

III-064 - MINIMIZAÇÃO DE EMISSÕES DE METANO EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DE COBERTURAS METANOTRÓFICAS**Régia Lúcia Lopes⁽¹⁾**

Eng^a. Civil e Mestre em Eng^a. Química (UFRN). Doutoranda em Eng^a. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Prof^a. do IFRN dos cursos Técnicos e Graduação Tecnológica da área de Meio Ambiente, desde 1991. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos/GRS-UFPE. Diretora da ABES/RN.

Felipe Jucá Maciel

Eng^o. Civil e Mestre em Eng^a. Civil (UFPE). Doutor em Eng^a. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Coordenador técnico do Projeto P & D da CHESF/UFPE na área de aproveitamento energético do biogás na Muribeca. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos/GRS-UFPE.

Maria Odete Holanda Mariano

Prof. Dept^o. Eng^a. Civil (UFPE/CAA). Doutora em Eng^a. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Membro do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE.

José Fernando Thomé Jucá

Prof. Dept^o. Eng^a. Civil (UFPE). Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE. Coordenador do Programa de Monitoramento dos Aterros da Muribeca-PE, Aguazinha – Olinda e Metropolitano de João Pessoa. Coordenador dos Projetos PROSAB-FINEP, PRONEX e CHESF/UFPE. Consultor do Ministério das Cidades na área de resíduos sólidos.

Lais Roberta Galdino de Oliveira

Eng. Agrícola e Ambiental (UFRPE) e Mestranda em Eng^a. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Membro do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Presb. Porfírio Gomes da Silva, 1496 – Capim Macio - Natal - RN - CEP: 59.082-420 - Brasil - Tel: +55 (84) 3642-2594 - e-mail: regia.lopes@ifrn.edu.br

RESUMO

No Brasil, o destino dos gases oriundos do processo de degradação dos resíduos, é na grande maioria dos aterros, a queima simples. Os projetos de recuperação de energia a partir do biogás têm também como objetivo minimizar a emissão de gases de efeito estufa, porém, esses projetos, no Brasil, se limitam a empreendimentos de grande porte, sendo necessário encontrar soluções para minimização dessas emissões em aterros de pequeno e médio porte. As emissões fugitivas e residuais de metano através das camadas de cobertura podem ser reduzidas através da oxidação biológica, especialmente quando essas apresentam características que favoreçam essas reações, sendo denominadas de cobertura metanotrófica ou oxidativa. Essas coberturas são consideradas como alternativas de gerenciamento das emissões de gases produzidos em aterros sanitários que incorpora o conceito de camadas bioreativas ou biocoberturas. O objetivo desse trabalho é avaliar a eficiência de oxidação de metano em duas camadas de cobertura do tipo metanotrófica executada na célula experimental do aterro da Muribeca-PE, comparado-as com uma camada de 70 cm de solo compactado denominada de camada convencional (CONV). A quantificação da eficiência da oxidação *in situ* foi feita a partir das medidas de variação de concentração de metano e gás carbônico, desde a base (interface solo/resíduo) até 10 cm de profundidade da superfície, sendo a variação da relação de CO_2/CH_4 um indicativo de retenção de fluxo de metano decorrente de ações físicas (difusão e advecção) e reações microbiológicas (oxidação). As emissões nas camadas alternativas variaram de 0 a 152 $\text{gCH}_4/\text{m}^2.\text{dia}$ enquanto a camada convencional apresentou emissões de 0 a 433 $\text{gCH}_4/\text{m}^2.\text{dia}$ em um período de seis meses. As menores emissões de CH_4 através das camadas alternativas estão relacionadas com maior taxa de oxidação na MET01, em função de suas características físico-químicas (teor de matéria orgânica, umidade, temperatura, pH e porosidade). A camada MET02 apresentou menor taxa de oxidação devido à menor concentração de biogás na base, e dessa forma também baixa emissão de CH_4 . A camada convencional também não apresentou características propícias para crescimento de micro-organismos metanotróficos, apresentando desse modo menor taxa de oxidação e maiores emissões de CH_4 , devido as suas características físico-químicas.

PALAVRAS-CHAVE: aterro sanitário, camada de cobertura, cobertura metanotrófica, oxidação de metano, biogás.

INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros sanitários vem crescendo no Brasil nas últimas décadas. De acordo com a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) divulgada em agosto de 2010, embora os vazadouros a céu aberto, conhecidos como “lixões”, ainda persistam em 50,2% dos municípios, causando uma contaminação difusa em todo território nacional, as unidades de aterros sanitários, tem se expandido desde o ano 2000 de 17,7% para 27,7% como solução para tratamento e destino final dos municípios brasileiros (IBGE, 2010). A PNSB revela que, em municípios de até 50 mil habitantes, o destino final em aterros sanitários tem tido índices aproximados da média nacional. Os gases gerados pela biodegradação de resíduos em aterros sanitários são compostos basicamente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), sendo esses os principais gases responsáveis pelo aquecimento global e denominados gases de efeito estufa (GEE). De acordo com o Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, os RSU no Brasil representam cerca de 12% da fontes de emissões de CH_4 sendo a disposição final responsável por 84% desse valor.

No Brasil, o destino dos gases oriundos do processo de degradação dos resíduos, é na grande maioria dos aterros, a queima simples. Os projetos de recuperação de energia a partir do biogás de aterro tem também como objetivo minimizar a emissão de gases de efeito estufa, porém, esses projetos, no Brasil, se limitam a empreendimentos de grande porte, sendo necessário encontrar soluções para minimização dessas emissões em aterros de pequenos e médio porte.

As camadas de coberturas denominadas metanotróficas ou oxidativas são consideradas alternativas de gerenciamento das emissões de gases produzidos em aterros sanitários que incorpora o conceito de camadas bioreativas ou biocoberturas. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) as biocoberturas representam uma alternativa economicamente viável para o tratamento de emissões fugitivas de metano em aterros sanitários. Essas camadas de cobertura têm como características a utilização de materiais (geralmente compostos orgânicos) para criar condições ótimas no desenvolvimento de micro-organismos que consomem metano, sendo denominadas mais especificamente de biocoberturas.

Modelos desenvolvidos para estimar capacidade de oxidação em camadas de cobertura tem sido desenvolvidos utilizando-se estudos de laboratório. Procedimentos *in situ* para a quantificação da eficiência da oxidação são bastantes discutidos haja vista a grande quantidade de fatores envolvidos no processos de oxidação. No Brasil poucos estudos tem sido feitos visando a utilização de camadas de coberturas para avaliar as taxas de oxidação. Em campo, a investigação sobre a variação de concentração de metano em perfil de profundidade de camadas de cobertura tem sido indicativo de retenção de fluxo de metano decorrente de ações físicas (difusão e advecção) e reações microbiológicas (oxidação). Dessa forma o objetivo desse trabalho é avaliar as eficiências de oxidação de metano em dois tipos de camada de cobertura metanotrófica executada na célula experimental do aterro da Muribeca-PE, comparado-as com uma camada convencional.

METODOLOGIA

A investigação a cerca de eficiência de oxidação de metano *in situ* foi realizada na cobertura da Célula Experimental da Muribeca-PE. Essa célula é localizada dentro do antigo aterro Controlado da Muribeca em Jaboatão do Guararapes-PE e foi preenchida com 27.000 m^3 de resíduos urbanos, tendo como objetivo ser campo experimental de estudos de geração de energia através do biogás. A célula foi recoberta com quatro tipos diferentes de cobertura para estudos de emissões de metano e gás carbônico.

Dois perfis de solo misturado com composto foram empregados para se avaliar o potencial de oxidação de metano, denominados MET01 e MET02 comparando-se com um perfil convencional de solo compactado, como mostrado na Figura 01.



Figura 01: perfis das camadas de cobertura.

O composto utilizado na mistura com o solo foi oriundo de compostagem de folhas e podas de árvores e tem densidade solta de 590 kg/m³, teor de matéria orgânica de 46,8%, teor de umidade de 53,0%, pH de 8,2 e relação C/N de 13,4. Os materiais estudados têm características apresentadas na Tabela 01.

Tabela 1: pH e sólidos voláteis dos materiais em perfil.

