

III-217 - INFILTRAÇÃO EM CAMADAS DE COBERTURA DE ATERRO SANITÁRIO NO NORDESTE BRASILEIRO

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.

Maria Cristina Moreira Alves

Prof.^a. Dept.^o. Eng. Civil e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PEA) e Engenharia Urbana (PEU) da UFRJ, Prof.^a. Colaboradora do Programa de Pós-graduação em Eng. Civil (PPGEC) da UFPE. Doutora em Eng.^a. Civil pela PUC-Rio. 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.

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

A quantidade do líquido produzido em um aterro depende de fatores como: condições meteorológicas locais, geologia e geomorfologia, grau de compactação das camadas de cobertura e capacidade de retenção de umidade dos solos, dentre outros aspectos, e também das condições de operação do aterro. Poucos estudos estão relacionados com medições de infiltração em camadas de cobertura no Brasil sendo esse um fator determinante na vazão de lixiviados de um aterro sanitário. Para regiões de clima árido e semi-árido, ou com longos períodos de estiagem e eventos de elevada precipitação em curtos períodos de tempo, as camadas de cobertura devem ter configurações que minimizem os efeitos dessas variações, nas taxas de infiltração de líquidos. Um estudo sobre infiltração foi conduzido em dois tipos de cobertura para se avaliar o impacto dessas novas configurações na geração de lixiviados, ambas executadas na célula experimental do aterro da Muribeca-PE sendo: i) uma cobertura de solo convencional e ii) uma cobertura alternativa denominada metanotrófica. As duas camadas foram monitoradas durante 18 meses e a MET01 apresentou uma infiltração superior à CONV, porém em níveis aproximados do máximo permitido pela USEPA para climas úmidos (com Precipitação/Evapotranspiração > 0,75). Não se observou a formação de caminhos preferenciais na área de estudo, tendo em vista que não houve aumento das taxas de drenagem de um período chuvoso para outro. Devido a manter uma umidade maior no perfil do solo um benefício advindo da utilização da MET01 foi que esta apresentou emissões de CH₄ três vezes inferior que as emissões apresentadas pela CONV, tornando seu uso promissor para minimização de emissões de gases de efeito estufa sem aumentar substancialmente a vazão de lixiviados, além de permitir a presença de vegetação ao longo de todo o ano, minimizando processos erosivos, comuns em coberturas sem proteção vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, camada de cobertura, cobertura metanotrófica, infiltração, lixiviado.

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. A PNSB revela que, em municípios de até 50 mil habitantes, o destino final em aterros sanitários tem tido índices aproximados da média nacional (IBGE, 2010).

Os resíduos sólidos urbanos quando lançados em aterros sanitários ou lixões, geram, através de processos de biodegradação aeróbia e anaeróbia, gases que são classificados como gases de efeito estufa (GEE) e contribuem para o aquecimento global e líquidos que tem alto poder poluidor devido às suas características físico-químicas e microbiológicas.

A quantidade do líquido produzido em um aterro depende de fatores como: condições meteorológicas locais, geologia e geomorfologia, grau de compactação das camadas de cobertura e capacidade dos solos em reter umidade, dentre outros aspectos e condições de operação do aterro. Segundo Lange e Amaral (2009), o fator determinante na vazão de lixiviados de um aterro sanitário é o volume de águas pluviais infiltradas, enquanto o fator determinante das características físicas, químicas e microbiológicas do lixiviado são as características dos resíduos sólidos aterrados.

A cobertura final de aterros tem como finalidade formar uma barreira hidráulica para limitar a infiltração para dentro dos resíduos. De acordo McCartney e Zornberg (2002), em aterros de resíduos sólidos, é necessário que haja uma quantidade ótima de água a ser infiltrada para satisfazer as condições de biodegradação e a geração de percolado em níveis ambientalmente aceitáveis, por isso é interessante se analisar configurações e diferentes tipos de materiais que possam ser consideradas boas alternativas que atendam aos requisitos de proteção ambiental. No Brasil os requisitos para os tipos materiais e as especificações das características para camadas de cobertura final não são claramente definidas nas normas de projetos de aterros sanitários, exigindo-se apenas que o material da camada superior apresente condutividade hidráulica inferior à da camada de base ou do solo local.

