

III-422 - VARIAÇÕES DE UMIDADE EM PERFIS DE CAMADA DE COBERTURA DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS RELACIONADAS COM A PRESENÇA DE VEGETAÇÃO

Régia Lúcia Lopes⁽¹⁾

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Prof^a. do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) dos cursos Técnicos, de Graduação Tecnológica e Pós-Graduação da área de Meio Ambiente, desde 1991. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE

José Fernando Thomé Jucá

Prof. Titular do 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 do Aterro da Muribeca-PE. Coordenador dos Projetos BNDES, PROSAB-FINEP, PRONEX e CHESF/UFPE. Consultor do Ministério das Cidades na área de resíduos sólidos.

Maria Odete Holanda Mariano

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

Endereço⁽¹⁾: Rua Presb. Porfirio Gomes da Silva, 1496 – Capim Macio - Natal - RN - CEP: 59.082-420 - Brasil - e-mail: regialopes@ifrn.edu.br

RESUMO

A camada de cobertura final dos aterros sanitários é um dos sistemas de proteção ambiental tendo em vista a necessidade de se controlar a quantidade de água que entra no aterro e a saída de biogás para atmosfera. As variações climáticas e ambientais impostas aos materiais de cobertura, ao longo do tempo, influenciam nesses processos e a presença da vegetação é de fundamental importância para proteção contra erosão, proteção visual, além de atenuar nas variações umidade no solo. Esse trabalho tem por objetivo avaliar as variações de umidade que ocorrem em dois perfis de camada cobertura, de características construtivas diferentes, e em locais com vegetação e sem vegetação. Um perfil é denominado camada metanotrófica (MET01), sendo composto por uma base de solo compactado de 30 cm sobreposta com uma mistura de solo e composto, na proporção de 50% em volume, com a mesma espessura. O outro perfil denominado de camada convencional é constituído apenas de solo compactado com 70 cm de espessura. O estudo foi realizado com sensores de umidade instalados a cada 20 cm de profundidade até a interface solo/resíduo, com frequência de leitura semanal durante 18 meses, contemplando quatro períodos climáticos (chuvoso/seco/chuvoso/seco). Os resultados indicam que embora os solos com presença de matéria orgânica, apresentem maior variação de umidade entre os períodos secos e chuvosos, a mesma se mantém bem acima da umidade em solos compactados, sem vegetação. Essa manutenção de altos teores de umidade na camada de cobertura propicia a retenção total dos gases gerados na biodegradação dos resíduos ou o incremento nos processos de oxidação de metano, proporcionando a diminuição das emissões desse biogás, tendo em vista que a umidade é um fator chave nesse processo. Avaliando os dois tipos de camada de cobertura conclui-se que a presença de composto orgânico na camada MET01 propiciou a presença constante de vegetação ao longo de todos os ciclos climáticos e a retenção maior de umidade, comprovando assim seu melhor desempenho para utilização em camadas de cobertura final de aterros sanitários e em projetos de recuperação de áreas degradadas com lixões.

PALAVRAS-CHAVE: Camada de cobertura, aterro sanitário, camada metanotrófica, umidade.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) têm se mostrado como uma das maiores preocupações das administrações municipais, tendo em vista a necessidade de recursos financeiros para uma boa gestão e de recursos humanos qualificados para seu bom gerenciamento. Além disso, os resíduos sólidos podem causar sérios problemas de ordem sanitária e ambiental quando não são tratados e dispostos adequadamente. No Brasil, os aterros sanitários têm sido utilizados como destino final de resíduos por 27,7% dos municípios, com um incremento do

destino de RSU para essas unidades, de 10% desde o ano 2000, como mostrado pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (IBGE, 2010). A pesquisa mostra ainda que, em municípios de até 50 mil habitantes, o percentual de utilização de aterros sanitários é próximo da média nacional, refletindo que essa é uma técnica disseminada no país. Os demais municípios utilizam ainda os aterros controlados (22,2%) e os vazadouros a céu aberto, conhecidos como “lixões”, que ainda persistem em 50,2% dos municípios, causando uma contaminação difusa em todo território nacional. Esforços dos governos federal, estadual e municipal na construção de novos aterros sanitários e transformação e/ou recuperação de lixões em aterros controlados são observados, em grande parte, nas grandes cidades, onde se tem uma maior quantidade de resíduos gerados.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº. 12.305/10 regulamentada pelo Decreto nº. 7.404/10) determinou que a gestão dos resíduos sólidos é uma responsabilidade de todos e proibiu o lançamento de resíduos em lixões, com prazo de até 4 anos para erradicação dessas unidades em todo território nacional. Desta forma, todas as municipalidades deverão elaborar seus planos de gestão de resíduos de forma a encontrar solução, tanto ambientalmente, como social e economicamente viáveis, alcançando assim um novo marco para a gestão de resíduos sólidos no Brasil (BRASIL, 2010).

