

ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES DE CO E H₂S PROVENIENTES DA BIODEGRADAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Kellianny Oliveira Aires¹, Maria Josicleide Felipe Guedes², Mateus Araújo de Souza Celestino³, Cláudio Luis de Araújo Neto⁴, Veruschka Escarião Dessoles Monteiro⁵

Universidade Estadual da Paraíba, kelliannyaires@hotmail.com
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, mjosicleide@ufersa.edu.br
Universidade Federal de Campina Grande, mateusaraujo96@hotmail.com
Universidade Federal de Campina Grande, claudioluisneto@gmail.com
Universidade Federal de Campina Grande, veruschkamonteiro@hotmail.com

RESUMO: Os transtornos decorrentes da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos nas grandes cidades abrangem vários aspectos sociais, ambientais e de saúde pública. Dentro deste contexto, os aterros sanitários são uma das soluções mais viáveis para o tratamento e disposição dos RSU, porém, são considerados potenciais fontes de exposição humana a substâncias tóxicas. O objetivo deste trabalho é analisar as concentrações de CO e H₂S em uma célula experimental de RSU, localizada na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no estado da Paraíba, indicando o potencial de poluição atmosférica e os impactos causados à saúde humana. O estudo abrangeu as etapas de construção, coleta, amostragem e enchimento da célula experimental com os RSU de doze bairros da cidade de Campina Grande-PB. A célula experimental foi instrumentada com tubos para drenagem de gases e no monitoramento das concentrações de CO e H₂S foi utilizado um detector portátil denominado Dräger. Alguns valores elevados nas medições de H₂S foram observados, atingindo um máximo de 13 ppm. Concentrações desta magnitude podem ocasionar impactos adversos à saúde pública, devido à inalação desse gás, caso ultrapasse o limite de exposição permitido de 48 horas semanais. O monitoramento de CO realizado na célula experimental apresentou valores que comprometem a qualidade do ar, porém, o tempo de exposição para coleta e análise desse gás está dentro dos padrões de segurança.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, gases, célula experimental.

INTRODUÇÃO

O crescimento da população, da industrialização, o consumismo desenfreado e a falta de preocupação com a origem e a disposição final dos produtos que são descartados diariamente, geram cada vez mais Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). A ausência de um tratamento ambientalmente adequado para os RSU pode afetar a saúde da população e do meio ambiente, constituindo um motivo para que se implantem soluções técnicas para gestão e disposição final dos resíduos (OPAS, 2006).

Um aterro sanitário, mais do que uma alternativa de disposição final ambientalmente adequada dos RSU, pode ser considerado uma forma de tratamento, uma vez que é capaz de degradar produtos em substâncias mais simples. Esta característica do aterro decorre de uma complexa interação no interior do maço sanitário; envolvendo processos físicos, químicos e

biológicos. Nesta dinâmica de tratamento dos resíduos, possibilitada pela decomposição da fração orgânica por microrganismos decompositores, há a geração de subprodutos, constituídos por líquidos lixiviados e gases, tóxicos ao meio ambiente e ao ser humano.

A transformação da matéria orgânica dos RSU em biogás e outros subprodutos é realizada pelo metabolismo bacteriano, tendo participação de fungos e outros microrganismos (CHYNOWETH, 1987; SCHLEGEL, 1995; PALMISANO e BARLAZ, 1996). As interações entre os diversos grupos de bactérias participantes da decomposição anaeróbia tem múltiplas variáveis, que vão desde a composição dos resíduos e presença de substratos, até variáveis externas como temperatura, teor de água e pH do meio (METCALF e EDDY, 1991; MCBEAN et al., 1995; O'LEARY e TCHOBANOGLOUS, 2002; LASKRI et al., 2015; ZHAI et al., 2015).

