

III-262 – ESTUDO DA CAMADA DE COBERTURA FINAL DE ATERRO SANITÁRIO COM ENFOQUE NA OXIDAÇÃO DO GÁS METANO

Andressa Franco Soares⁽¹⁾

Bióloga formada pela Pontifícia Universidade Católica do Rio grande do Sul (PUCRS). Mestre em Engenharia Civil pela UNISINOS.

Marina Brenner Medtler

Gestora Ambiental formada pela Universidade do Vale dos Sinos (Unisinos). Mestranda em Engenharia Civil na Unisinos.

Jaqueline Domingues Teixeira Petry

Estudante de Biologia Universidade do Vale dos Sinos (Unisinos). Bolsista no Laboratório de Saneamento Ambiental da Unisinos.

Luis Alcides Chiavo Miranda.

Químico Industrial formado pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Pós-doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH). Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado Acadêmico em Gerenciamento de Resíduos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Luciana Paulo Gomes

Engenheira Civil formada pela Universidade do Vale dos Sinos (Unisinos). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado Acadêmico em Gerenciamento de Resíduos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Coordenadora Sistema de Gestão Ambiental da Unisinos.

Endereço⁽¹⁾: Av. Unisinos, 950- Cristo Rei – São Leopoldo – RS – CEP: 93022-000 – Brasil – 21 (51) Rua/Av. Nome do Logradouro, Número do Logradouro e/ou Complemento - Bairro - Cidade - Estado - CEP: 20000-000 - País - Tel: +55 (51) 3591-1122 - e-mail: franco_andressa@yahoo.com.br.

RESUMO

No Brasil, cerca de 60% dos municípios dispõem seus resíduos em locais inadequados, sem nenhum tipo de tratamento, causando prejuízos ao ambiente. A elevada proporção de matéria orgânica biodegradável presente na massa de resíduos associada às altas taxas de água que percola para o interior do aterro, criam as condições ideais para originar os principais subprodutos da sua degradação: lixiviado e gases (CO₂, CH₄, NH₃, N₂O). Destes, o metano é o que apresenta maior potencial para causar o efeito estufa. O sistema de cobertura final dos resíduos é a principal estrutura para evitar a poluição do ar devido aos gases gerados em aterros de resíduos sólidos. O sistema de cobertura deve impedir a infiltração da água de chuva e a liberação de gases para atmosfera. Esta pesquisa visou observar a presença micro-organismos com potencial de oxidar metano na cobertura do aterro Municipal de São Leopoldo. A presença destes microrganismos pode auxiliar na minimização da emissão de gases causadores do efeito estufa. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Saneamento Ambiental. A partir de amostras de solo coletadas na cobertura do aterro foram realizados ensaios de caracterização geotécnica. Dois tipos de solo foram identificados na cobertura do aterro: solo areno-argiloso e solo areno-siltoso. A espessura da camada de cobertura dos pontos amostrados apresentou valores entre 30 cm e 90 cm de altura. Também foram realizados ensaios de controle do consumo de gás metano e observação microscópica do crescimento da microbiota presente nos frascos com meio de cultura específico para o crescimento de bactérias metanotróficas. A análise cromatográfica dos frascos controle sugere a redução dos percentuais de metano durante o período de incubação. Porém, não ocorreu a turvação do meio de cultura em nenhum dos frascos analisados durante o período de incubação (20 dias). Após o período de incubação os frascos das amostras P7 e P8 foram mantidos na estufa a uma temperatura de 30°. Verificou-se, 13 dias depois, que os frascos controle turvaram.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Bactéria Metanotrófica, Cobertura de Aterro, Oxidação Biológica de Metano.

INTRODUÇÃO

A expansão desordenada dos grandes centros urbanos, em consequência do crescimento populacional trás consigo uma série de impactos ao ambiente. Desta forma, o aumento na geração de resíduos pode ser caracterizado como uma consequência negativa do crescimento das cidades.