As camadas de cobertura são comumente estudadas com base na análise do balanço hídrico que contabiliza o movimento de entrada, armazenamento e saída de água na cobertura. O fluxo de água e umidade entre a superfície do solo e a atmosfera é um processo complexo que apresenta três fatores principais. O primeiro fator diz respeito ao suprimento e demanda de água impostos pelas condições atmosféricas tais como precipitação total, evapotranspiração, velocidade dos ventos, umidade e temperatura do ar. O segundo fator é a capacidade do solo em transmitir água que é função da condutividade hidráulica e de suas características de armazenamento e de retenção de água e o último fator está relacionado com a influência da vegetação. (BORMA e KARAM FILHO, 2004).

O desempenho das camadas de cobertura geralmente construídas apenas com argila sofre variações ao longo do tempo, devido a formação de fissuras e trincas que podem causar fluxos preferenciais de líquidos, interferindo assim na geração de lixiviados. Por outro lado, camadas de cobertura que apresentam baixa infiltração podem representar uma fonte de emissões de biogás, tendo em vista que trabalham na maior parte do tempo com umidades abaixo daquela de passagem generalizada de ar, onde o biogás circula livremente entre os poros do solo.

Os estudos referentes à infiltração em camadas de cobertura se relacionam basicamente com a influência da precipitação na geração de lixiviados sem avaliar a influência das características dos materiais usados na taxa de infiltração efetiva. Em regiões de clima árido e semi-árido, ou com longos períodos de estiagem e eventos de elevada precipitação em curtos períodos de tempo, os fluxos preferenciais são mais frequentes e devem ser analisados do ponto de vista das características dos materiais, para que o desempenho das camadas de cobertura seja de forma a não comprometer a função de proteção ambiental, sem incremento prejudicial na geração de lixiviados.

Alternativas de materiais e configurações no perfil de camadas de cobertura de aterros de RSU vêm sendo estudados com objetivos de proteção ambiental mas especificamente na redução de emissões de biogás, havendo a necessidade de se avaliar o impacto dessas novas configurações na geração de lixiviados. Esse trabalho tem como objetivo medir a taxa de infiltração de uma cobertura denominada metanotrófica (executada como solo compactado e mistura de composto e solo) e comparar com uma camada convencional de solo compactado, ambas executadas na célula experimental do aterro da Muribeca-PE, em clima chuvoso, analisando-se sua adequação na região nordeste do Brasil, do ponto de vista de infiltração e de proteção ambiental.

METODOLOGIA

Esse estudo foi realizado na célula experimental localizada no aterro da Muribeca-PE como descrito em Maciel (2009). Essa célula foi implantada numa área 65m x 85m e preenchida no período de junho de 2007 a fevereiro de 2008 com RSU perfazendo uma altura de 9 m e correspondendo a 36.659 toneladas de resíduos.

A camada alternante foi executada com 30 cm de solo fino compactado, sobreposto com mais 30 cm de uma mistura de solo e composto na proporção de 50% em volume e a camada convencional foi executada com 70 cm de solo compactado sobre os resíduos. Todos os materiais foram caracterizados em campo, de acordo com as normas de solo da ABNT.

A medida de infiltração de água pelas camadas de cobertura foi realizada com medida direta através de dispositivo localizado na base da camada de cobertura. Próximo aos dispositivos de medição de infiltração foi instalado sensores para medição de temperatura (conector e fio termopar tipo “k”) e umidade (sensor de umidade volumétrica EC5 da DECAGON DEVICES), em três profundidades na MET01 e na CONV respectivamente.