Camada	Profundidade (cm)	pH	SV (%)
MET01	0-30	7,5±0,5	15,5±2,7
	30-60	7,5±1,0	10,7±2,9
MET02	0-30	7,1±1,0	11,7±2,9
	30-60	6,9±1,0	9,8±1,7
CONV01	0-30	6,3±1,0	7,7±1,3
	30-70	5,7±1,1	7,2±1,4

SV= sólidos voláteis; w = teor de umidade e T= temperatura

A mistura de solo e composto MET01 apresentou em campo, um peso específico de 1,23 g/cm³, com porosidade média de 0,52, a MET02 de 1,35 g/cm³ com porosidade média de 0,49 enquanto a camada convencional apresentou peso específico de 1,51 g/cm³ e porosidade média de 0,43.

As medições de concentrações do biogás foram feitas em 4 profundidades e na interface solo/resíduo, através de dispositivos de medição de pressão e concentração (DMPC) do tipo CAP de PVC 100 mm, instalados nas profundidades de 10cm, 20cm, 30cm, 40cm e interface solo/resíduo. As medições de concentração do biogás em % de volume de CH₄, CO₂ e O₂, foram realizadas utilizando-se um analisador de gases, modelo X-am 7000 da marca Dräger, baseada na absorção de cada espécie no infravermelho. A medição de temperatura foi feita através de conectores tipo K (termopar) e umidade volumétrica (sensor EC-05 da DECAGON DEVICES) instalados em três profundidades, como mostrado na Figura 02, no período de 26/09/2009 a 03/03/2010.

A determinação da eficiência de oxidação foi feito com base na variação de concentração de CH₄ desde a interface solo/resíduo até os 10 cm superficiais, adaptando-se a metodologia descrita por Roncato (2009), levando-se em consideração relação entre CO₂ e CH₄ a partir da Equação 01.

$$\%CH_{4\text{oxidado}}(10\text{cm}) = \%CH_{4(\text{base})} - \%CH_{4\text{ não oxidado}}(10\text{cm})$$

Equação(01)

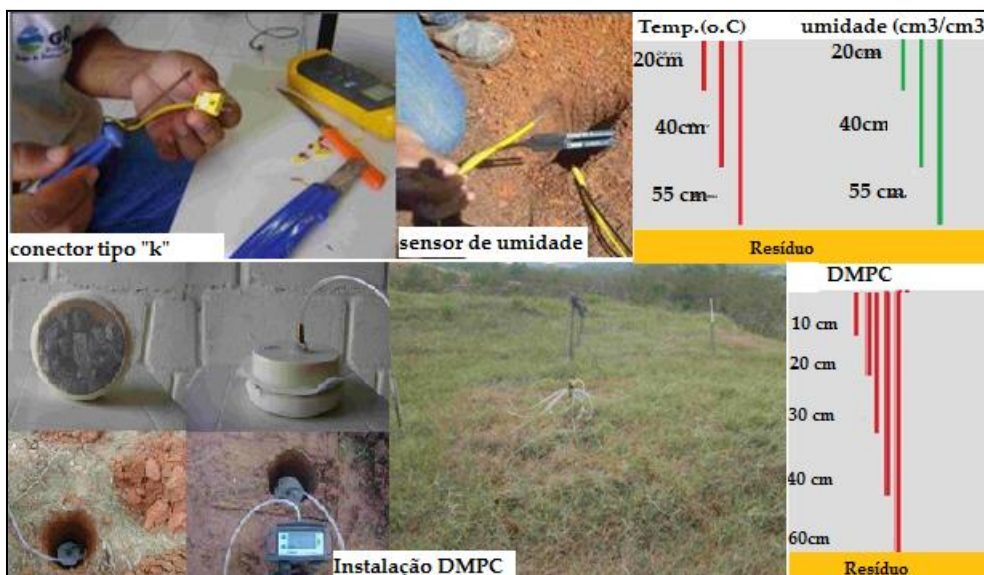


Figura 02: Instrumentação para medida de temperatura, umidade e concentração em profundidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 03 mostra as emissões de CH₄ medidas em g/m².dia, no período monitorado, para os três tipos de cobertura.