O tratamento e a destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tornam-se, cada vez mais, um desafio para os municípios, principalmente em países em desenvolvimento. Atualmente, o método mais utilizado para o tratamento e destinação final dos RSU é o aterro sanitário por apresentar menor custo e minimizar os impactos ambientais. O confinamento dos RSU em aterros é finalizado, na maioria das vezes, com uma cobertura de argila levemente compactada. Entretanto, a alta concentração de matéria orgânica presente no resíduo que varia entre 40% – 70%, associada à elevada proporção de água que percola para o interior do aterro, criam-se às condições ideais para originar os principais subprodutos da degradação dos resíduos: o lixiviado e os gases causadores do efeito estufa (CO_2 , CH_4 , NH_3 , N_2O). Destes, o CH_4 é o que apresenta maior potencial de aquecimento global.

O sistema de cobertura dos RSU é um dos principais mecanismos utilizados para evitar a poluição atmosférica pelos gases gerados durante o processo de degradação da matéria orgânica presente no interior do aterro. Uma das alternativas para aumentar a eficiência das camadas de cobertura de aterros seria a utilização de materiais que favoreçam o desenvolvimento de bactérias metanotróficas, responsáveis pela oxidação do gás metano.

Segundo Hanson & Hanson (1996) as bactérias metanotróficas são classificadas como únicos microrganismos com a capacidade de utilizar metano como fonte de carbono e energia. Outra característica destas bactérias é sua condição estritamente aeróbia. Geralmente se apresentam na forma gram negativa e utilizam uma variedade de compostos, incluindo o metano, metanol, aminas, halometanos e compostos metilados contendo enxofre. Neste contexto, a presente pesquisa visa observar a presença de bactérias com potencial oxidativo do gás metano, na cobertura do aterro de Municipal de São Leopoldo. Para isso foram realizados ensaios geotécnicos, para caracterizar o solo amostrado, e ensaios microbiológicos. A melhor compreensão dos fatores que influenciam nos processos microbiológicos de oxidação do metano em cobertura de aterros pode contribuir na eficiência destas e na redução de emissões de gases do efeito estufa.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho foi dividida em duas etapas: coleta de amostras de solo na cobertura do aterro sanitário de São Leopoldo e a preparação das amostras para o desenvolvimento dos ensaios microbiológicos no Laboratório de Saneamento Ambiental da Unisinos.

As duas etapas serão descritas a seguir:

PRIMEIRA ETAPA: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO DA CAMADA DE COBERTURA FINAL E COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas, em oito pontos distintos, na cobertura do aterro sanitário de São Leopoldo-RS, localizado na Estrada do Socorro, S/N Arroio da Manteiga. Os pontos de coleta foram escolhidos em função de espessura da camada de cobertura e tipo de material empregado no Aterro Sanitário. As amostras de solo da cobertura do aterro foram ensaiadas no Laboratório de Mecânica dos Solos da Unisinos, sendo determinadas as seguintes características, mediante os métodos citados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização dos solos empregados na camada de cobertura final do aterro sanitário estudado.

Parâmetro	Método
Análise Granulométrica	NBR – 7181/86
Peso específico e real dos grãos	NBR – 6508/84
Limite de liquidez (%)	NBR – 6459/84
Limite de plasticidade (%)	NBR – 7180/88
Limite de contração (%)	NBR – 7183/86

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A Tabela 2 mostra os dados referentes à localização e a caracterização de cada ponto amostrado na cobertura do aterro sanitário de São Leopoldo.

Tabela 2. Características dos pontos de amostragem na cobertura final do aterro sanitário de São Leopoldo

Pontos	Coordenadas geográficas	Data de coleta	Temperatura ambiente	Espessura da camada de cobertura (cm)	Tempo médio de aterramento dos resíduos na célula (meses)
P1	491.577E, 6.670.806N	24/09/2010	22 °C	30 ⁽¹⁾	3
P2	491.577E, 6.670.806N	24/09/2010	22 °C	90 ^{(1), (2)}	6
P3	049.1577E, 6.670.806N	22/10/2010	26 °C	69 ^{(3) (4)}	4
P4	049.1577E, 6.670.806N	22/10/2010	26 °C	49 ^{(1) (4)}	3
P5	048.1167E, 6.710.685N	19/11/2010	32 °C	77 ^{(1) (4)}	2
P6	048.1690E, 6.710.676N	19/11/2010	32 °C	35 ^{(1) (4)}	1
P7	048.1725E, 6.710.760N	07/01/2010	27 °C	53 ⁽³⁾	12
P8	048.1682E, 6.710.758N	07/01/2010	27 °C	55 ⁽³⁾	12

(1) Sem cobertura vegetal.