As leituras de temperatura e de umidade foram feitas semanalmente através de termômetro digital modelo APPA Mt-520 de sensibilidade de 0,1°C e a medição de umidade volumétrica foi feita com equipamento modelo ProCheck da DECAGON DEVICES. Os dados de precipitação foram obtidos do INMET (Estação Curado-Recife/PE).

O dispositivo foi confeccionado em chapa de aço-carbono com espessura de 2 mm, e tratamento anti corrosão, com área transversal de 60 x 60 cm de área, localizado abaixo da camada de cobertura. O volume de água infiltrado era coletado em provetas plásticas, a partir de uma torneira instalada no talude lateral da célula diariamente (exceto sábados e domingos), como mostrado pela Figura 1 e a partir das relações de forma do infiltrômetro, foi determinada a altura de água infiltrada, em mm.

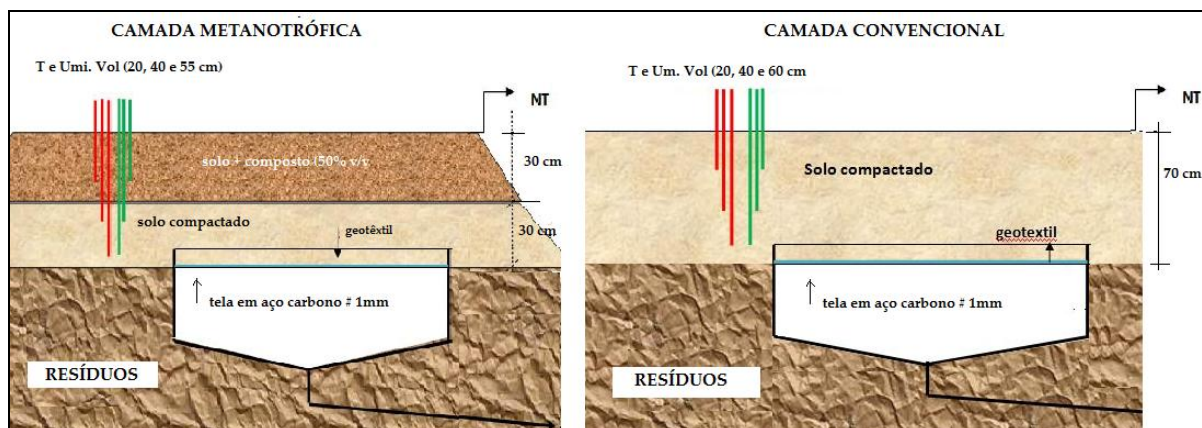


Figura 1: Instrumentação usada para medir taxa de infiltração em duas camadas de cobertura de aterro de RSU

RESULTADOS

Características dos materiais

O solo utilizado na camada convencional é composto por 29% de argila, 23% de silte, 47% de areia e 1% com diâmetro superior a 2 mm. O percentual de finos é de 53% (% de partículas com diâmetro inferior a 0,0075mm). Os limites de LL e IP são respectivamente 42% e 13%. O solo foi compactado com 94% de grau de compactação e porosidade média foi de 0,43. Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) os materiais se classificam como solos siltosos de baixa plasticidade (ML), com baixo índice de atividade.

A mistura de solo e composto na proporção de 50% em volume, utilizada na camada superior da camada metanotrófica apresentou características de 23% de argila, 29% de silte, 41% de areia e 7% com diâmetro superior a 2 mm. Os limites de LL e IP são respectivamente 52% e 12%. O solo foi compactado com 95% de grau de compactação e porosidade média foi de 0,52. Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos

(SUCS) os materiais se classificam em silte de alta plasticidade (MH). A adição de composto ao solo conferiu um aumento na porosidade total e um aumento no limite de liquidez.

