

Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió, AL

Glauber Lopes Mariano¹, Marcos Antonio Lima Moura²

¹*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP- Brasil*

²*Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas
Maceió, AL - Brasil*

e-mail: glaubermariano@yahoo.com.br

Resumo

A cidade de Maceió, devido à quase não existência de indústrias poluidoras, possui seu Lixão, localizado no bairro de Cruz das Almas (LAT 09° 33' S; LON 35° 46' W) como uma das principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos. São dois os principais motivos de reclamação por parte dos moradores do seu entorno: as cinzas resultantes da combustão espontânea do lixo, principalmente durante o período seco da região (outubro, novembro, dezembro e janeiro) e a emissão de gases produzidos pelas atividades química e bacteriana do lixo que ocorre essencialmente durante o ano todo, sendo mais percebido pela população circunvizinha no período chuvoso (abril, maio, junho e julho). O objetivo principal deste trabalho é analisar o perfil da temperatura do lixo em duas épocas climatologicamente distintas (seca e chuvosa) no lixão. Para isso foram realizados três experimentos de campo com a instalação de uma Estação Meteorológica Automática (EMA) para medições da radiação solar global, precipitação e perfil da temperatura do lixo em quatro níveis (5, 25, 50 e 100 cm), sendo duas dentro do período seco e uma no período chuvoso da região. Verificou-se que a Temperatura do lixo (TL) variou profundamente de acordo com a época do ano com ênfase para o período seco, onde as temperaturas do lixo são maiores nas camadas superficiais, enquanto que no período chuvoso ocorre o inverso. Também foi constatado que a precipitação despadroniza o ciclo da temperatura do lixo.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, temperatura do lixo, épocas seca e chuvosa.

Abstract

Maceió city, due to the inexistence of industry pollutants, detains its landfill, located in Cruz das Almas neighborhood (LAT 09° 33' S; LON 35° 46' W) as one of the main atmospheric pollutants source emission.

There are two great reasons to the inhabitant claims that live near the landfill. The leached ashes resulted from the waste combustion, mainly during the dry period in the region (October, November, December and January), and the gas emission produced by the waste bacteria and chemical activity, that occurs during all the year, being most noted by the surrounding population in the rainy period. (April, May, June and July). The main aim of this paper is to analyze the waste temperature profile, in two climatologically distinct period (dry and wet seasons) in the landfill. To do it, three field experiments were carried out with an automatic weather station installation (EMA), to solar global radiation, precipitation and waste temperature soil profile in four different levels (5, 25, 50 and 100 cm) being two fields campaigns in the dry season and another in wet period. Could note that the waste temperature (TL) varies according to the season, emphasizing the dry period, where the waste temperature is highest in the level near surface, while in the wet period occurs the opposite. Was noted that the precipitation substandard the waste temperature profile.

Keywords: Solid waste, waste temperature, dry and wet period

1. Introdução

O lixo urbano é todo e qualquer resíduo que resulte da atividade diária do homem em sociedade e os fatores principais que regem sua origem e produção são: o aumento populacional e a intensidade da industrialização (Lima, 1995).

Segundo o IBGE (1991), a disposição final do lixo nos municípios brasileiros é de 76% para os lixões, 13% para aterros controlados, 10% para aterros sanitários e apenas 1% de todo lixo dos municípios brasileiros passa por algum tipo de tratamento, seja ele compostagem, reciclagem ou incineração. Lixões são aterros sanitários do tipo comum onde o lixo é apenas descartado no solo a céu aberto sem qualquer tratamento (Lima, 1995) o que é uma forma muito comum nos municípios brasileiros. São vários os problemas de um lixão localizado principalmente em uma área urbana, onde o descarte desse lixo sem medidas preventivas acarreta: poluição da água dos oceanos, rios e lagos, como também das águas subterrâneas; poluição do ar pela exalação de gases e pela emissão de particulados após a queima do lixo; impacto visual negativo pela exposição do lixo e seu espalhamento; ocorrência de vetores de doença com proliferação de insetos e roedores e poluição do solo.

Uma comparação feita entre diversos países do mundo por Rodrigues e Cavinato (1998), indica que o lixo domiciliar brasileiro possui uma das taxas mais elevadas de detritos orgânicos em sua composição, sendo caracterizado, portanto, como um lixo que produz grande volume de

produção de chorume e de baixo poder calorífico, ou seja, pequena capacidade potencial de desprender determinada quantidade de calor quando submetido a queima.