Os RSU quando lançados nos aterros sanitários, geram subprodutos, através de processos de biodegradação, em forma de líquidos e gases, que precisam ser monitorados e tratados e/ou aproveitados. O lixiviado tem alto poder poluidor devido às características físico-químicas e microbiológicas, e o biogás é composto por gás carbônico e metano que são gases que tem um potencial de armazenar calor na superfície da terra sendo denominados de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo para o aquecimento global. No Brasil, o tratamento de resíduos representa 11,3% de emissões de metano, de acordo com o inventário de gases de efeito estufa (MCT, 2005).

Dessa forma, os projetos de aterro sanitário, devem levar em consideração elementos de proteção ambiental, dentre eles o projeto de camadas de coberturas, que apresentem características construtivas e de materiais, que reduzam a geração de lixiviados e que promovam a retenção do biogás e ou oxidação do metano (CH₄). Esses fatores são fundamentais para a redução de emissões de biogás para atmosfera, principalmente para os casos onde a exploração desses não seja técnica e economicamente viável, o que se verifica principalmente em municípios de pequeno e médio porte.

Com relação às camadas de cobertura de aterros sanitários, a Norma Brasileira NBR 13.896/97 estabelece “a necessidade do projeto e da implantação da cobertura final do aterro, que consiste de um sistema de impermeabilização superior” não determinando nenhuma especificação para o tipo de material e monitoramento das mesmas (ABNT, 1997). De acordo com a referida Norma as camadas de cobertura devem apresentar coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural da área do aterro, e em geral são utilizadas camadas de cobertura denominadas monolíticas ou convencionais, que são construídas com solo compactado, com o objetivo de minimizar a infiltração de água no aterro.

A mistura de materiais orgânicos no solo, com intuito de favorecer a oxidação de metano em camadas de cobertura de aterros sanitários tem sido apresentada como uma alternativa economicamente viável para o tratamento de emissões fugitivas de metano, segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Vários materiais vêm sendo testados, tanto em laboratório quanto em campo, com essa finalidade, tais como composto orgânico (produtos resultantes da compostagem), produtos similares proveniente de tratamento mecânico biológico de resíduos (MBT), lodos de estação de tratamento de esgotos e misturas de materiais orgânicos e solo (POWELSON *et al.*, 2006; ROSE *et al.*, 2007; AIT-BENICHOU *et al.*, 2008; JUGNIA *et al.*, 2008; BOHN e JAGER, 2009 PARK *et al.*, 2009).

As variações climáticas e ambientais impostas aos materiais de cobertura, ao longo do tempo, influenciam nas taxas de infiltração de águas, bem como nos processos de migração de gases devido às alterações nas propriedades dos materiais em função de mudança de teores de umidade. Dessa forma se faz necessário comparar materiais alternativos usados em cobertura de aterros sanitários, com objetivo de se avaliar a efetividade desses materiais em termos de proteção ambiental.

Esse trabalho avaliou as variações de umidade que ocorrem em dois perfis de camada cobertura de aterro de RSU, especificamente em áreas com e sem vegetação, tendo em vista que esse fator influencia na retenção de biogás e/ou oxidação de metano, reduzindo assim essas emissões.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em dois perfis de camada de cobertura instalado em um aterro experimental situada em área específica do Aterro Controlado da Muribeca, em Jaboatão dos Guararapes-PE. O aterro experimental teve por objetivo estudos com relação à geração de biogás a partir de resíduos urbanos e utilização do mesmo para geração de energia elétrica, dentre outros fatores de monitoramento envolvido no processo, como é o caso das camadas de cobertura como elemento de retenção de biogás. Foram executadas três tipos de perfil diferentes de camada de cobertura, no entanto nesse artigo se apresentam os resultados da camada metanotrófica e da camada convencional. A camada metanotrófica (MET01) foi construída com uma base de solo compactado de 30 cm sobreposta com uma mistura de solo e composto orgânico, na proporção de 50% em volume, com a mesma espessura, perfazendo uma espessura total de 60 cm, e a camada convencional foi construída com solo compactado com 70 cm de espessura. Nos dois perfis foram instalados sensores de umidade na profundidade de 20 cm, onde era feita a medição da umidade diretamente nos sensores de umidade volumétrica instalados no solo (EC5-DECAGON DEVICES). As medições tiveram frequência de leitura semanal durante um período 18 meses, contemplando quatro períodos climáticos (chuvoso/seco/chuvoso/seco).