O teor de umidade a partir da qual o solo começa a drenar denominada de capacidade de campo (w_{cc}) foi determinado para amostras de solo coletadas em campo. Para a mistura de solo e composto a w_{cc} foi de 28,7% e para o solo da camada convencional foi a w_{cc} foi de 22,2%.

Taxas Infiltração

A medida de infiltração nas duas camadas de cobertura no período avaliado está mostrado na Figura 2 e na Tabela 1 é apresentado a infiltração acumulada mensal normalizada pela espessura da camada.

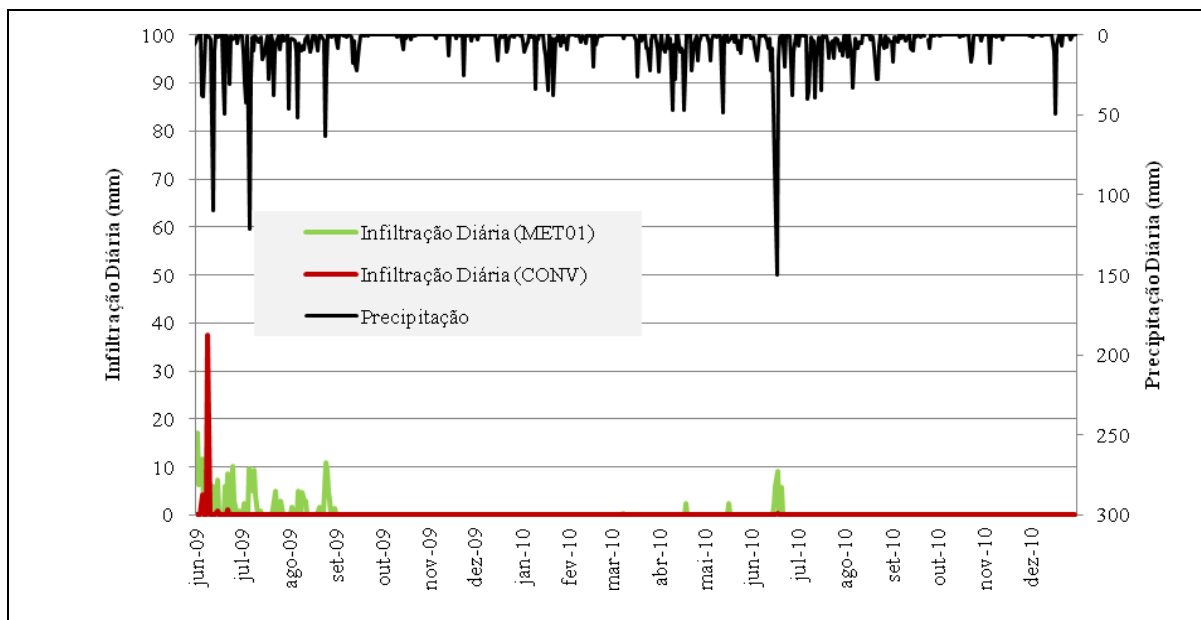


Figura 2: Precipitação x Infiltração (jun/09 a dez/10).

Tabela 1: Infiltração normalizada nas camadas de cobertura.

Mês	Precipitação (mm)	Infiltração mm/m ² .m	
		Metanotrófica	Convencional
Junho/09	333,00	68,51	30,78
Julho/09	387,80	30,43	0,18
Agosto/09	288,40	29,30	0,00
Setembro/09	83,30	0,01	0,00
Outubro/09	16,30	0,17	0,00
Novembro/09	49,90	0,20	0,00
Dezembro/09	47,80	0,28	0,00
Janeiro/10	193,40	0,13	0,00
Fevereiro/10	45,20	0,12	0,00
Março/10	92,70	0,44	0,00
Abril/10	273,30	1,43	0,00
Maio/10	114,20	1,43	0,00
Junho/10	543,90	13,82	0,24
Julho/10	267,60	0,00	0,00
Agosto/10	191,20	0,00	0,00
Setembro/10	72,70	0,00	0,00
Outubro/10	37,40	0,19	0,00
Novembro/10	23,90	0,06	0,00
Dezembro/10	84,80	0,00	0,00
Média Mensal		7,71	1,64