(2) Os primeiros 10 cm da cobertura consistiam de composto orgânico produzido com resíduos sólidos domésticos compostados nas proximidades do aterro sanitário.

(3) Com cobertura vegetal.

(4) A camada de cobertura foi removida para continuar sendo realizada a disposição de resíduos no local.

Os dados indicados na Tabela 2 podem ser agrupados conforme duas características: tempo médio de aterramento dos resíduos e espessura da camada de cobertura, respectivamente. Assim, verificou-se que o tempo de aterramento nas partes de aterro sanitário estudado variou de um a doze meses e a espessura da camada de cobertura ficou entre 30 e 90 centímetros.

A composição granulométrica de cada ponto de amostragem pode ser observada na Tabela 3. A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas dos solos de todos os pontos amostrados.

Tabela 4. Resultados referentes aos limites Atterberg, índice de plasticidade, peso específico e real dos grãos.

Amostras	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Limite de contração (%)	Índice de Plasticidade (%)	Peso específico e real dos grãos (g/cm ³)
P1	26,79	23,67	22,52	3,12	2,71
P2	26,32	20,58	19,50	5,74	2,74
P3	26,59	23,46	20,85	3,13	2,65
P4	25,23	22,33	20,38	6,67	2,68
P5	25,36	24,26	22,05	1,09	2,38
P6	26,15	24,84	23,17	1,32	2,44
P7	26,78	20,36	20,15	6,42	2,71
P8	27,42	23,24	22,48	4,18	2,66

Conforme o Sistema de Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) foram identificados dois tipos de solo na camada de cobertura estudada: o primeiro uma areia argilosa, mal graduada, com argila de baixa compressibilidade (SC) nos pontos P5 e P6 e o segundo uma areia siltosa, mal graduada, com argila de baixa compressibilidade (SM), nos pontos P1, P2, P3, P4, P7 e P8. O local de coleta do solo para a cobertura do aterro parece ter sido alterado recentemente, já que os pontos P5 e P6 são aqueles amostrados em locais com os resíduos mais recentemente aterrados, 2 e 1 meses, respectivamente. Nessa área do aterro o solo empregado apresentou maior percentual de finos.

Segundo Maciel (2003) solos com granulometria fina são mais indicados para o controle das emissões de gás em aterros por reduzirem a permeabilidade e aumentar a retenção de umidade. Para esse autor além dos fatores geotécnicos e microbiológicos a composição da camada de cobertura apresenta grande influência na emissão de gases.

Os resultados (tanto dos limites como da granulometria) indicam que não ocorre grande diferença entre a classificação dos solos de cada ponto. O ponto 2, único que continha composto orgânico na cobertura não apresentou resultados que o diferenciasse fortemente dos outros pontos.

SEGUNDA ETAPA: ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS

Os principais objetivos desta etapa foram monitorar o consumo de CH₄ nas amostras coletadas da camada de cobertura do aterro sanitário e acompanhar o crescimento microbiano das bactérias lá presentes. Dessa forma foi possível verificar a presença de microrganismos potencialmente degradadores de metano encontrados nas amostras da camada de cobertura final do aterro sanitário estudado e ainda acompanhar e relacionar o consumo de metano desses organismos em condições dos ensaios realizados e a seguir descritos:

PREPARO, DISTRIBUIÇÃO E ESTOQUE DE MEIO DE CULTURA E SOLUÇÕES

O protocolo adotado para o desenvolvimento de bactérias metanotróficas foi adaptado de Rhavena (2007), a qual empregou técnicas reconhecidas para a manipulação de anaeróbios adaptando essas rotinas para o acompanhamento de bactérias metanotróficas.

