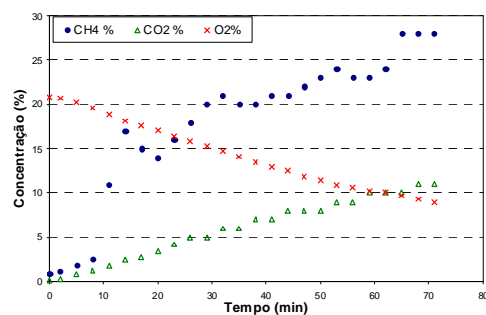


Figura 4– Ensaio de placa de fluxo E2

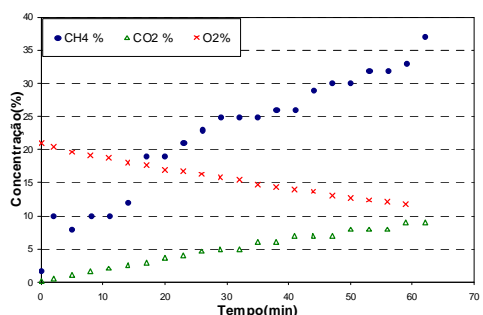


Figura 5– Ensaio de placa de fluxo E3

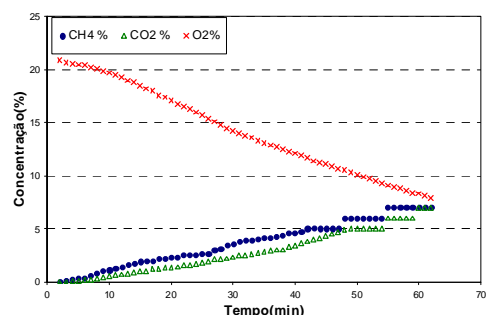


Figura 6– Ensaio de placa de fluxo E4

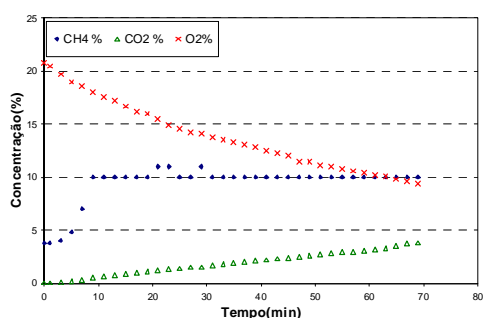


Figura 7- Ensaio de placa de fluxo BC1

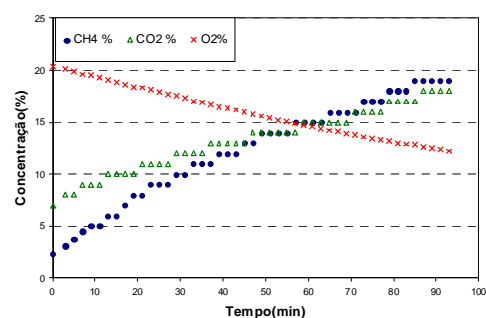


Figura 8– Ensaio de placa de fluxo BC2

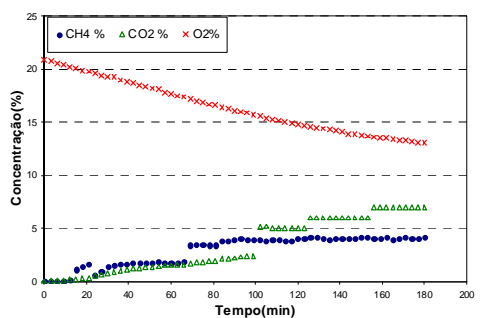


Figura 9- Ensaio de placa de fluxo BC1

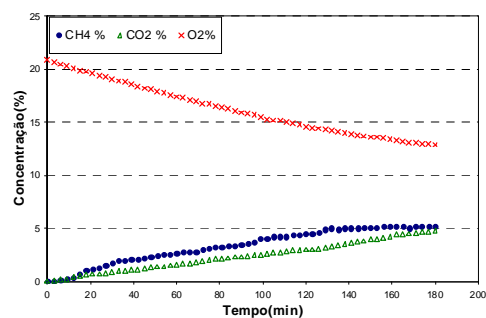


Figura 10– Ensaio de placa de fluxo BC2

De uma forma geral as curvas de variação de concentração com o tempo apresentam comportamento qualitativo semelhante. Ocorre o aumento das concentrações de CH₄ e CO₂ e o a as curvas de O₂ são sempre decrescentes, sugerindo que não houve entrada de oxigênio durante o ensaio, seja pelas conexões, pelos tubos ou pelas laterais da placa. Pode-se concluir que a configuração da placa aparenta ser eficiente para evitar entrada de ar atmosférico, conforme sugestão de Maciel (2003).