A biodegradação dos RSU pode ocorrer tanto na presença quanto na ausência de oxigênio (O_2). Na presença de O_2 , os subprodutos gerados correspondem a CO_2 (dióxido de carbono), H_2O (água) e NH_3 (amônia); já na ausência de O_2 é gerado o biogás, composto por uma mistura de gases, como metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), e em menor quantidade, hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), gás sulfídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), oxigênio (O_2) e aminas voláteis (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

A composição do biogás pode conter mais de 300 (trezentos) gases, alguns presentes em grande quantidade, como o CH_4 e o CO_2 , perfazendo mais de 99% da mistura (GANDOLLA et al., 1997); e outros em traços. Os gases encontrados em traços na composição do biogás geralmente não ultrapassam 1% da composição total; no rol desses gases encontram-se o CO e o H_2S (ENVIRONMENTAL AGENCY, 1999).

Apesar de se encontrarem em traços na composição do biogás, a depender da fase de biodegradação dos RSU, o CO e o H_2S pode provocar impactos adversos ao meio ambiente e à saúde da população no entorno de um aterro sanitário.

O CO é um gás inodoro, incolor, tóxico e inflamável, que aparece em pequenas proporções, cerca de 0 a 0,2 %. A depender das concentrações e do tempo de exposição, o CO pode, por exemplo, afetar a capacidade de trabalho de pessoas saudáveis ou mesmo causar problemas graves, inclusive à morte (ALCÂNTARA, 2007).

O H_2S é um gás incolor, muito tóxico e com um odor característico de “ovo podre”. A emissão deste gás não só provoca reclamações frequentes de mau odor entre os moradores que vivem nas proximidades de aterros sanitários, mas também representa um impacto adverso sobre saúde humana (HEANEY et al. 2011; XU e TOWNSEND, 2014).

Segundo Alcântara (2007), em ambientes predominantemente anaeróbios, na presença de uma fonte de carbono e sob condições favoráveis de pH, as bactérias redutoras de sulfato utilizam o sulfato e o sulfito como receptor final de elétrons, produzindo o gás sulfídrico. Sendo assim, este gás também pode causar danos ao meio ambiente, devido a sua ação corrosiva, propiciando o desgaste precoce dos sistemas de coleta, adução e beneficiamento do biogás para fins energéticos, uma vez que danifica peças de aço e borracha.

Com a crescente urbanização, cada vez mais os aterros de RSU estão gradualmente cercados por áreas residenciais e, conseqüentemente, a população vem sendo exposta, cada vez mais, à ação danosa de substâncias tóxicas (DU et al., 2014). Diante do exposto, se torna plausível o monitoramento do CO e H₂S, haja vista que esses gases, resultantes da decomposição da matéria orgânica dos RSU, são tóxicos, asfixiantes e explosivos; podendo estar relacionados a diversas doenças, paralisias e até mesmo a morte, quando presentes na atmosfera, ainda que em diminutas concentrações. Além disso, o efeito de gases tóxicos podem ser sentidos pelo contato com a pele, ingestão ou pela inalação, sendo esta última forma de contaminação a mais comumente observada (PROCHNOW, 2003).

Para analisar as concentrações de CO e H₂S nos aterros sanitários, é necessário conhecer a evolução da decomposição da matéria orgânica, bem como os microrganismos que atuam nesse processo. Nesse contexto, uma das alternativas de compreender a dinâmica de um aterro sanitário pode ser concretizada por meio de estudos em células experimentais, também denominados biorreatores ou lisímetros. Uma célula experimental consiste num sistema que pode permitir uma aceleração induzida do processo de decomposição dos resíduos de maneira controlada, possibilitando também possíveis ajustes a serem aplicados em aterros de escala real para cidades de pequeno e médio porte.

Por meio deste trabalho objetivou-se analisar as concentrações de CO e H₂S provenientes da biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental, localizada na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na Paraíba, indicando o potencial de poluição atmosférica e os impactos causados à saúde humana.