Os sensores de umidade volumétrica utilizados tem acurácia de medição de $0,03 \text{ m}^3/\text{m}^3$ para todos os tipos de solos com condutividade até 8 dS/m , e calibração de $0,02 \text{ m}^3/\text{m}^3 (\pm 2\%)$. A resolução do sensor é de $0,001 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de umidade volumétrica para solos minerais e $0,25\%$ em meios de cultura. Os sensores foram calibrados de acordo com o recomendado pelo manual do equipamento a partir de coleta de amostra indeformada em anel metálico, tendo em vista as relações existentes entre os índices de densidade de campo e umidade. As Figuras 1 e 2 mostram o perfil das duas camadas de cobertura, a instalação dos sensores e equipamento utilizado para medição.

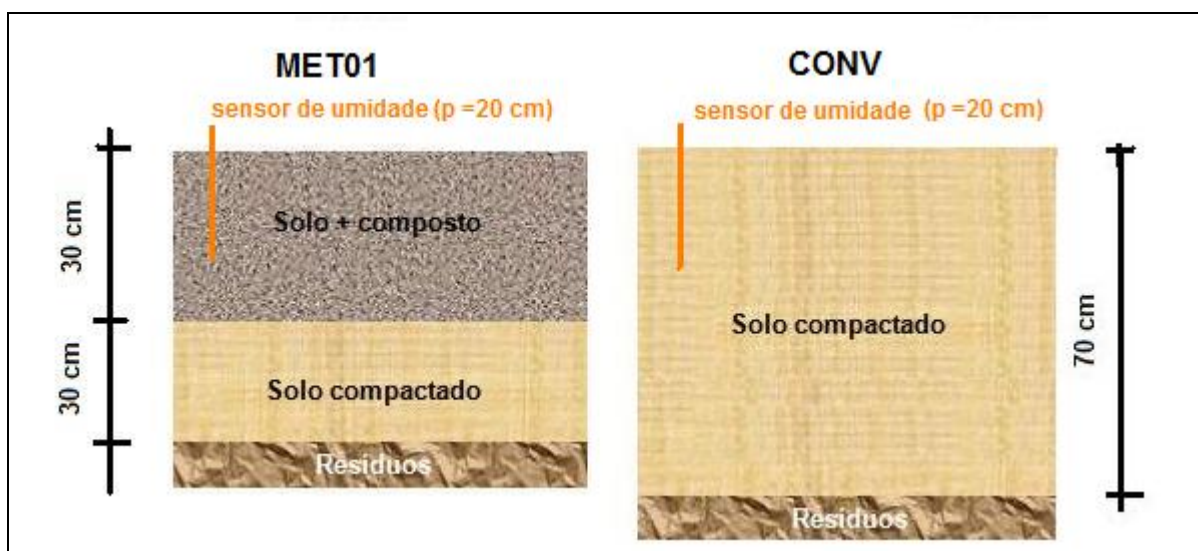


Figura 1: Perfil das camadas de cobertura onde foram instalados sensores de umidades nas duas camadas de cobertura.



Figura 2: Instalação de sensores para medição de umidade (a) sensor EC5 (b) escavação para instalação (c) Inserção do sensor no solo (d) medição com leitora ProCheck.

O composto utilizado na mistura com o solo foi oriundo de compostagem de folhas e podas de árvores e o solo de uma jazida adjacente à área do Aterro Controlado da Muribeca.