Mais que um problema ambiental, o lixão de Maceió é hoje uma grande fonte de poluentes e de conseqüentes reclamações dos moradores circunvizinhos, uma vez que o mesmo está localizado em seu centro urbano. Conforme Jucá (2002), atualmente, cerca de 1.100 toneladas de resíduos sólidos chegam diariamente ao lixão de Maceió, onde são espalhados sem nenhum material de cobertura. Completamente saturado, causando transtornos insuportáveis à comunidade daquela área e adjacências principalmente devido ao odor característico de material decomposto na época chuvosa e a fumaça ocasionada de combustões espontâneas no período seco. Os odores são produzidos pela decomposição por bactérias aeróbicas e anaeróbicas que se alimentam desse material, produzindo gases como o metano (CH_4), dióxidos de carbono (CO_2), sulfetos de hidrogênio (H_2S) e amônia (NH_3) (Villarrubia e Villarrubia, 2001). Já a combustão (espontânea) ocorre devido ao gás metano. A combustão também pode ser provocada pela atividade humana.

As temperaturas no interior da massa de lixo (TL) são de grande importância principalmente no que se refere à atividade de microorganismos que promovem a degradação dos diversos componentes do lixo (Junqueira, 2000). De acordo com Andreottola e Cossu (1988), após algum tempo que o lixo é depositado, a sua temperatura aumenta pela existência de reações aeróbicas nas camadas superiores da célula de lixo. Esta fase persiste por duas, até três semanas, até que o oxigênio gradualmente vai decrescendo à medida que outras camadas de lixo são depositadas acima. Após esse período iniciam-se reações anaeróbicas que estão diretamente relacionadas com a produção do biogás. Essas reações são exotérmicas e a temperatura do lixo aumenta.

Então, o objetivo do presente trabalho é analisar o perfil da temperatura do lixo em duas épocas climatologicamente distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió, Alagoas, Brasil.

2. Metodologia

O Lixão de Maceió está localizado no bairro de Cruz das Almas nas coordenadas $09^{\circ}33'S$ e $35^{\circ}46'W$, a poucos metros da costa atlântica, em uma área total de 22 hectares e está em atividade desde 1967. É constituído por oito células, mas apenas uma funciona. Há mais de uma década o mesmo é operado com sua capacidade superada, mas até o presente ele continua em funcionamento.

A região de Maceió apresenta clima quente e úmido, precipitação anual bastante variável e sofre grande influência de sistemas de grande escala, com direção de ventos predominantemente de sudeste, sendo a época

chuvosa representada pelos meses de Abril, Maio, Junho e Julho, enquanto a seca por Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

O período de estudo foi subdividido em 3 campanhas de aproximadamente 15 dias cada, sendo as duas primeiras na época seca e a última na época chuvosa:

- 07/12/2004 a 22/12/2004 (1ª temporada)
- 12/02/2005 a 26/02/2005 (2ª temporada)
- 20/06/2005 a 04/07/2005 (3ª temporada)

Sobre uma célula de lixo atualmente em uso foi erguido um tripé meteorológico no qual foram instalados um Piranômetro – modelo SP-LITE (Campbell Scientific, USA) para medir radiação solar global ($W m^{-2}$), um Pluviômetro – modelo TB4 tipo sifão (Campbell Scientific, USA) que forneceu dados da precipitação em mm e a uma distância de 2,5m da base do tripé (para que não ocorresse sombreamento) foram coletados permanentemente os perfis de temperatura do lixo (TL) com termopares do tipo T (cobre-constantan) (Campbell Scientific, USA) nas seguintes profundidades: 5, 25, 50 e 100 cm. Para isso foi projetada e convenientemente construída, uma estrutura rígida com tubo de PVC preto de 1,45m de comprimento com diâmetro exterior de 3,4cm, no qual foram feitas as marcações referenciais das profundidades desejadas com furos correspondentes, onde foram passados os termopares com as extremidades soldadas pelo interior do tubo e fixados com cola tipo epóxi. A extremidade posterior do tubo foi vedada para que não entrasse nem água, nem solo, como também a parte anterior do tubo (que ficava fora do solo) foi pintada de branco para evitar um possível aquecimento pela radiação solar. Além disso, foi utilizado outro tubo de ferro de 1,60 m de comprimento e diâmetro externo de 3,83 cm, cuja extremidade posterior foi limada para ficar cortante para fazer um “pré-buraco” e danificar o mínimo possível o perfil do lixo, como também facilitar a colocação no solo do tubo com os termopares.