O meio de cultura adotado foi descrito, primeiramente, por Heyer et al. (1984) apud Rhavena (2007), porém, neste trabalho utilizou-se a adaptação feita por Rhavena (2007). A maior parte das modificações deve-se aos cuidados na preparação das soluções e meio de cultura de forma a evitar a precipitação das mesmas após a autoclavagem.

Para todos os ensaios foram preparados sempre dois brancos – Branco A (controle negativo) somente com meio de cultura (10mL) e Branco B (controle positivo) com meio de cultura (10mL) e adição de 10% de metano na atmosfera do frasco (os demais 90% eram ar atmosférico). Os frascos foram fechados com batoque de borracha de butila e lacrados com selo de alumínio.

Além dos frascos de controle, foram preparados para cada ponto de amostragem mais 6 frascos com 1g de solo da amostra composta da camada de cobertura, meio de cultura (10mL) e adição de 10% de metano na atmosfera do frasco e 90% ar atmosférico. Um desses frascos serviu de frasco-mãe para as diluições seriadas (10^0). Os frascos foram fechados com batoque de borracha de butila e lacrados com selo de alumínio.

Cada ensaio realizado apresentou especificidades descritas por Soares (2011). A seguir serão descritas as principais diferenças entre cada ponto amostrado de forma a permitir posterior discussão dos resultados.

Tabela 2. Principais diferenças entre os pontos amostrados.

Amostra	Leitura Cromatográfica (t= inicial e t = final)	Agitação controlada	Troca de ar atmosférico	Injeção de metano	Acrodisc Millipore®	Acompanhamento microbiológico
P1 e P2	t=53 dias e t=70 dias	Não	Não	Sim	Não	Sim
P3 e P4	t=5 dias e t=25 dias	Não	Não	Sim	Não	Sim
P5 e P6	t=1 dias e t=26 dias	Sim	Sim	Não	Sim	Não
P7 e P8	t=0 dias e t=20 dias	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

ENSAIOS DE CONTROLE DE GÁS METANO

O cromatógrafo utilizado foi um DPC Digital Pressure Control, modelo Dani GC 1000, coluna analítica carbavax. Na fase estacionária foi empregado o gás carbônico e na fase móvel o gás hélio. As análises cromatográficas dos ensaios P7 e P8 foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Unisinos. O cromatógrafo utilizado foi um modelo Varian modelo STAR 3400 CX, coluna capilar Varian modelo CP 5860 com 30m de comprimento, 0,25mm de diâmetro interno e 0,25µm de espessura de filme. A temperatura adotada na coluna foi de 40°C e as temperatura do detector do injetor foram de respectivamente, 250 °C. As condições de operação foram obtidas com o suporte técnico do fabricante.

ENSAIOS DE ACOMPANHAMENTO MICROBIANO

Diluições decimais da amostra foram realizadas para permitir o acompanhamento microbiológico. As diluições foram realizadas em triplicata, até a diluição 10^{-8} , em frascos de antibiótico contendo 9 mL de meio de cultura. Os frascos foram incubados em estufa, sob condições mesofílicas, a temperatura de 30°C. As observações do crescimento celular foram feitas duas vezes por semana, de duas formas: avaliação da turvação do meio de cultura e por observação microscópica (microscopia de luz Zeiss Axiolab HBO 50), ocular de 10X e objetiva de 100X, de forma a avaliar-se a morfologia das culturas presentes. Também foi realizada a coloração de Gram.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS

Nesta pesquisa, optou-se primeiramente por fazer apenas a retroalimentação com o gás metano. Como não havia ocorrido nenhuma turvação nos frascos até a segunda amostragem (pontos P1, P2, P3 e P4) foi iniciado o processo de troca de ar atmosférico. Tal medida foi tomada para observar se desta forma iria ocorrer a turvação do meio. Ainda assim, em todos os outros 4 ensaios não observada a turvação de nenhum frasco durante os períodos de incubação. Ressalte-se que o meio de cultura utilizado e a concentração dos gases manteve-se coerente com a literatura. Uma possível explicação para não ter ocorrido a turvação dos frascos poderia ser a presença de substrato (solo do aterro) e ar atmosférico. Tais condições podem ter levado o crescimento de outros microrganismos, menos exigentes e que não necessitam de um período maior de aclimação.