Os resultados apresentados confirmam que no período avaliado a MET01 apresentou taxa de infiltração média mensal 4,7 vezes superior que a camada convencional. Também se verifica-se na Tabela 01 que a camada MET01 apresentou uma maior taxa infiltração nos meses de maior precipitação quando comparado à camada convencional, igualando-se com um mínimo de infiltração nos meses de menor precipitação. A camada metanotrófica apresentou infiltração mensal variando entre 32% e 14% para os meses de alta precipitação no início do monitoramento, porém devido as variações climáticas da região, no 2º. período chuvoso monitorado, essa infiltração se reduziu para 6,6%.

Em meses com precipitação inferior a 273 mm, com chuvas esparsas, de intensidade abaixo de 50 mm/dia, essa camada funcionou com mesmo desempenho que camada convencional, com baixíssimas taxas de infiltração, sendo um indicativo para utilização em regiões de baixo índice pluviométrico como é o caso da região semi-árida do nordeste do Brasil.

A média mensal não representou adequadamente a infiltração, tendo em vista o fato de as maiores infiltrações terem ocorrido próximo da execução da camada de cobertura, da maior umidade nesse período, seguindo-se de um período relativamente úmido. Dessa forma a Figura 3 mostra a distribuição da taxa mensal normalizada pela espessura, em cada camada de cobertura.

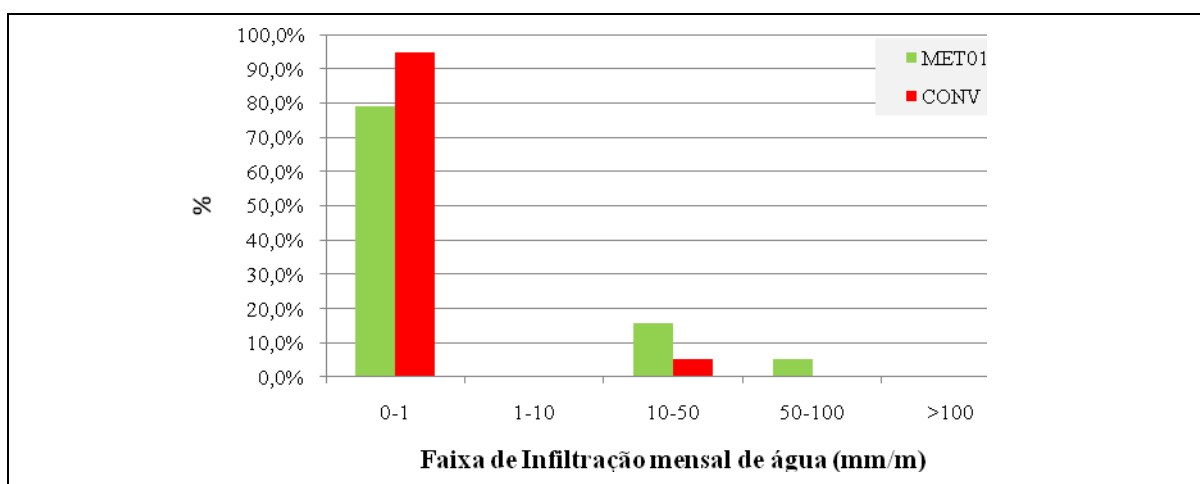


Figura 3: Distribuição da taxa mensal de infiltração normalizada em cada camada de cobertura.

Verifica-se que do ponto de vista de infiltração a camada alternativa MET01 apresentou taxa mensal situando-se dentro da faixa de 0 a 1 mm.m/mês em 79% das medidas e 94% na camada convencional, com picos de infiltração de 10 a 50 mm/m verificados em meses de excedente hídrico superior a 400 mm na camada MET01, durante o período monitorado. Ou seja, na maior parte do tempo a MET01 apresentou infiltrações da ordem de 0 a 1 mm.m/mês, semelhante à camada convencional.