Todos os sensores estavam conectados a um Datalogger 21X (Campbell Scientific, USA), que por sua vez tinha um módulo de armazenamento do tipo SM716 (Campbell Scientific, USA), no qual eram armazenadas em médias de 5 minutos as medições realizadas a cada 10 segundos, cujas médias eram descarregadas semanalmente para conseqüente tratamento e utilização.

3. Resultados e discussões

3.1 Período seco

A combustão espontânea é um processo exotérmico que para ocor-

rer precisa de material para servir de combustível, temperatura elevada e oxigênio (Gårdenäs e Thömqvist, 1984). Aproximadamente 50 % dos focos de fogo ocorrem no lixo armazenado a menos de duas semanas (Hogland *et al.*, 1996). Villarrubia e Villarrubia (2001) afirmam que no período seco existe maior risco de autocombustão pela presença de material seco e do acúmulo de metano emitido pelas bactérias. Já Leite (1973) afirma que a combustão espontânea ocorre por causa do metano, gás inflamável resultante da degradação anaeróbica da matéria orgânica, ou através dos catadores de lixo na área do lixão. Em ambos os casos, a combustão de um material tão heterogêneo produz densa e irritante fumaça, muito desagradável para a vizinhança e contém moléculas orgânicas tóxicas como a dioxina, que é um agente cancerígeno.

Durante a 1ª temporada de coleta de dados não foi registrado nenhum caso de precipitação pluviométrica, perfazendo um total de 20 dias desde a última ocorrência. Esse fato, em conjunto com a radiação solar global incidente média acima de $24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 1), resultou numa maior ocorrência de combustão espontânea na área, de acordo com relatos da administração do lixão.

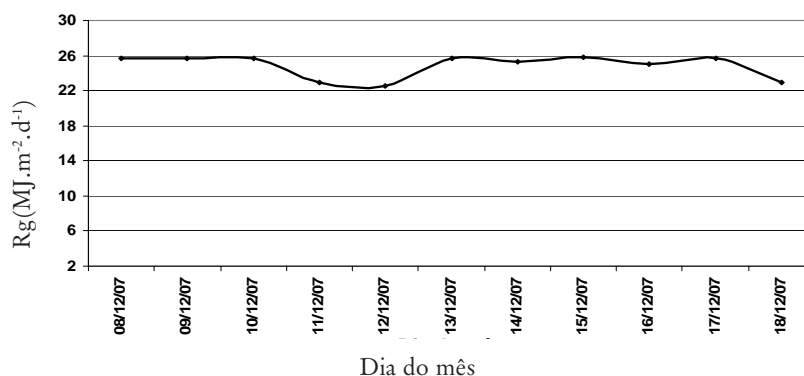


Figura 1. Radiação solar global (R_g) diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) durante a primeira temporada (07 a 22/12/2004) de medições na área do estudo.

Nota-se, na Figura 2a, que a TL máxima ocorreu na profundidade de 25 cm (média de $54 \text{ }^\circ\text{C}$), sendo provavelmente uma combinação da intensa energia disponível à superfície causada pela radiação solar incidente, com a produção de biogás em consequência dos vários processos químicos e biológicos que ocorrem nessa profundidade. Também é possível perceber a influência direta do ciclo da radiação solar incidente nos diversos níveis da TL, principalmente no nível medido mais próximo à superfície (5 cm), onde a maior amplitude média diária de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ aconteceu por conta da perda

de calor no horário noturno, enquanto à medida que se penetra no lixo observa-se uma diminuição da amplitude diária nos níveis mais profundos, mas com TL superiores a 46 °C.

Monteiro et al. (2006) relacionaram o decréscimo da TL com a profundidade em um experimento com Biorreator (lisímetro) com a presença crescente de microrganismos anaeróbios, pois estes organismos geram menos calor durante o processo de degradação. Isso foi constatado no nosso experimento de campo na época seca onde se notou que, com exceção do nível de 5 cm, as TL a 25 e 50 cm são superiores a 100 cm, conforme pode ser visualizado na Figura 2a .