METODOLOGIA

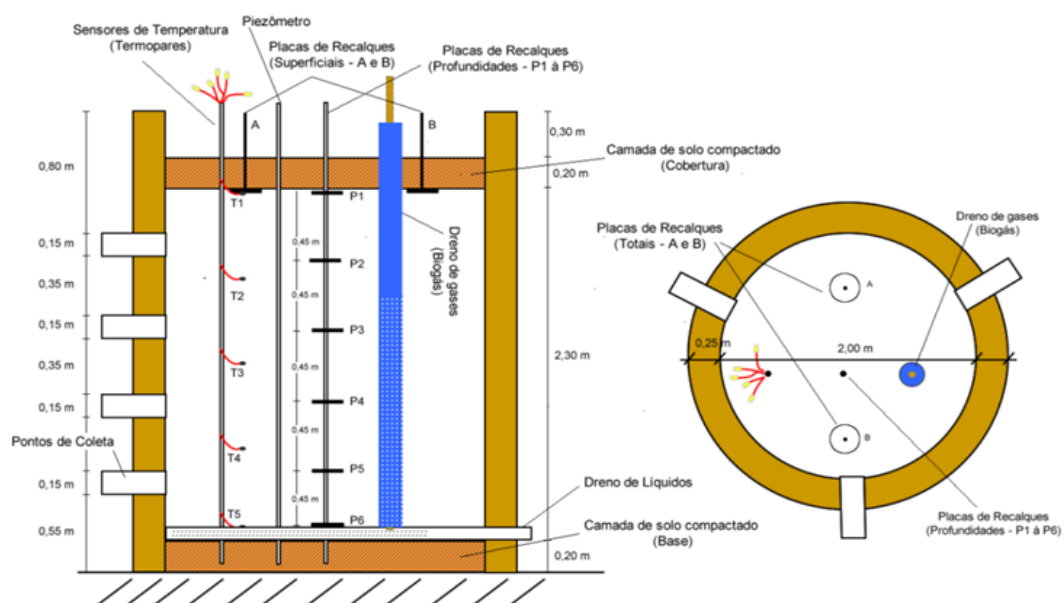
A cidade de Campina Grande, localizada no estado da Paraíba, possui uma área de 594 km² (área urbana de aproximadamente 43 km²) e situa-se a 120 km da capital João Pessoa. De acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010), sua população é de aproximadamente 400.000 habitantes, sendo a segunda cidade mais populosa

da Paraíba. O clima da região é do tipo semiárido apresentando temperatura média anual em torno de 22,4°C e com precipitação anual em torno de 875,4 mm (AESAs, 2013).

Para realizar a análise das concentrações de CO e H₂S, inicialmente, foi construída uma célula experimental, em alvenaria de tijolos manuais com estrutura cilíndrica, apresentando 2,0 m de diâmetro interno e 3,5 m de altura, possuindo volume aproximado de 11 m³. Ao longo de sua altura existem doze orifícios de 150 mm de diâmetro que permitem a coleta dos resíduos. As dimensões foram definidas com os objetivos de atingir uma altura de resíduos suficiente, para facilitar o estabelecimento de condições anaeróbias, levando em consideração também o custo para construção e preenchimento.

Antes do preenchimento dos resíduos na célula, foram realizados ensaios com o solo a ser utilizado na camada de base e cobertura, a fim de evitar sua contaminação por meio da lixiviação e para impedir que ocorra o fluxo de gases para a atmosfera. Acima da camada de base, foi colocada uma camada de brita para auxiliar na percolação de líquidos, só depois foi instalada a instrumentação da célula. A célula experimental é dotada de um sistema de drenagem de líquidos e gases, medidores de nível dos líquidos, medidores de recalque superficiais e profundos e medidores de temperatura ao longo da profundidade (Figura 1). Nas camadas de base e de cobertura foi escolhido um solo com características de baixa permeabilidade, com o intuito de minimizar a migração de gases para longas distâncias e o fluxo de líquidos devido à precipitação. Na camada de base esse fluxo também deve ser evitado para impedir a percolação de lixiviado para o subsolo.