Rhavana (2007) utilizou um período de 197 dias para o enriquecimento de suas amostras, para desta forma, garantir o esgotamento de outras fontes de carbono presentes no solo do aterro, embora a autora tenha ressaltado que este tempo poderia ser menor. Neste caso, seria necessário utilizar um período maior de

enriquecimento e incubação das amostras para garantir o esgotamento de outras fontes de carbono, além do gás metano.

Os frascos dos ensaios P7 e P8, após o período de incubação normal, foram mantidos em estufa ($T=30^{\circ}\text{C}$), sem receber trocas gasosa. Passados 13 dias foi observada a turvação dos frascos controle. Um forte indício de que um maior período de enriquecimento é necessário para o crescimento das metanotróficas.

ANÁLISE CROMATOGRÁFICA

O intervalo de tempo para a análise cromatográfica variou entre as amostra (P1, P2, P3, P4, P5 e P6), pois, primeiramente o cromatógrafo utilizado no IPH apresentou problemas técnicos e não pode ser utilizado e em outros momentos houve a indisponibilidade do aparelho por estar sendo utilizado para outros experimentos. D esta forma, para este estudo, optou-se em avaliar os resultados da análise cromatográfica, apenas, dos frascos P7 e P8.

A análise cromatográfica dos frascos P7 e P8 foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Unisinos. As leituras da concentração do gás metano foram realizadas nos tempos: $t=0$ dias, $t=2$ dias, $t=7$ dias, $t=9$ dias, $t=14$ dias, $t=16$ dias e $t=20$ dias. Após do tempo $t=0$, estas as leituras passaram a ser realizadas antes de cada troca gasosa (que ocorriam duas vezes por semana). As Figuras 3 e 4 mostram as representações gráficas das concentrações de gás metano nos tempos $t=0$ dias e $t=20$ dias.

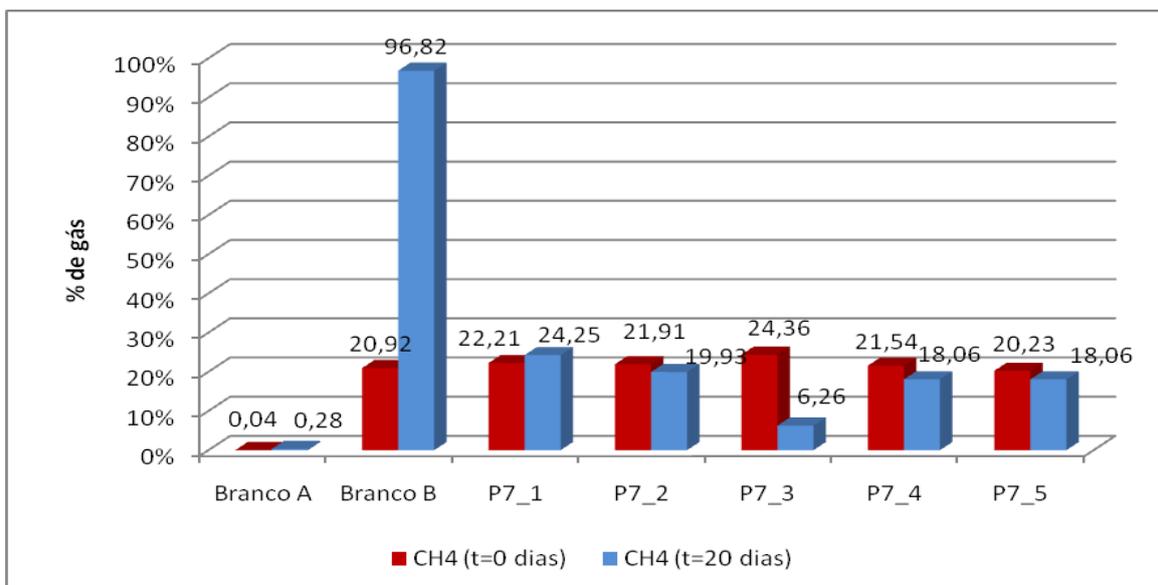


Figura 3: Representação gráfica do percentual de metano presente nos frascos controle no ensaio P8.