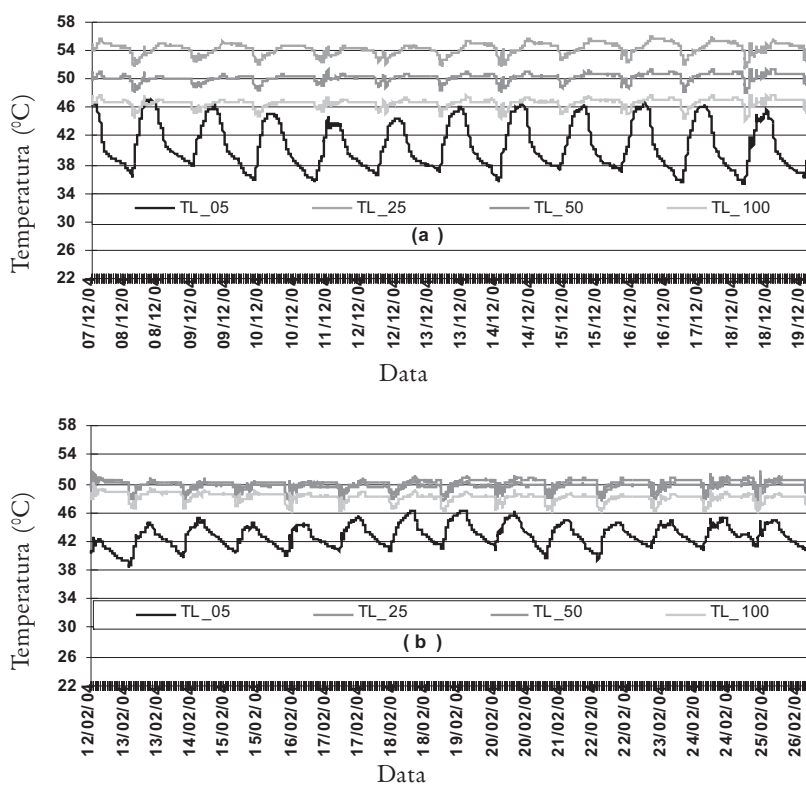


Figura 2. Ciclo diário da Temperatura do Lixo (TL) (°C) nos níveis de 5, 25, 50 e 100 cm durante a primeira (a) e segunda (b) temporada de medições na época seca na área do Lixão de Maceió.

A escolha da data da 2ª temporada de coleta de dados dentro do período seco foi por causa da não ocorrência de precipitação durante a 1ª

temporada, uma vez que um dos objetivos do experimento era conhecer a influencia da mesma no ciclo da TL neste período. Contudo, novamente não foram registrados eventos com precipitação significativa. Climatologicamente esperava-se chuvas de aproximadamente 52 mm e 60 mm para os meses de Janeiro e Fevereiro, respectivamente. Todavia, percebeu-se um decréscimo na quantidade da precipitação ao final do experimento quando comparado com a normal climatológica de Maceió.

Neste período a radiação solar global média diária incidente continuou alta, apresentando média de aproximadamente $24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 3), o que caracteriza alto índice de radiação solar global para ocasionar combustão espontânea, resultando em fogos do tipo descrito por Bergström e Björner (1992) quando afirmam que os mesmos podem ser divididos em duas categorias: profundos e de superfície, dependendo da posição onde se encontra o fogo. Os fogos profundos estão associados com a pirólise, que é a decomposição química pelo calor na ausência de oxigênio, produzindo como resultado gases que contêm substâncias cancerígenas e mutagênicas. Já os gases dos fogos de superfície contêm quantidades muito mais baixas de tais substâncias.

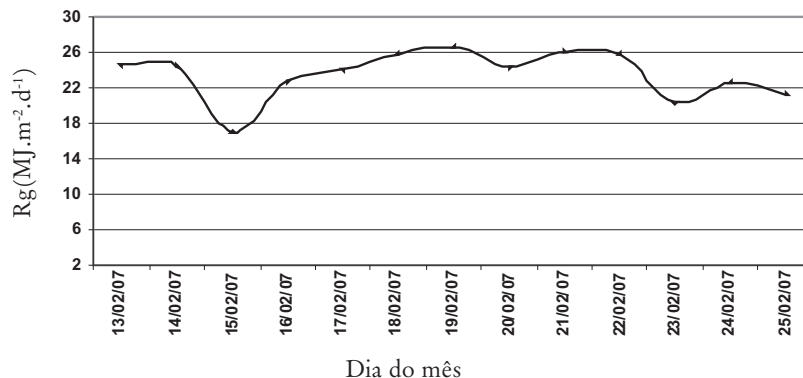


Figura 3. Radiação solar global (R_g) diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) durante a segunda temporada (12 a 26/02/2005) de medições na área do estudo.