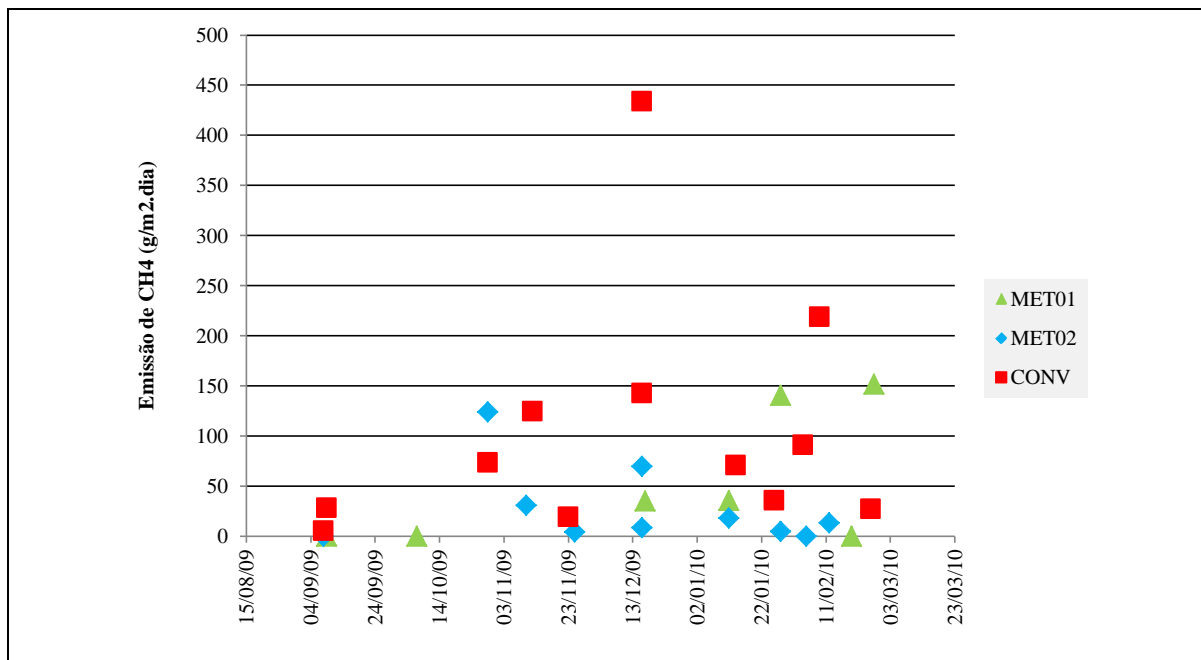


Figura 03: Emissões de CH₄

Observa-se que a camada convencional apresentou maior dispersão nas medidas de emissões de CH₄ com variação de 0 a 450 g/m².dia e concentrações na faixa de até 150 g/m².dia. As camadas alternativas apresentaram menor dispersão com variação de até 151g/m².dia e concentrações na faixa de até 50 g/m².dia, ou seja cerca de 3 vezes inferior à camada convencional.

A Figura 04 mostra a variação média da eficiência de oxidação medida, e da variação da relação entre o CO₂ e CH₄ desde a base até a superfície para as três camadas de cobertura (MET01, MET02 e CONV) no período monitorado.