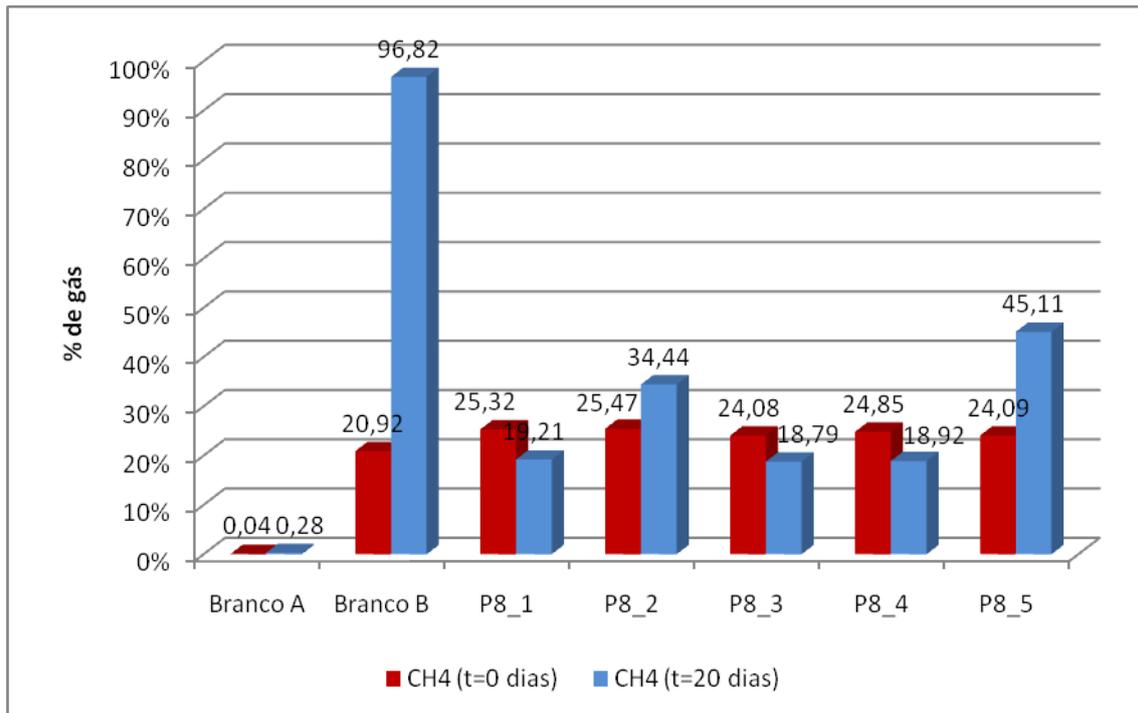


Figura 4. Representação gráfica do percentual de metano presente nos frascos controle no ensaio P8.

Em ambas Figuras 3 e 4 percebe-se que o frasco Branco A manteve-se constante e sem metano, como esperado. O frasco Branco B apresentou aumento na concentração de gás metano, o que é explicado pelas realimentações desse gás nos frascos ao longo dos ensaios. Na Figura 31 apenas o frasco P7_1 não apresentou redução na concentração de gás. Nos demais frascos as concentrações de metano foram semelhantes com exceção do P7_3 que apresentou a menor concentração, 6,26%, no t=20 dias. É possível que neste frasco exista uma concentração de bactérias com potencial oxidativo de gás metano. Nos frascos P8_2 e P8_5 não ocorreu a oxidação de metano, em ambos a concentração de metano foi superior no t=20 dias em relação ao t=0. Nos demais frascos a redução na concentração do gás foram semelhantes indicando a presença de microrganismos com potencial oxidativo.

Observa-se nas duas figuras que o controle Branco B foi importante para confirmar a entrada de metano (via realimentações) durante os ensaios, diferentemente do Branco A que não recebeu esse gás em momento algum. Com isto verifica-se que as amostras com solo da camada de cobertura do aterro trouxeram para os frascos os microrganismos consumidores de metano. Se não houvesse os mesmos seria de se esperar que os valores aumentassem, de forma similar ao frasco Branco B.