Os resultados de concentração final dos gases no interior da placa e temperatura estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos nos ensaios da placa de fluxo

Ensaio	Concentração final dos gases na Placa de Fluxo (%)			Temperatura Média (°C)		Tipo da camada de cobertura	Duração do ensaio (min)
	CH ₄	CO ₂	O ₂	interna	externa		
E1	12	8	16,9	44	32	Evapotranspirativa	89
E2	28	11	9	28	25	Evapotranspirativa	71
E3	31	9	11,4	26	24	Evapotranspirativa	62
E4	7	7	7,9	27	29	Evapotranspirativa	180
BC1	10	3,8	9,4	34	25	Barreira Capilar	69
BC2	19	18	12,2	33	26	Barreira Capilar	93
BC3	4,1	7	13,1	37	36	Barreira Capilar	180
BC4	5,2	4,8	12,9	30	24	Barreira Capilar	180
BC5	18	12	9,3	26	35	Barreira Capilar	180

Embora ainda de forma qualitativa e preliminar, observou-se uma redução significativa das concentrações de metano, quando são comparados os valores obtidos no interior do aterro sanitário experimental e na sua superfície, sugerindo uma oxidação do metano na camada de cobertura (Fernandes, 2009).

- Determinação do fluxo de CH₄

Os fluxos de CH₄ determinados pelos ensaios de placa na cobertura da Célula Experimental do Aterro Sanitário de Belo Horizonte em termos de massa, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos fluxos de CH₄ utilizando a placa de fluxo

Ensaio	Concentração Final de CH ₄ na placa	Fluxo (JCH ₄)		
		g/m ² .s	g/m ² .d	kg/m ² .ano
E1	12	4,85x10 ⁻⁰⁴	41,87	15,28
E2	28	3,51x10 ⁻⁰³	303,26	110,69
E3	31	3,91x10 ⁻⁰³	337,67	123,25
E4	7	2,70x10 ⁻⁰⁴	23,32	8,51
BC1	10	1,22x10 ⁻⁰³	105,07	38,35
BC2	19	1,37x10 ⁻⁰³	118,48	43,24
BC3	4,1	2,69x10 ⁻⁰⁴	23,24	8,48
BC4	5,2	3,39x10 ⁻⁰⁴	29,26	10,68
BC5	18	1,07x10 ⁻⁰³	92,30	33,69

O fluxo de CH₄ variou entre 23,24 e 337,67 g/dia.m². Apesar de apresentar uma grande variação do fluxo de CH₄, os mesmos encontram-se dentro da faixa encontrada na literatura. Mariano (2008), em seus ensaios na célula do Aterro de Aguazinha - PE, encontrou valores variando na faixa de 18 a 401 g/dia.m². Tomando como base a área do Aterro Experimental de aproximadamente 3.000 m², e considerando que metade da área do aterro é constituída da camada de cobertura evapotranspirativa e que a outra metade é barreira capilar, obtém-se o valor médio de 375 kg de CH₄ emitido para a atmosfera por dia.

A emissão média da barreira capilar (73,67 g/dia.m²) foi menor quando comparado com a camada evapotranspirativa (176,53 g/dia.m²).



- Determinação do fluxo de CO₂

O fluxo de CO₂ foi obtido utilizando a mesma metodologia descrita para o gás CH₄. Em todos os ensaios de placa de fluxo foi medida a concentração de CO₂ em função do tempo. As curvas de CO₂ apresentadas nas Figuras 3 a 10 mostram comportamentos semelhantes qualitativamente e as mesmas fases das curvas de CH₄. Para o cálculo dos fluxos foi utilizado o intervalo de 30 minutos, assim como no cálculo do fluxo de CH₄. Na Tabela 3 são apresentados os fluxos de CO₂ em termos mássicos.