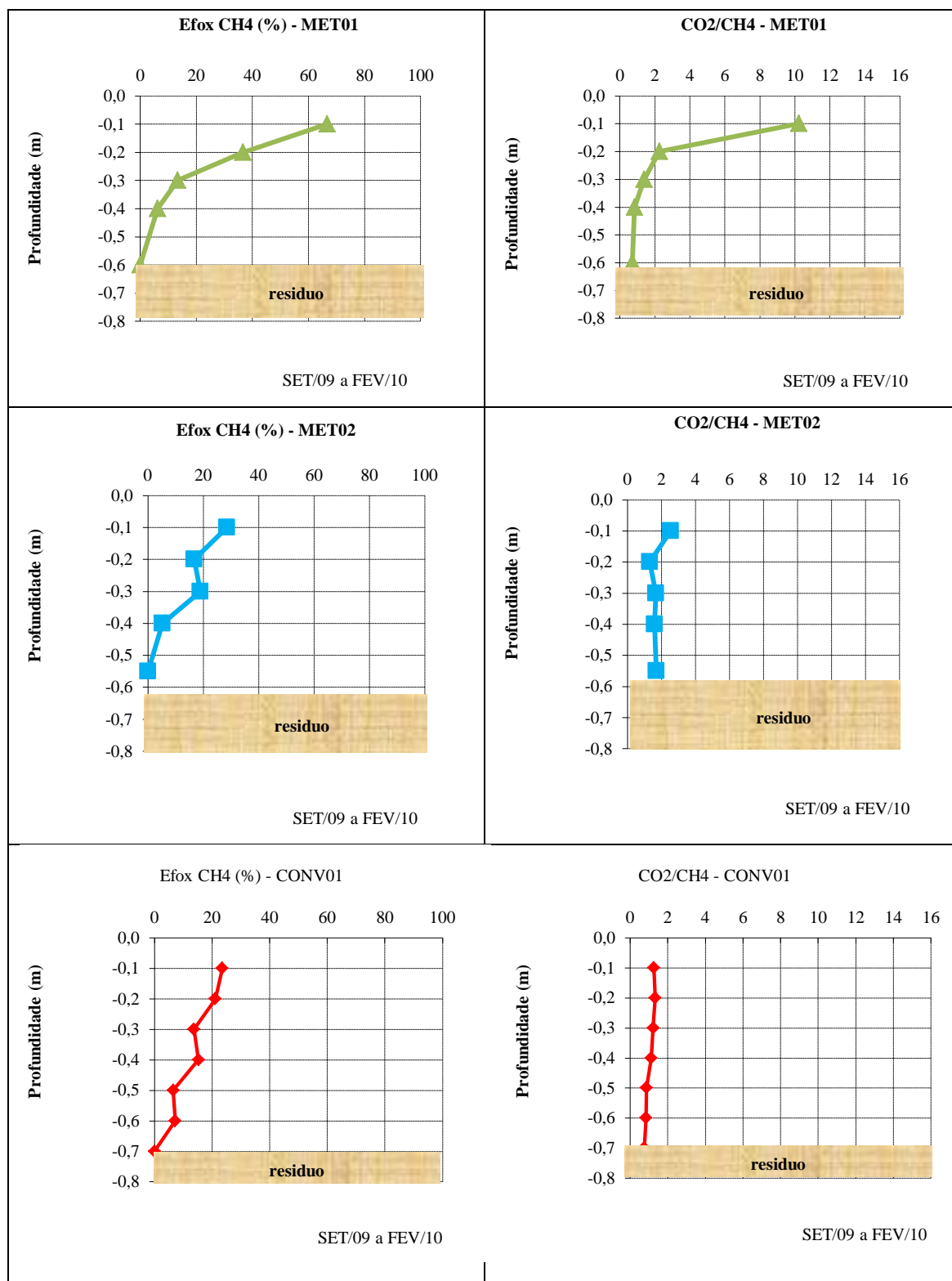


Figura 03: Eficiência média de oxidação de CH₄ acumulada ao longo da profundidade e relação de CO₂/CH₄ do perfil de cada camada de cobertura.

Observa-se na Figura 03 que a camada MET01 apresentou maior variação da relação entre as concentrações de CO₂ e CH₄, sugerindo uma zona de oxidação. Na camada MET01 essa variação de seu de 0,6 até 10 próximo da superfície (10cm) e que a variação brusca se deu na relação CO₂/CH₄ se verificou entre 10 e 30 cm de profundidade, onde a presença de oxigênio é mais intensa, e coincide justamente com a camada onde há mistura de solo e composto, ou seja, onde há maior teor de matéria orgânica e maiores teores de umidades e

maior porosidade. Para as outras duas camadas essa variação é bem menor representando pequena variação na relação entre CO_2/CH_4 da base até os 10 cm da superfície (de 1,7 para 2,5 na MET02 e de 0,7 a 1,2 na CONV). A Tabela 02 apresenta os resultados de eficiência de oxidação, temperatura e umidade nos perfis estudados.

Tabela 02. Eficiência de oxidação, temperatura e teor de umidade medidos nos ensaios de campo.

Camada	T (°C)	W (%)	Efox (%)
MET01	38,1 ± 5,1	22,3 ± 2,5	64,4 ± 20,5
MET02	34,9 ± 2,4	13,4 ± 3,1	28,6 ± 19,3
CONV01	30,9 ± 2,3	17,1 ± 1,6	21,7 ± 8,8

Observa-se na Figura 03 e na Tabela 02 que a camada MET01 foi mais eficiente em termos de oxidação de CH_4 , e que isso condiciona a menores emissões através da camada de cobertura, como pode ser comprovado na Figura 02. Os principais fatores que favoreceram a oxidação de CH_4 na camada MET01 foram maior temperatura, maior teor de matéria orgânica e maior teor de umidade. É provável que a utilização do composto como substrato em maiores proporções na camada MET01 proporcionou uma maior capacidade de retenção de água e com isso um ambiente propício para o desenvolvimento de micro-organismos metanotróficos.