Como esse era o último ensaio previsto e tendo-se verificado que aqui também durante o período de incubação nenhum frasco havia turvado, manteve-se as amostras na estufa a 30° sem receber injeção de gás. Após 13 dias foi observada a turvação em todos frascos controle.

Segundo Christophersen et al (2001) as bactérias metanotróficas necessitam de um período inicial de aclimação até que ocorra o crescimento dessas. Uma possível explicação para não ter ocorrido a turvação dos frascos poderia ser a presença de substrato (solo do aterro) e ar atmosférico. Tais condições podem ter levado o crescimento de outros microrganismos, menos exigentes, e que não necessitam de um período maior de aclimação.

OBSERVAÇÕES MICROSCÓPICAS

As observações microscópicas basearam-se na morfologia das bactérias observadas a partir da coloração de Gram. A morfologia predominante observada em todas as amostras (ensaios P1 a P8, exceto P5 e P6, quando não foram realizadas as etapas de acompanhamento microscópico) foram de cocos, estreptococos, diplococos e bacilos Gram positivos e negativos. Foi observada a formação de colônias de bacilos (estreptobacilos) também conhecidos como bacilococos.

Além de bactérias foram observadas formas livre natantes pertencentes ao grupo dos protistas, entre eles, *Euglena* sp. e indivíduos da família Amoebidae, principalmente nas diluições de 10^0 até 10^{-3} . Também foram observados fungos multicelulares (filamentosos) e unicelulares (leveduras).

Os bacilos observados tem diâmetro médio de $0,1 \mu\text{m}$ a $0,4 \mu\text{m}$ de comprimento, já os cocos apresentam diâmetro médio de $0,1 \mu\text{m}$.

CONCLUSÕES

O período de 20 dias para o enriquecimento das amostras, adotado nesta pesquisa, não foi adequado. Nenhum frasco turvou durante o período de incubação. Ainda assim, observou-se consumo de metano, indicativo da oxidação do mesmo. Porém, frascos que foram mantidos na estufa, após a incubação, a uma temperatura de 30°C , turvaram após 30 dias.

O solo adotado na cobertura do aterro apresenta características granulares adequadas com predominância de partículas de areia que possibilitam uma maior aeração na superfície da camada de cobertura favorecendo à oxidação do metano, o que foi verificado.

A altura da camada de cobertura do aterro, nos pontos amostrados, foi semelhante às encontradas na literatura. A morfologia dos microrganismos amostrados foi bastante semelhante entre os frascos, com predominância de bactérias gram negativas em todas as amostras trabalhadas.

Com o trabalho realizado foi possível analisar os materiais e características da camada de cobertura final do aterro sanitário de São Leopoldo, classificando as amostras posteriormente estudadas. Também monitorou-se, ao longo dos ensaios, a predominância microbiana nas amostras de solo de cobertura do aterro sanitário, relacionando essa atividade ao consumo de metano, indicando o potencial oxidativo local para a minimização, em escala real, de problemas ambientais como as emissões de carbono para a atmosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
2. _____. NBR 6508: Grãos que passam na peneira de 4,8mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
3. _____. NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
4. _____. NBR 7181: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
5. _____. NBR 7183: Solo: Determinação do limite de contração. Rio de Janeiro, 1986.
6. RHAVENA, L. G. Ocorrência de bactérias metanotróficas em amostra de aterro sanitário através da determinação do potencial de oxidação do metano e da caracterização de culturas enriquecidas. São Paulo. 2007. Dissertação de Mestrado. Ciências (Microbiologia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.
7. SOARES, A. F. Cobertura final de aterros sanitários avaliada sobre o enfoque da oxidação microbiológica do gás metano. São Leopoldo. 2011. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Unisinos. 2011.
8. HANSON, R.S. & HANSON, T. E. Methanotrophic Bacteria. MICROBIOLOGICAL REVIEWS. v.60, n.2, p.439-471. Jun. 1996.
9. MACIEL, F. J. Estudo Da Geração, Percolação E Emissão De Gases No Aterro De Resíduos Sólidos Da Muribeca/Pe, Recife. 2003. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. 2003.