Os materiais foram caracterizados através de Normas da ABNT (NBR 6508/84; NBR 7181/84; NBR 6502/1995; NBR 6459/84; NBR 7180/84; NBR 6457/86; NBR 7182/86) para caracterização granulométrica, e segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) para pH, sendo o teor de matéria orgânica determinado pela concentração de sólidos voláteis no solo medido por método gravimétrico (queima em mufla).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização dos materiais

A Tabela 01 apresenta os resultados de algumas características dos materiais utilizados nos dois tipos de camada de cobertura. O solo utilizado na camada convencional tem característica de solo siltoso, com massa específica seca máxima $16,1 \text{ kN/m}^3$ e umidade ótima de 19,0%, e índice de atividade de argila normal. A mistura de solo e composto utilizada na camada MET01 apresentou também características de solo siltoso, com massa específica seca máxima de $13,0 \text{ kN/m}^3$ e umidade ótima de 22,9%.

De acordo com os ensaios de laboratório verificou-se que a adição de composto ao solo conferiu ao material, uma diminuição na massa específica dos grãos e no peso específico aparente seco máximo. Por outro lado, a mistura de composto no solo, aumentou a porosidade total e umidade de capacidade de campo, sendo esses fatores de fundamental importância no fluxo de água e gás na camada de cobertura, tendo em vista a quantidade de água que pode ser armazenada nos poros do solo evitando assim a passagem de gás, e ao mesmo tempo permitindo a absorção de maior umidade sem que isso incremente as taxas de infiltração de água para dentro do aterro.

Tabela 01. Caracterização dos materiais utilizados em cada tipo de camada de cobertura

Tipos de ensaios	Parâmetro	CONV	MET01
Ensaio de laboratório	granulometria	% de argila	29
		% de silte	23
		% de areia	39
		% solo com diâmetro > 2mm	1
		% de finos	53
	Limites de consistência	LL (%)	42
		LP (%)	29
		IP (%)	13
	$\gamma_{d_{máx}}$ (kN/m ³)		16,1
	$W_{óti}$ (%)		19,9
	Massa específica dos grãos (kN/m ³)		26,2
	W_{CC} (%)		22,2
Ensaio de campo	pH		6,3±1,0
	% de sólidos voláteis		7,7±1,3
	$\gamma_{dméd}$ (kN/m ³)		15,1
	Porosidade média (n)		0,43
	Grau de Compactação <i>in situ</i> (%)		93,6

LL = Limite de Liquidez; LP=Limite de Plasticidade; IP= Índice de Plasticidade; $\gamma_{d_{máx}}$ = peso específico aparente seco máximo; $W_{óti}$ = umidade ótima; W_{cc} = umidade de capacidade de campo.

Monitoramento da umidade

A Figura 3 mostra o comportamento da umidade na profundidade de 0,20 m nos dois perfis de camada de cobertura no período de junho de 2009 a janeiro de 2011.