Jones e Nadell (1993) verificaram que a capacidade do solo de cobertura em manter um substancial teor de umidade em toda a profundidade, promove uma distribuição mais uniforme e uma maior oportunidade para remoção de CH_4 , ou seja, solos com maior capacidade manutenção de umidade tais como os com alto teor de matéria orgânica, serão mais favoráveis as reações de oxidação de CH_4 . A presença de matéria orgânica também influenciou no crescimento de vegetação que tem relação com a capacidade de retenção de umidade e dessa forma promoveu maiores taxas de oxidação de CH_4 nessa camada. Para valores muito baixos de umidade há uma inibição nas atividades de metabolismo microbiano, reduzindo-se assim as taxas de oxidação assim como para valores muito altos, próximo à saturação do solo, pois a água preenche os espaços vazios do solo inibindo assim a difusão do oxigênio e reduzindo a assimilação de CH_4 .

Com relação à influência da temperatura alguns autores ainda acham discutível como o aumento da temperatura influencia efetivamente no processo de oxidação. Gebert *et al.* (2007) comprovaram que as taxas de oxidação crescem exponencialmente para temperaturas até 38°C embora tenha se observado atividade oxidativa para todas as faixas de temperatura analisada (3°C até 45°C). Czepiel *et al.* (1996) em pesquisas de campo e laboratório utilizaram modelos matemáticos para quantificar a oxidação de metano e os parâmetros de influência, verificando crescimento exponencial de taxas de oxidação para temperaturas até 40°C.

Com relação às taxas de oxidação Einola *et al.* (2008) afirmaram que 96% do metano foi oxidado em coberturas experimentais composta por resíduos oriundos de tratamento mecânico-biológico. Altas taxas de oxidação como as verificadas na MET01 também são reportadas na literatura embora essas taxas possam variar de acordo com variações climáticas, necessitando de maiores investigações em campo (SUN *et al.*, 2009), pois as determinações em campo são laboriosas e sofrem influência de muitas variáveis. Em laboratório muitos pesquisadores têm reportado altas taxas de oxidação de CH_4 em solo de cobertura de aterros sanitários especialmente aqueles com presença de matéria orgânica.

A média de eficiência de oxidação de CH_4 na MET01 é bastante semelhante com as apresentadas por Abichou *et al.* (2006), que reportam eficiências de até 64% em coberturas de aterros com variadas espessuras assim como Stern *et al.* (2007) que também reportam eficiências médias de 64% e Abichou *et al.* (2009) que determinaram eficiência de oxidação de 63%. Roncato (2009) também determinou eficiência de oxidação de 10% a 96% para colunas preenchidas com composto e Huber-Humer e Lechner (2001) determinaram eficiência de oxidação de CH_4 de até 100% em camadas de material de baixa densidade como é o caso da camada MET01.

A comparação entre as camadas MET01 e MET02 que se diferenciam pela quantidade de composto, umidade e temperatura em profundidade permite concluir que esses fatores favoreceram as reações de oxidação, tornando o ambiente propício para o desenvolvimento de micro-organismos e permitindo à entrada de

oxigênio e consequentemente as trocas gasosas, além da manutenção de umidade adequada para as reações de oxidação.

CONCLUSÕES

No Brasil, os aterros de RSU de pequeno e médio porte não apresentam exploração econômica do biogás e as emissões fugitivas de CH_4 podem ser gerenciadas a partir da instalação de camadas de cobertura que proporcionem ambiente favorável aos processos de oxidação de CH_4 .

Os resultados desse trabalho mostram claramente que a utilização de composto orgânico misturado ao solo em proporções de 50% (v/v) como substrato para camada de cobertura, se mostrou mais favorável à diminuição de concentração de CH_4 desde a interface solo/resíduo até a superfície da camada do que em solos com menor concentração de matéria orgânica, apresentando menores taxas de emissão de CH_4 , mesmo em períodos secos, como é caso do período analisado.