Já as temperaturas nos diversos níveis medidos (Figura 2b) também se mostraram semelhantes aos dados obtidos durante a 1^a temporada. Mesmo assim o nível de 25 cm apresentou uma TL média de 50°C e a amplitude média do nível mais superficial foi de apenas 5°C . Entretanto, é importante ressaltar que durante este período as temperaturas nas profundidades de 25 cm, 50 cm e 100 cm apresentaram-se mais próximas entre si. Como o local do experimento foi o mesmo durante as duas temporadas,

essa aproximação dos valores da TL nesses níveis pode ser devido à existência de uma tendência das camadas do solo de se homogeneizarem e/ou compactarem-se, apesar do IPT/CEMPRE (2000) afirmar que uma quantidade excessiva de material plástico em aterros ou lixões pode provocar a queima indevida e sem controle bem como dificultar a compactação do lixo.

Outra explicação possível para essa ocorrência é a idade do lixo, ou seja, o tempo entre a deposição do mesmo no lixão e a realização do experimento. Walle *et al.* (1978) afirmaram que o lixo descarregado em um lixão está sujeito a processos de degradação aeróbica até o oxigênio ser totalmente consumido. Contudo, após as camadas de lixo serem compactadas e cobertas novamente por lixo ou terra, torna-se impossível a penetração do oxigênio. Então, uma subsequente fase anaeróbica se inicia e determina o aumento da TL devido a esse processo.

3.2 Período chuvoso

Durante o período chuvoso o principal problema que afeta a população residente próximo ao lixão é a emissão de gases odoríferos oriunda da atividade bacteriana no lixo depositado. Conforme Farquhar e Rovers (1973), as características biológicas do material dos lixões através dos processos de degradação geram gases. Contudo, apesar do gás carbônico (CO_2) e do metano (CH_4) serem os gases mais abundantes emitidos pelos lixões, a amônia (NH_3) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S) desempenham papel importante, pois possuem forte odor característico de material em decomposição incomodando demasiadamente os moradores.

Uma importante informação dos moradores que residem nas regiões mais próximas ao lixão é que os odores provenientes do mesmo não são muito perceptíveis durante a manhã, mas sim durante os períodos vespertinos e noturnos. Isso provavelmente está relacionado à atividade bacteriana que tem como produtos esses gases, os quais são mais fortes com maiores intensidades da radiação solar global e, conseqüentemente, da temperatura do lixo (TL). Desse modo, ambos desempenham um papel importante para a produção dos gases odoríferos nos lixões no período chuvoso.

Os dados da TL observados na Figura 4 demonstraram algumas características importantes no seu ciclo, onde nota-se que a maior TL média foi na profundidade de 100 cm, variando entre 38 e 41°C. Independentemente dos fatores que influenciam no ciclo da TL observa-se claramente que praticamente não existe diferença entre os picos de TL nas diversas profundidades pelo simples fato de não existir variabilidade diária (subida e descida) nas TL dos níveis a partir de 25 cm, pois não está ocorrendo difusão do calor disponibilizado na superfície pela radiação solar para as camadas mais profundas, conforme constatado no período seco (Figura 5), onde

a forma do perfil vertical entre os períodos são totalmente diferentes. Possivelmente, isso estaria relacionado a uma maior conservação de calor por parte do material constituinte do lixo, como também poderia ser resultado do nível de emissão de gases. Andreottola e Cossu (1988) afirmaram que a produção de biogás depende estritamente da TL, assim como os processos biológicos dependem da variação da temperatura, cuja temperatura ideal para o crescimento dos microorganismos no estágio biológico está entre 10-40°C (Lacey, 1980). Segundo Hogland e Marques (2003) a atividade microbiológica pode também contribuir para o aumento da temperatura entre 0 °C – 75 °C, mas essa atividade é maior e de maior importância entre temperaturas de 20 °C e 60 °C. Obviamente que a água contida nas cavidades do lixo é utilizada pelos micróbios, mas os organismos têm também a habilidade de utilizar alguma umidade contida no próprio lixo (sobretudo orgânico). Segundo Hussain (1973) essa é a razão pela qual a temperatura aumenta de 60 °C a 90 °C devido ao efeito da atividade microbiológica e química, enquanto que os aumentos acima de 90°C dependem exclusivamente dos processos químicos.