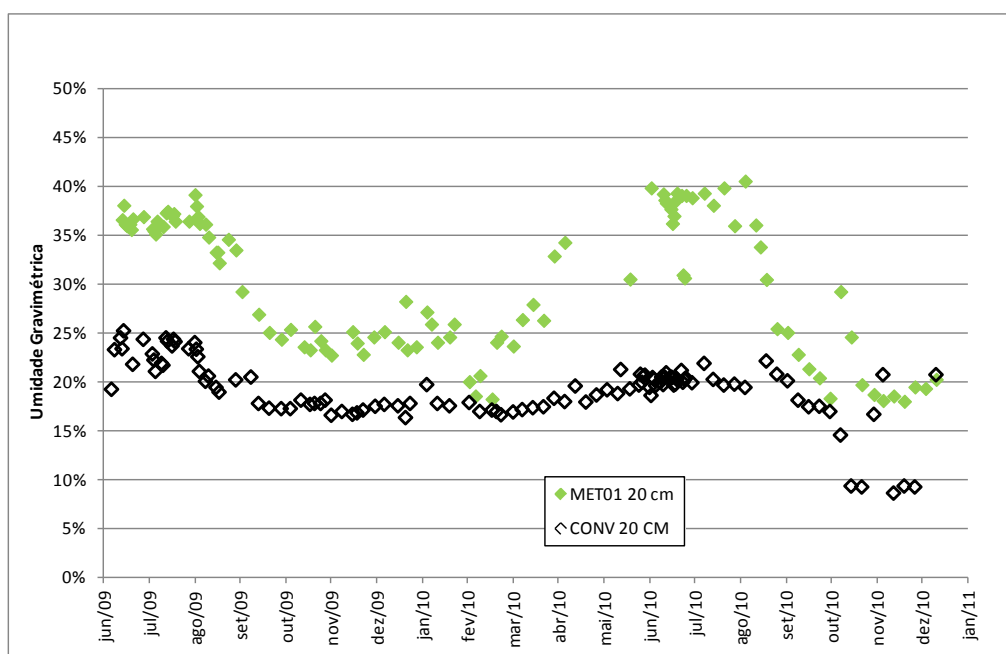


Figura 3: Medidas de umidade em profundidade.

Verifica-se na Figura 3 que as maiores variações de umidade ocorreram na camada metanotrófica (solo com mistura de composto) e variou entre 18,0% e 40,5%, apresentando maiores umidades nos períodos chuvosos (março a agosto), assim como uma perda rápida de umidade em períodos mais secos (setembro a fevereiro).

No perfil da camada convencional a variação de umidade foi 8,6% a 25,2%, bem inferior à camada metanotrófica, apresentando períodos de umidades muito próximas, tanto em períodos secos como chuvosos. A Tabela 2 apresenta a umidade média de camada de cobertura, em cada período de tempos monitorado.

Tabela 2. Umidade média em cada período do ano.

Estação	Período	Umidade média	
		MET	CONV
Chuvosa	Julho a agosto de 2009	36,61%	23,01%
Seca	Setembro/2009 a fevereiro/2010	26,42%	18,01%
Chuvosa	Março a agosto/2010	33,61%	19,40%
Seca	Setembro a dezembro/2010	22,43%	15,71%

A presença de composto no solo e o maior teor de umidade durante a maior parte do tempo favoreceu ao crescimento de vegetação na camada metanotrófica. A presença de intensa vegetação caracterizada por gramíneas durante todas as épocas do ano foi uma característica dessa camada, como mostrado na Figura 04.



Figura 4: Presença de vegetação na camada de cobertura MET01

Por outro lado, o perfil convencional esteve sempre sem vegetação apresentando fissuras em grande parte de sua área, em todos os períodos monitorados, como é mostrado na Figura 5.



Figura 1: Fissuras superficiais e ausência de vegetação na camada convencional

Verifica-se, portanto, que a presença de vegetação foi um fator determinante nas variações de umidade ao longo de estações secas e chuvosas. Essas variações foram significativas na camada metanotrófica, demonstrando que a vegetação exerce um papel fundamental no aumento da umidade no solo em períodos chuvosos e da perda rápida em períodos secos, sendo essas variações de umidade fortemente influenciadas pela presença da vegetação.

Observa-se também que a camada metanotrófica, que possui vegetação intensa, apresentou sempre umidade bem acima da medida na camada convencional, na mesma profundidade, e a maior densidade de vegetação na MET01 se deve a quantidade de composto adicionado ao solo, que o enriquece com nutrientes favorecendo ao crescimento de plantas. Mesmo nos períodos de baixa precipitação (períodos secos) a camada metanotrófica apresentou umidade média entre 6% a 8% acima de uma camada convencional sem vegetação.

Essa característica é de suma importância quando se estuda os processos de emissão de biogás em camadas de cobertura, tendo em vista que a umidade é um fator fundamental nos processos de fluxo de gases nos vazios do solo e dessa forma a umidade funciona como mecanismo de bloqueio à passagem do biogás, reduzindo substancialmente as emissões de gases de efeito estufa para atmosfera.

O efeito da presença de vegetação nas características dos solos e correlacionada com as taxas de emissão de gases de efeito estufa, tem sido estudado por diversos autores, corroborando com os resultados apresentados nesse estudo (HUBER-HUMER & LECHNER, 2003; ABICHOU *et al.*, 2009; REICHNAUER *et al.*, 2011). A presença de composto orgânico, portanto, contribui de forma decisiva para a manutenção da vegetação durante todos os ciclos climáticos e para uma retenção de umidade superior em camadas do tipo metanotrófica, do que nas denominadas camadas convencionais que são comumente utilizadas em cobertura de aterros no Brasil. Embora não apresentados nesse trabalho, mas já apresentado em outros artigos (LOPES *et al.*, 2011) a camada metanotrófica estudada apresentou, em períodos de seca, emissões fugitivas CH₄ inferiores a da camada convencional, demonstrando portanto que a vegetação é um fator fundamental para proteção ambiental e que a umidade tem um papel importante nesse processo.