A Figura 4 mostra as variações de umidade em perfil, medidas nesse período para a camada metanotrófica e convencional respectivamente, e a infiltração diária medida.

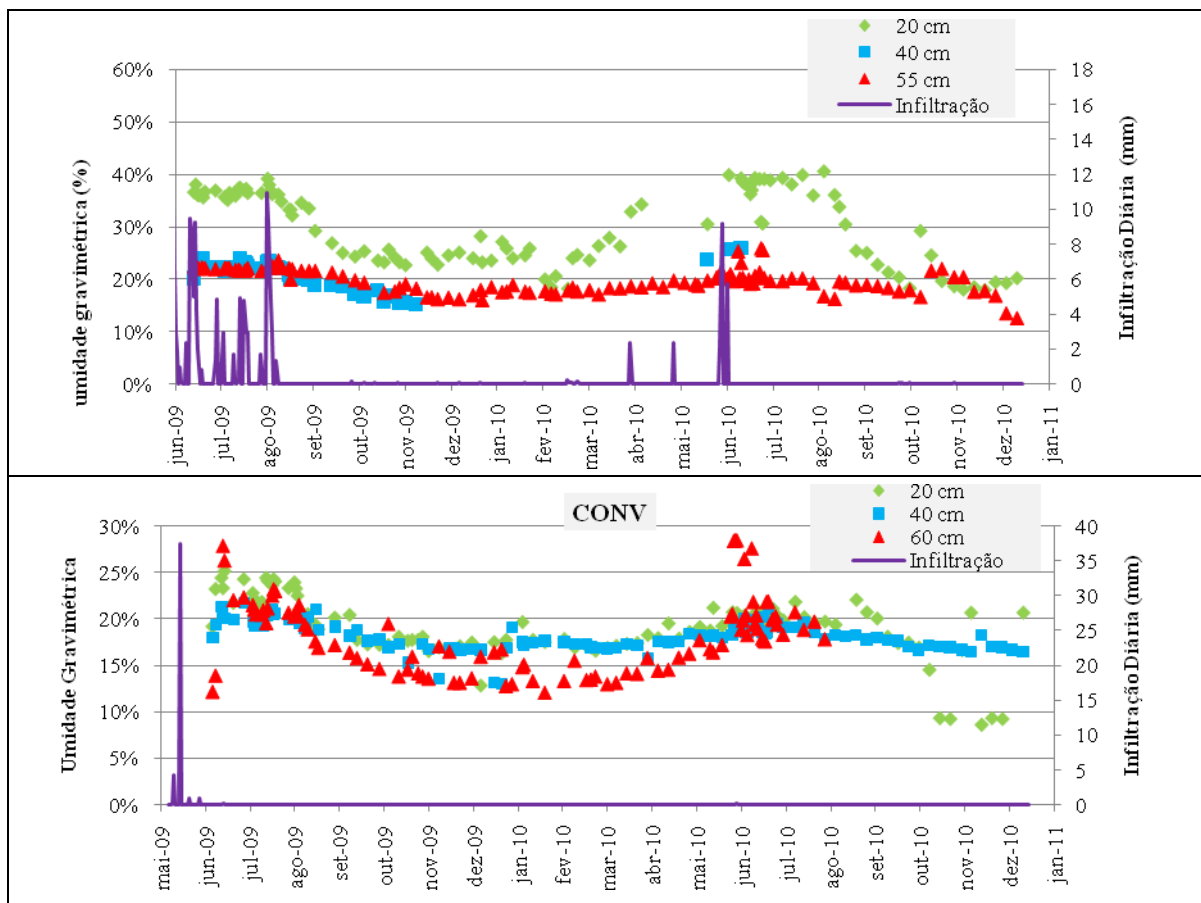


Figura 4: Variação de umidade e infiltração medida em cada camada de cobertura.