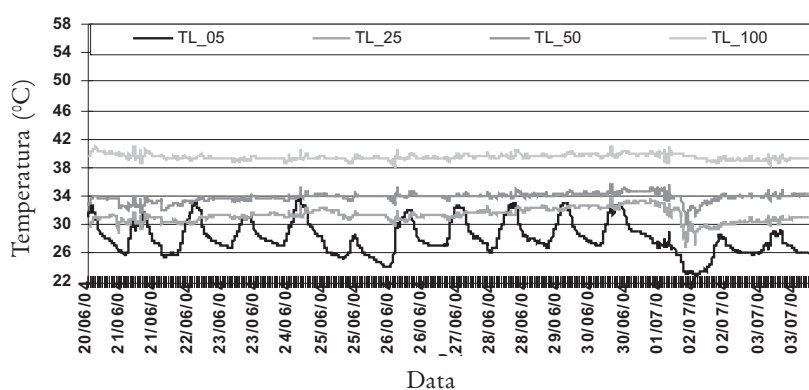


Figura 4 .Ciclo diário da Temperatura do Lixo (TL) (°C) nos níveis de 5, 25, 50 e 100 cm durante a terceira temporada de medições (época chuvosa) na área do Lixão de Maceió.

Foram observados casos de ocorrência de precipitação (11 casos de um total de 15 dias de experimento) durante a 3ª temporada do experimento (Figura 6). O aumento da precipitação na região ao longo da temporada fez com que a radiação solar global média diária diminuísse para 11,8 MJ m⁻² d⁻¹, já que houve grande nebulosidade ocasionando precipitação, como por exemplo, nos dias 25/06 e 01/07, onde se registraram 5,8 e 4,5 MJ m⁻² d⁻¹, respectivamente.

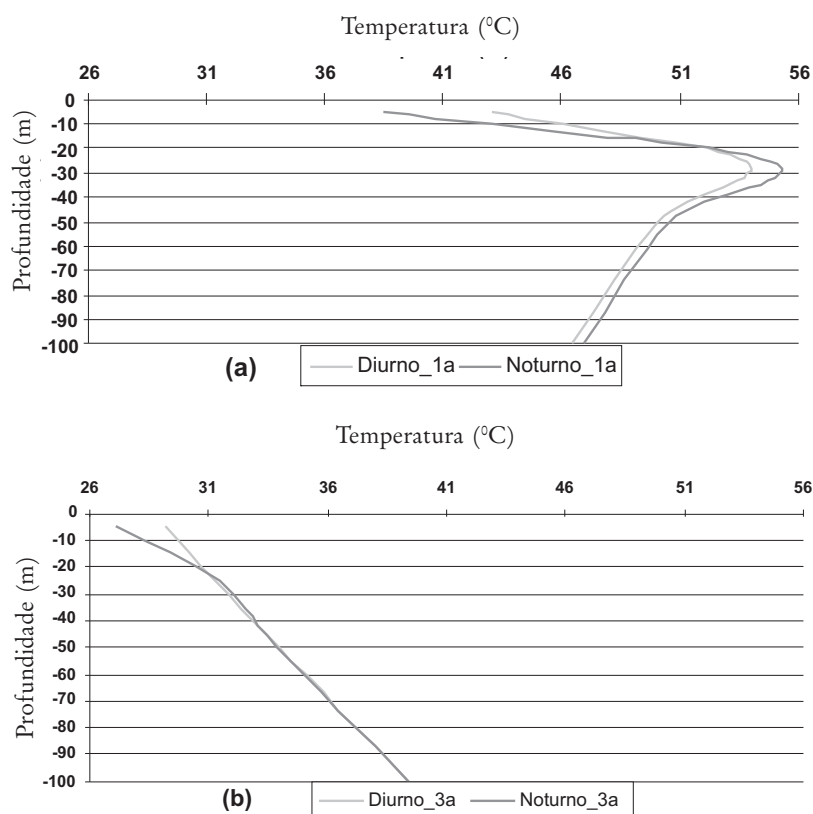


Figura 5. Perfil da temperatura média do lixo (°C) no período diurno e noturno da primeira (a) e terceira (b) temporada de medições no lixão de Maceió, AL.