Figura 1 - Croqui da célula experimental de RSU com detalhes da instrumentação.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

Amostragem, coleta de resíduos e preenchimento da célula experimental

Para a realização da coleta e amostragem foi utilizado o procedimento recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10.007 (ABNT, 2004). Na célula experimental foram acondicionados RSU provenientes de doze bairros de Campina Grande-PB. A amostragem foi realizada a partir de um planejamento estatístico, utilizando as quatro zonas da cidade: Norte, Sul, Leste e Oeste, de modo a se obter uma amostra representativa dos RSU de Campina Grande-PB. A partir dessa divisão foi realizado um sorteio aleatório dos bairros, a fim de selecionar os locais de coleta dos resíduos.

A coleta nos bairros foi realizada em um caminhão basculante da Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG), de acordo com as rotas definidas juntamente com a Secretaria de Obras e Serviços Urbanos (SOSUR). Após recolher a quantidade de RSU predeterminada, de aproximadamente 9 (nove) toneladas, procedeu-se a homogeneização e o quarteamento dos resíduos, de onde foram retiradas as parcelas para preenchimento da célula experimental.

Coleta de gases na célula experimental

Após a célula experimental ser preenchida com os RSU iniciou-se a fase de monitoramento. A coleta dos gases gerados no interior da célula foi realizada por meio de um dreno formado por tubos de PVC. O tubo mais externo possui 100 mm, utilizado para proteção de um segundo tubo de 40 mm, localizado no interior do primeiro tubo. Ambos possuem pequenos orifícios por toda extensão para entrada de gases. O espaço entre eles é preenchido com pedregulhos (brita 19 mm) para minimizar a obstrução dos furos e, assim, obter entrada de gás de todas as alturas da célula. A saída superior é formada por uma torneira com rosca para entrada da mangueira do equipamento de medição de gases (Figura 2).

Figura 2 - Dreno de gás (a); saída superior para entrada do equipamento (b).



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

Monitoramento de gases

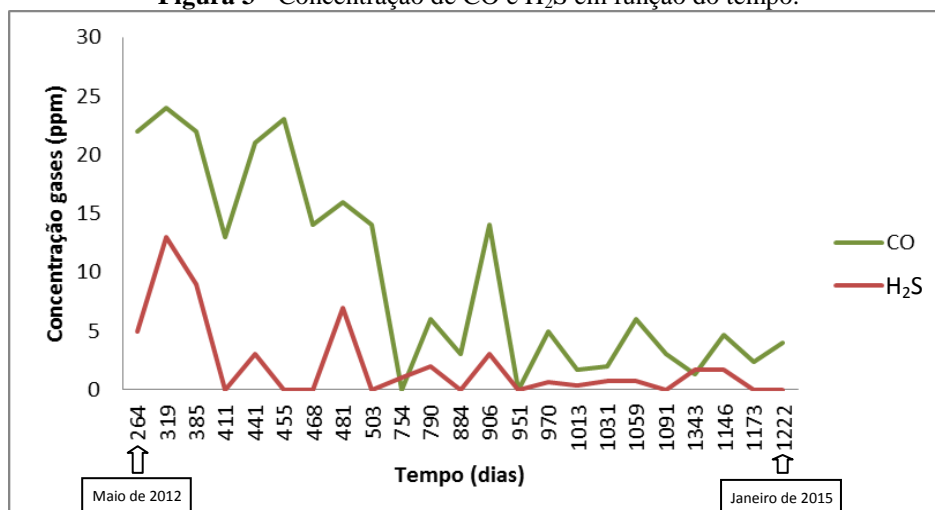
Para o monitoramento dos gases, foi utilizado o equipamento Dräger X - am 7000, o qual possui leituras das concentrações de CH₄, CO₂, O₂, H₂S e CO. Porém, nesse estudo serão considerados apenas o CO (faixa de medição de 0 a 200 ppm) e o H₂S (faixa de medição de 0 a 100 ppm).