Verifica-se que a cobertura se comporta de acordo com o princípio do balanço hídrico, apresentando percolação quando a capacidade de armazenamento de água é excedida. Se observa que a infiltração só se dá quando todo o perfil do solo atinge a capacidade de campo.

No período avaliado a umidade da camada metanotrófica variou de 15,3% a 39,3% nos 20 cm iniciais enquanto na camada convencional essa umidade se situou entre 12,2% a 28,9%, concluindo-se que a camada de solo e composto (parte superior da camada metanotrófica) tem maior capacidade de armazenamento de água.

A configuração da camada superficial (30 cm de solo e composto) da camada metanotrófica, proporcionou o crescimento de vegetação durante todo o ano, favorecido pela presença de matéria orgânica e pelo maior teor de umidade, e esse fator condicionou uma maior retenção de água durante períodos de chuva intensa e uma maior evapotranspiração em períodos secos, demonstrando que a MET01 apresentou um comportamento de camada evapotranspirativa. Uma das vantagens da presença de vegetação em todos os períodos do ano (mesmo nos mais secos) na camada metanotrófica é a proteção contra fenômenos erosivos decorrente de chuvas e ventos. O tipo e a densidade de vegetação afetam a evaporação por meio do consumo de água através das raízes e também afetam as taxas de escoamento superficial.

Hupe *et. al.* (2003) investigando 3 sistemas de cobertura envolvendo camadas com composto na parte superficial também concluíram que a adição de composto na superfície das camadas de cobertura aumenta a capacidade de armazenamento de água e que as flutuações de precipitação na superfície da camada são refletidas rapidamente nas variações de umidade superficial, mas que são insignificantes no subsolo.

De maneira similar à camada metanotrófica, Albright *et al.* (2004) investigaram camadas evapotranspirativas concluindo que o comportamento da camada variou em resposta ao desenvolvimento da vegetação e do perfil de formação do solo. Os autores mencionam que os primeiros 6 meses, foi caracterizado pela alta taxa de percolação e alto armazenamento de umidade antes de a vegetação se instalar. Nos meses seguintes observou-se uma pequena percolação em função do rápido desenvolvimento da vegetação e da secagem do perfil do solo devido à transpiração. No final do período monitorado, o perfil do solo continuou com baixas umidades devido

a seca e a transpiração das plantas, com taxas de percolação semelhantes às apresentadas nos primeiros 6 meses de monitoramento.

A camada convencional estudada apresentou durante todo o tempo monitorado, menores variações de umidade, e poucos eventos de infiltração. Isso se deve à condição não saturada em quase 100% do período, apresentando baixa taxa de infiltração, mesmo para regiões com eventos de chuva de grade magnitude em curto período de tempo, como é o caso do local da célula experimental. Observou-se também que a camada convencional apresentou nos meses mais secos, fendas superficiais devido ao tipo de material utilizado (solo silte-arenoso), que quando submetido a eventos de umedecimento e secagem, podem formar trincas que favorecem a ocorrência de fluxos preferenciais. Verificou-se que na área de pesquisa da camada convencional, a infiltração não foi influenciada pela presença das trincas, pois os poucos eventos de infiltração ocorreram somente quando a camada atingiu sua capacidade de armazenamento, confirmando que o dispositivo utilizado para medição de infiltração funcionou adequadamente.

CONCLUSÕES

Este estudo teve a finalidade de avaliar alternativas de materiais para cobertura de RSU na região do Nordeste brasileiro, especificamente para regiões de alto índice pluviométrico como é o caso das regiões litorâneas, quanto ao aspecto de infiltração de águas pluviais. Sabe-se que as camadas de cobertura de aterro do tipo metanotróficas vêm sendo estudadas com o objetivo de redução das emissões de metano para a atmosfera, porém suas características não devem implicar em aumento significativo na produção de lixiviados, tendo em vista a finalidade de proteção ambiental desse elemento de projeto.