CONCLUSÕES

As camadas de cobertura de aterros sanitários se constituem em um importante sistema de proteção ambiental no sentido de reduzir os impactos de emissões de biogás para atmosfera. Um dos principais fatores que rege os processos de fluxo de biogás no solo é a umidade. Para solos em regiões onde há grandes diferenças entre os períodos de seca e de chuva, o teor de umidade é fundamental em regular o transporte de biogás, no entanto, essa umidade pode ser retida a partir de características do solo e da presença da vegetação.

Nesse trabalho ficou demonstrado que em solos com presença de vegetação e com mistura de composto no solo, a umidade variou significativamente entre os períodos de seca e chuva, no entanto se manteve bem acima da umidade em solos compactados e sem vegetação. Essa manutenção de altos teores de umidade na camada de cobertura propicia a retenção total ou o incremento do processo de oxidação de metano, diminuindo também as emissões desse biogás, tendo em vista que a umidade é um fator chave nesse processo, como demonstrado por diversos autores. A presença de composto orgânico na mistura de solo propiciou, portanto, a presença constante de vegetação e a retenção maior de umidade na camada metanotrófica.

Devido a ausência de normatização para projetos de camadas de cobertura de aterros sanitários que leve em consideração as características dos materiais como elemento de proteção ambiental, pode-se afirmar que em projetos de camadas de cobertura de aterros sanitários e de recuperação de áreas degradadas por lixões deve ser adicionado de composto ao solo, tanto para proteção final contra intempéries quanto para manutenção de umidade e consequentemente proteção ambiental e minimização de emissões de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABICHOU, T.; MAHIEU, K.; YUAN, L.; CHANTON, J.; HATER, G. Effects of compost biocovers on gas flow and methane oxidation in a landfill cover. *Waste Management* 29, 1595–1601. 2009.
2. ABNT. Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro. 1997.
3. AIT-BENICHO, S.; CABRAL, A. R. PANAROTTO, C. T. Evolution of biodegradation of deinking by-products used as alternative cover material. *Waste Management* v. 28, p 85-96. 2008.
4. BOHN, S.; JAGER, J. Microbial methane oxidation in Landfill Top covers – process study on an MBT Landfill. In: *Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 2009.
5. BRASIL. Lei nº. 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. 2010.
6. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 212p. 1997.
7. HUMER-HUMER, M.; LECHNER, P. Effects of Methane Oxidation on the Water balance of the landfill cover and the vegetation layer. In: *Proceedings Sardinia 2003. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula. Italy. 2003.
8. IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> > Acesso em: 10 set. 2012. Brasília. 2010.
9. JUGNIA, L.-B.; CABRAL, A. R.; GREER, C. W. Biotic methane oxidation within an instrumented experimental landfill cover. *Ecological Engineering*. Vol. 33 pp.102–109. 2008.
10. LOPES, R.L.; MACIEL, F.J.M.; MARIANO, M.O.H.; JUCÁ, J.F.T.; OLIVEIRA, L.R.G. Minimização de emissões de metano em aterros de resíduos sólidos através de camadas metanotróficas. 26º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre-RS. 2011.
11. MCT. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília. 2005.
12. PARK S.; LEE, C. RYU, SUNG, K. Biofiltration for Reducing Methane Emissions from Modern Sanitary Landfills at the low methane generation stage. *Water Air Soil Pollute*. 196:19–27. 2009.
13. POWELSON, D. K.; CHANTON, J.; ABICHOU, T.; MORALES, J. Methane oxidation in water-spreading and compost biofilters. *Waste Management and Research*, Vol. 24, No. 6, pp 528-536. 2006.
14. REICHENAUER, T. G.; WATZINGER, A.; RIESING, J. GERZABEK, M. Impact of different plants on the gas profile of landfill cover. *Waste Management* 31 p. 843-853. 2011.
15. ROSE, J.L.; GOUVEIA, P.P.F.; MAHLER, C. F. Study of methane oxidation on a covering layer. In: *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 2007.