O equipamento é dotado de uma pequena bomba que faz a sucção do gás e direciona o fluxo para os sensores de leitura. Em seguida, com auxílio da mangueira, o equipamento foi acoplado ao dreno de gás da célula experimental, onde permaneceu interligado por um intervalo de tempo entre 3 a 5 minutos. As análises com o Dräger são viáveis pela praticidade, rapidez e margem de erro de 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As leituras das concentrações dos gases com o detector portátil, por problemas operacionais, só foi possível após 264 dias do enchimento da célula experimental. Na Figura 3 é ilustrada a concentração volumétrica (ppm) de CO e H₂S em função do tempo de enchimento da célula experimental. As concentrações observadas no período do monitoramento variaram entre 0 a 24 ppm para CO, e de 0 a 13 ppm para H₂S.

Figura 3 - Concentração de CO e H₂S em função do tempo.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

Observa-se na Figura 3, que as concentrações de CO, para o período monitorado, foram superiores as de H₂S. Incialmente ocorreram valores elevados para o CO, porém a

partir de 503 dias de monitoramento houve redução na concentração desse gás, que se manteve com valores baixos até o final do período monitorado, exceto por volta de 906 dias, onde ocorreu uma elevação nas concentrações de CO. Tal fato pode ser justificado em função do início do monitoramento do CO ter ocorrido após 264 dias do enchimento da célula experimental; período em que, possivelmente, este sistema encontrava-se na fase metanogênica. Nesta fase, é típico a presença de CO, conforme indicado por Tchobanoglous (1993).

A redução nas concentrações de CO, a partir de 503 dias de monitoramento, podem ser decorrentes de problemas técnicos ocorridos na camada de cobertura da célula experimental, na qual foram identificadas fissuras e entradas preferenciais de oxigênio, desestabilizando, possivelmente, o sistema de digestão anaeróbia, o que pode ter afetado a fase metanogênica. Em relação ao H₂S, as concentrações desse gás apresentaram comportamento análogo a do CO, porém com valores inferiores durante todo o período monitorado.

De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (1990), que trata do padrão de qualidade do ar, os limites das concentrações de CO não devem ultrapassar valores de 9 e 35 ppm para um tempo de exposição de 8 e 11h, respectivamente, mais de uma vez por ano. Quando as concentrações de CO estão na faixa de 9 a 15 ppm durante um período de 8h, a CETESB (2006) indica que o ar possui qualidade inadequada e quando estiverem acima de 400 ppm ele é considerado potencialmente mortal.

O valor máximo de CO encontrado na célula experimental para o período monitorado, de 24 ppm, pode ser considerado alto, tendo em vista os padrões de qualidade do ar definidos pela CETESB (2006). Dentre outras propriedades do CO, deve-se ficar atento aos limites de explosividade, pois, quando está presente no ar em concentrações que variam de 12,5% (125000 ppm) a 74 % (740000 ppm), este torna-se explosivo; o que pode acarretar em uma série de desastres ambientais, além de causar risco à saúde pública. A célula experimental, quanto às concentrações de CO, não apresenta risco explosivo, pois as concentrações de CO foram inferiores a 25 ppm.

Existem poucas informações sobre a concentração de CO no Brasil. Em várias amostras de gás coletadas no aterro Delta, na cidade de Campinas (SP), não foi detectada a presença de CO (ENSINAS, 2003). No aterro da Muribeca (PE), leituras indicaram concentrações de 10 a 28 ppm (MACIEL, 2003). Neste estudo, as concentrações de CO na célula experimental variaram de 0 a 24 ppm, apresentando limite superior próximo ao obtido por Maciel (2003).

Em relação às concentrações de CO, valores na faixa de 500 a 1000 ppm, podem ser letais para seres humanos, podendo provocar inconsistência imediata e morte (USEPA, 2003). Valores de 100 a 200 ppm já causam tosse, inflamação nos olhos e irritação no sistema respiratório (CÉSAR, 2014), concentrações entre 200 e 500 ppm estão associadas à edema pulmonar (USEPA, 2003), e valor de 500 ppm já provocaria perda da consciência e possível morte em 30 a 60 minutos (CÉSAR, 2014). De acordo com Alcântara (2007), concentrações na ordem de 600 ppm por 30 minutos, e de 800 ppm por 5 minutos de exposição, são consideradas letais para seres humanos.