Outro fato interessante é que a TL é influenciada pela precipitação, pois a mesma despadroniza o seu ciclo, conforme pode ser visualizado no dia 01/07 na Figura 4, só que isso depende da quantidade de precipitação, uma vez que ocorreram outras precipitações significativas (dias 21 e 25/06), que alteraram pouco o ciclo da camada mais superficial (5 cm). Esse resultado pode ser uma combinação de diversos fatores como, por exemplo, a impermeabilidade das camadas mais profundas, devido à composição do lixo, fazendo com que haja pouca penetração da água da chuva. Segundo Borgatto (2006), as condições climáticas como índices pluviométricos e taxa de evapotranspiração influem na variação do teor de umidade com a profundidade, fazendo com que haja maior conservação de calor, já que Carvalho (1999) definiu o lixo urbano como materiais multifásicos constituídos por fase sólida, líquida e gasosa, assim como os

solos. Afirmou ainda que existe uma variação do percentual das fases com o tempo, devido aos processos de biodegradação que estão relacionados com teor de umidade, conteúdo orgânico do lixo e condições climáticas.

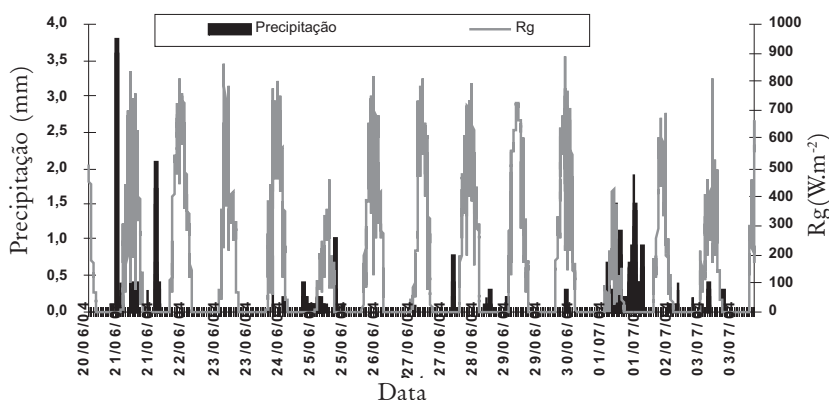


Figura 6. Variação da precipitação (mm) com a radiação solar global (R_g) ($W\ m^{-2}$) a cada cinco minutos no período (20/06 a 04/07/2005) na área do Lixão de Maceió.

Outro detalhe importante é que nos últimos dias das medições ocorreu uma diminuição significativa da radiação solar global incidente à superfície, mas mesmo assim não foi constatada uma diminuição significativa da TL nas camadas a partir de 50 cm, o que de certa forma caracterizaria o fato da mesma ser regida pela temperatura de produção e posterior emissão de gases. Park e Shin (2001) estudaram os efeitos das variações entre dia e noite para a emissão de gás do lixo com a temperatura do ar e chegaram à conclusão que quando a temperatura do ar foi mínima durante o dia o fluxo de gás também se encontrou no seu mínimo, enquanto o fluxo alcançou o seu pico máximo quando a temperatura do ar foi máxima durante o dia. Eles também observaram mudanças do fluxo de gás oriundo do lixo conforme as estações. A taxa de emissão do fluxo decresceu comparando-se verão e inverno, conforme já relatado anteriormente.

4. Conclusões

No período seco ocorre transferência do calor oriundo da radiação solar incidente à superfície para as camadas mais profundas, já que se observaram diferenças da temperatura do lixo entre os períodos diurno e

noturno, enquanto no período chuvoso o mesmo fenômeno acontece, mas em menor grau de intensidade.

As temperaturas do lixo nas camadas mais superficiais (até 50 cm) no período seco são maiores do que as camadas inferiores, enquanto no período chuvoso ocorre exatamente o inverso.

A precipitação despadroniza o ciclo diário da temperatura do lixo, apesar do mesmo ser influenciado pela impermeabilidade do lixo e condições climáticas (evapotranspiração e índices pluviométricos).

5. Agradecimentos

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo suporte financeiro para desenvolvimento deste trabalho.