Tabela 3 – Resultados dos fluxos de CO₂ utilizando a placa de fluxo

Ensaio	Concentração final de CO ₂ na placa	Fluxo (J _{CO2})		
		g/m ² .s	g/m ² .d	kg/m ² .ano
E1	8	1,21x10 ⁻⁰³	104,88	38,28
E2	11	2,70x10 ⁻⁰³	233,24	85,13
E3	9	2,51x10 ⁻⁰³	217,07	79,23
E4	7	3,52x10 ⁻⁰⁴	30,45	11,11
BC1	3,8	8,27x10 ⁻⁰⁴	71,48	26,09
BC2	18	2,16x10 ⁻⁰³	186,30	68,00
BC3	7	3,37x10 ⁻⁰⁴	29,09	10,62
BC4	4,8	4,48x10 ⁻⁰⁴	38,70	14,13
BC5	12	1,42x10 ⁻⁰³	122,32	44,65

O fluxo de CO₂ variou entre 29,09 e 233,24 g/dia.m² e encontra-se dentro das faixas reportadas na literatura. Mariano(2008) em seus ensaios encontrou variações entre 0 e 387,89 g/dia.m². Considerando a área da Célula Experimental e as diferentes camadas de cobertura a emissão média de CO₂ foi de 353,98 kg por dia.

Assim como aconteceu com o CH₄, o fluxo de CO₂ foi menor na camada de cobertura barreira capilar (146,41 g/dia.m²) quando comparado com a camada evapotranspirativa (89,58 g/dia.m²).

CONCLUSÕES

A técnica da placa de fluxo, bem como a configuração da placa utilizada neste trabalho, mostraram-se adequados para a realização dos ensaios, demandando procedimentos simples e de baixo custo para a sua realização.

O fluxo de CH₄ pela camada de cobertura encontrado utilizando a metodologia da placa de fluxo variou entre 23,24 e 337,67 g/dia.m², emitindo para a atmosfera em média 375 kg por dia. O fluxo de dióxido de carbono variou entre 29,09 e 233,24 g/dia.m², sendo em média 353 kg por dia. Os valores tanto de fluxo de metano quanto o de dióxido de carbono apresentaram grande variação tanto em massa quanto em volume. No entanto, estão dentro das faixas encontradas na literatura.

Embora ainda de forma qualitativa e preliminar, observou-se uma redução significativa das concentrações de metano, quando são comparados os valores obtidos no interior do aterro sanitário experimental e na sua superfície, configurando uma possível oxidação do mesmo nas camadas de cobertura, notadamente na camada evapotranspirativa, que apresenta maior espessura de solo fino.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa de Mestrado à primeira autora, à FAPEMIG pela concessão de bolsa de Iniciação Científica ao terceiro autor e à Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, pelo total apoio no desenvolvimento do projeto.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOGNER J.; SCHEUTZ C.; CHANTON J.; BLAKE D.;MORCET M.; ARAN C. E.; KJELDSSEN, P. (2003). Field measurement of nonmethane organic compound emissions from landfill cover soils. *International Waste Management and Landfill Symposium*.
2. CATAPRETA, C.A.A. (2007). *Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, 346p.
3. CATAPRETA, C.A.A., SIMOES, G.F., BARROS, R.T.V. (2005). Aterro experimental para disposição de resíduos sólidos urbanos: caso de Belo Horizonte, MG, 24º Cong. Bras. Eng. Sanitária e Ambiental, Campo Grande, Anais... Rio de Janeiro: ABES.
4. CZEPIEL, P.M., MOSHER, B., HARRIS, R.C., SHORTER, J.H., MCMANUS, J.B., KOLB, C.E., ALLWINW, E. e LAMB, B.K. (1996). Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric trace methods, *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, no D11, pp. 16,711- 16,719.
5. FERNANDES, J.G.(2009). *Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, 121p.
6. INTERNATIONAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2001) Waste. In: *Climate Change 2001: A Scientific Basis*. pp 6.1-6.20.
7. MACIEL, F.J. (2003). *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 173 pp.
8. MARIANO, M.O.H. (2008). *Avaliação da Retenção de Gases em Camadas de Cobertura de Aterros de Resíduos Sólidos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco.233pp.
9. TRÉGOURÉS, A.; BENEITO, A; BERNE, P.; GONZE, M.A.; SABROUX, J.C.; SAVANNE, D.; POKRYSZKA, Z.; TAUZIÉDE, C.; CELLIER, P.; LAVILLE, P.; MILWARD, R.; ARNAUD, A.; LEVY, F.; BURKHALTER, R.(1999). Comparison of seven methods for measuring methane flux at a municipal solid waste landfill site. In: *Waste Management & Research*. nº 17. p 453-458.