A configuração da camada tipo MET01 favoreceu uma retenção maior de umidade, que é um fator fundamental nos processos de oxidação. Percebe-se também que a camada MET01 foi submetida a maiores concentrações de CH_4 e mesmo assim a eficiência na oxidação foi bem superior aos demais perfis analisados, em função da maior porosidade que permite a introdução de oxigênio no meio, favorecendo o transporte dos gases e as reações de oxidação.

A camada MET02, embora tenha apresentado emissões de CH_4 semelhantes à camada MET01, não apresentou taxas de oxidação de mesma magnitude, o que pode ser decorrente de menores concentrações de biogás na base e de um solo, e características do solo que não propiciaram ambiente favorável, na maior parte do período monitorado. As características físico-químicas do solo da camada convencional também não foram favoráveis as reações de oxidação, dentre elas podemos destacar baixo teor de matéria orgânica e umidade em profundidade, fazendo com que na maior parte do tempo essa camada se apresente com grau de saturação onde a passagem de gás é permitida (em função de características geotécnicas), acarretando em maiores emissões de CH_4 .

Dessa forma, conclui-se que as emissões fugitivas e residuais de CH_4 podem ser reduzidas através da oxidação biológica nas camadas de cobertura, especialmente quando o material apresenta características que favoreçam as reações de oxidação. A mistura de solo e composto na proporção de 50% em volume apresentou melhores condições de favorecimento para oxidação do CH_4 do que uma mistura com menor proporção de composto, ou do que a camada com apenas solo compactado.

A camada estudada MET01 pode ser considerada como alternativa de gerenciamento das emissões de gases produzidos em aterros sanitários, minimizando as emissões de gases de efeito estufa e sendo alternativa promissora para aterros de pequeno e médio porte, disseminados no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABICHOU, T.; CHANTON, J.; POWELSON, D.; FLEIGER, J.; ESCORIAZA, S.; YUAN, L.; STERN, J. (2006). Characterization of Methane flux and oxidation at Solid Waste landfill covers. *Journal of Environmental Engineering*. Feb. pp. 220-228.
2. ABICHOU, T.; MAHIEU, K.; YUAN, L.; CHANTON, J.; HATER, G. (2009) Effects of compost biocovers on gas flow and methane oxidation in a landfill cover. *Waste Management* 29, 1595–1601.
3. CZEPIEL, P.M.; MOSHER, B.; CRILL, P.M.; HARRISS, R.C.(1996) Quantifying the effect of oxidation on landfill methane emissions. *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, n°D11, pp. 16.721-16.729.
4. EINOLA, J. K. M.; SORMUNEN, K. M.; RINTALA, J. A. (2008), Methane oxidation in a boreal climate in an experimental landfill cover composed from mechanically biologically treated waste. *Science of the total Environment* 407 (1):67.
5. GEBERT, J., STREESE-KLEEBOEG, J., (2007) New Approach to Measure in-situ Methanotrophic Activity. Presentation at the ESF Exploratory Workshop on Mitigation of Methane Emissions Through Microbial Oxidation on Landfills – Evaluation and Quantification Approaches, Vienna, Austria, 12th–14th December 2007.
6. HUMER-HUMER, M.; LECHNER, P. (2001) Microbial Methane Oxidation for the Reduction of Landfill Gas Emissions. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, Vol. Vol. 27, pp No. 3-4.

7. IBGE (2010) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>> Acesso em: 10 set. 2010.
8. JONES, H.; NEDWELL D. (1993) Methane emission and methane oxidation in landfill cover soil. In: FEMS Microbiology Ecology 102, 185-195
9. RONCATO, C. (2009) Étude des taux d'oxydation du méthane dans des colonnes expérimentales simulant un biorecouvrement de site d'enfouissement. Mémoire de Maîtrise. Faculté de Génie. Université de Sherbrooke Canada. 133p.
10. STERN, J.C.; CHANTON, J.; ABICHOU, T.; POWELSON, D.; YUAN, L.; ESCORIZA, S.; BOGNER, J., (2007). Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. Waste Management 27 (9), 1248–1258
11. SUN, J.; YUEN, S.T.S.; BOGNER, J.; CHEN, D. Phytocaps as biotic systems to mitigate landfill methane emissions: the A-ACAP investigations. In.: Proceedings Sardinia 2009. Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula. Italy.