6. Referências

- ANDREOTTOLA, G.; COSSU, R. *Modello matematico di produzione del biogas in uno scarico controllato (mathematical model of biogas production)*. Rifiuti Solidi, v.2, p.473, 1988.
- BERGSTRÖM J, BJÖRNER B. *Dioxiner och bränder vid Avfallsupplag (Dioxins and Fires in Waste Storage)*. REFORSK Foundation Report No. 68, REFORSK Foundation, Malmö, Suécia, 1992.
- BORGATTO, A. V. A. *Estudo do efeito fibra e da morfologia na estabilidade de aterros de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de Mestrado – UFRJ, 174p., 2006.
- CARVALHO, M.F. *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. Tese de Doutorado - UFSC, 300p. 1999.
- FARQUHAR G. J., ROVERS F. A. *Gas production during refuse decomposition*. Dept. of Civil Engineering, Ontario-Canadá, 24p. 1973.
- GÄRDENÄS, S.; THÖRNQVIST, T. *Spontaneous Combustion and Dry Matter Losses in Peat Storage—a Literature Study*. Research Notes No. 156, Department of Forest Products, Swedish University of Agriculture Sciences, Uppsala, Sweden, 1984
- HOGLAND, W., BRAMRYD, T., PERSSON, I. *Physical, biological and Chemical effects of unsorted fractions of industrial solid waste in waste fuel storage*. Waste Manage Research, n.14, p.197–210, 1996.

HOGLAND, W. e MARQUES, M. *Physical, biological and chemical processes during storage and spontaneous combustion of waste fuel*. Resources, Conservation and Recycling, v.40, p. 53–69, 2003.

HUSSAIN, H. M.; *Ökologische untersuchungen über die bedeutung thermofiler mikroorganismen für die selbsterhitzung von heu (Ecological studies of the significance of thermophilic microorganisms for self-heating in hay)*. Zeitschrift für Allg. Mikrobiologie, v.13, p.323–334. 1973.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 1989, Anuário Estatístico Brasileiro*, Rio de Janeiro, 1991.

IPT/CEMPRE. *Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado*. Coordenação de Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena. 2ed. São Paulo. IPT/ CEMPRE, 2000. 370p.

JUNQUEIRA, F. F. *Análise do Comportamento de Resíduos Urbanos e Sistemas Dreno Filtrantes em Diferentes Escalas, com Referência ao Aterro do Jôquei Clube - DF*. Tese de Doutorado - UnB, p. 283, 2000.

JUCÁ, J. F. T. *Relatório Final: Diagnóstico de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas*. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento / MMA - Projeto de Execução Nacional - Contrato: N° 2001/004090 - RELATÓRIO 03/2002. Maceió, 2002. 16-42p.

LACEY, J. *Colonization of Dump Organic Substrates and Spontaneous Heating*. The Society for Applied Bacteriology, Technical Series 15 “Microbial Growth and Survival in Extremes of Environment”, London, U.K.: Academic Press. 1980

LEITE, L. E. H. B. da C. *Manual de limpeza pública*. Instituto Brasileiro de Administração Municipal, Laboratório de Administração Municipal, Rio de Janeiro, 1973.

LIMA, L.M.Q. - *Lixo - Tratamento e Bio-remediação*. 3º Edição. São Paulo. Hemus Editora Ltda, 1995. 265p.

MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C.; ALCÂNTARA, P. B.; ARAÚJO, J. M.; ALVES, I. R. F. S.; JUCÁ, J. F. T. *Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos*. Eng. Sanit. Ambient., v.11, n.3, p.223-230, 2006.

PARK, J.; SHIN, H. *Surface emission of landfill gas from solid waste landfill*. Atm. Environ., v.35, p.3445–3451, 2001.

RODRIGUES, F.L.; CAVINATO, V.M. *Lixo: de onde vem?, Para onde vai?*. São Paulo, Editora Moderna, 1998. 79p.

VILLARRUBIA, M. ; VILLARRUBIA, J. *Producción de biogás en vertederos de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)*. Montajes e instalaciones, n. 355, p.95-104, 2001.

WALLE F.B.; CHIAN, E.; HAMMERBERG, E. *Gas production from solid waste in landfills*. J. Environ. Engineering Div., v.104, p.403-415, 1978.

Submetido em: 16/06/2008

Aceito em: 30/07/2009