No Brasil não há regulamentações a respeito de taxas de infiltração permitidas em aterros sanitários e segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), essa taxa não deve exceder a 30 mm/ano para regiões de clima úmido, como é o caso da região onde estão instaladas as camadas experimentais.

Considerando a infiltração anual, no ano de 2010, a camada MET01 infiltrou 29,8 mm enquanto que a camada convencional apresentou uma infiltração quase nula, comparando-se a infiltrações verificadas por outros autores em clima árido e semi-árido dos Estados Unidos.

Apesar de não haver divisão interna no aterro para os diferentes tipos de camada, se observou em piezômetros instalados na região da camada metanotrófica uma maior variação na altura de líquidos internos ao aterro do que em medições em outro piezômetro na região da camada convencional, cuja altura de líquidos, permaneceu quase constante ao longo do período monitorado, confirmando a infiltração maior na camada metanotrófica.

Tendo em vista que é desejável a ocorrência de umidade no interior do aterro sem que isso implique em aumento considerável de volume de lixiviado gerado e de elevação da altura interna, que pode causar risco de instabilidade para aterros verticalizados, a taxa de infiltração verificada na camada metanotrófica se apresentou satisfatória, para aterros em regiões do Nordeste do Brasil, onde os índices pluviométricos são variados na região litorânea.

A infiltração na camada do tipo convencional foi bem inferior durante os meses de precipitação elevada, em comparação com a camada metanotrófica, porém há de se avaliar os benefícios/males desse tipo de material usado em coberturas finais de aterros para as emissões de biogás.

A camada metanotrófica apresentou desempenho similar à camada convencional, em meses de precipitação inferior a 273 mm, com chuvas de intensidade inferior a 50 mm/dia e dessa forma a utilização desse tipo de material pode ser considerada como alternativa viável para cobertura final de aterros, pois a infiltração anual medida (ano de 2010) não excedeu as taxas propostas para regiões de clima úmido, de acordo com a USEPA.

As vantagens adicionais de se utilizar as camadas alternativas do tipo metanotrófica são: a presença constante de vegetação que minimiza erosões, promove maior retenção de umidade no perfil do solo, sendo a umidade um fator fundamental que influencia nos processos de oxidação de metano e retenção de biogás em camadas de cobertura de aterros e a possibilidade de uso de composto orgânico, dando destino adequado aos subprodutos de compostagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES pela bolsa de doutorado do primeiro autor pelo programa de cooperação acadêmica – PROCAD que permitiu a troca de experiências sobre esse tema com outras universidades no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBRIGHT, W. H.; BENSON, C.H.; GEE, G. W.; ROESLER, A. C.; ABICHOU, T. (2004) Field Water Balance of Landfill Final Covers. *Journal of Environmental Quality*. Vol.33: pp. 2317-2332.
2. BORMA, L. S.; KARAM FILHO, J. (2004) Aspectos teóricos da modelagem do balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera. In: 5º. Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. São Carlos/SP. pp. 217-222.
3. HUPE, K.; HEYER K.-U.; BECKER, J. F.; TRAORES, O.; NOETZEL, S.; STEGMAN, N. R. (2003) Investigations of alternative landfill surface sealing systems in test fields. In *Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.
4. 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.
5. LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. (2009) Geração e Características do Lixiviado. In: GOMES, L. P. (Coord) *Estudos de Caracterização e Tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras*. Rio de Janeiro, ABES. 358p.
6. Maciel, F.J. (2009). Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife-PE. 350p.
7. McCARTNEY, J.S., AND ZORNBERG, J.G. (2002). Design and Performance Criteria for Evapotranspirative Cover Systems. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Geotechnics*, A.A. Balkema, Vol. 1, pp. 195-200.