Vale ressaltar que a medição do CO em equipamentos portáteis tipo Dräger está susceptível a erros, devido às dificuldades de mensuração de gases reativos serem encontrados em baixas concentrações (ppm). Porém, diversos autores como Catapreta (2008), Alcântara (2007), Aires (2013), Mariano (2009) e Jucá (2001) realizaram o monitoramento de gases em aterros e células experimentais com esse tipo de equipamento e obtiveram bons resultados.

As medidas das concentrações de H₂S em alguns aterros indicaram concentrações bem maiores que as observadas na célula experimental, no qual o máximo valor detectado foi inferior a 15 ppm (Figura 3). No aterro da Muribeca, em Pernambuco, foram verificados nos lisímetros estudados por Alcântara (2007) concentrações de 150 a 448 ppm. No Aterro Metropolitano de Salvador-BA as concentrações foram semelhantes às da célula experimental estudada, variando de 6 a 14 ppm. Nos aterros Vila Albertina, Santo Amaro e Bandeirantes de São Paulo as concentrações de H₂S foram de 39, 29 e 30 ppm, respectivamente (ENSINAS, 2003).

A concentração típica no biogás de H₂S é em torno de 0 a 70 ppm, com limites de explosividade entre 4,3% a 45,5% (MAIA, 2011). Nota-se que o valor máximo encontrado no monitoramento da célula experimental, de 13 ppm (Figura 3), ficou abaixo desse limite, não ocasionando riscos de exposição para saúde humana. Dentre os fatores que afetam a migração do CO e do H₂S em aterros estão o tipo de cobertura utilizada, a velocidade e a direção do vento e o teor de água e a temperatura dos resíduos.

Segundo NR-15 (Norma Regulamentadora 15) (BRASIL, 1978), o limite máximo permitido de tolerância da exposição do homem ao H₂S não deve ultrapassar 8 ppm ou 12 mg/m³ até 48 horas por semana (BRASIL, 1977). Durante o período de monitoramento do H₂S, observou-se que o comportamento desse gás ultrapassou o valor permitido de tolerância à exposição, variando muito e atingindo o valor máximo de 13 ppm, o que pode ocasionar risco a saúde pública.

De acordo com Gouveia e Prado (2010), viver em localidades próximas a aterros de resíduos sólidos significa estar exposto aos produtos tóxicos ali presentes. Entretanto, os riscos observados foram de pequena magnitude, devido a grandes incertezas quanto a possíveis rotas de exposição. Dados da WHO (2000), afirmam que qualquer exposição potencial a contaminantes existentes em depósitos de resíduos sólidos deve estar confinada a um raio de 1 km, considerando-se a via aérea; e 2 km, considerando-se a água como rota de exposição.

CONCLUSÃO

De um modo geral, observou-se alguns valores elevados nas concentrações de H₂S atingindo um máximo de 13 ppm, indicando, a possibilidade de acidentes, devido a inalação desse gás, caso ultrapasse o limite de exposição permitido de 48 horas semanais. As concentrações de CO também mostraram valores que comprometem a qualidade do ar. Porém, o tempo de exposição para coleta e análise estão dentro dos padrões de segurança. A técnica utilizada para medição das concentrações de gases, se mostrou eficiente e economicamente viável para estudos com monitoramento de gases de RSU, servindo de subsídio para projetos destinados a aterros em escala real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/sort.do?layoutCollection=0&layoutCollectionProperty=&layoutCollectionState=3&pagerPage=0>>. Acesso em dezembro, 2013.

AIRES, K. O. *Monitoramento das concentrações de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande – PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2013. 118 p.

ALCÂNTARA, P. B. *Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. 366 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.007: Resíduos Sólidos – Amostragem de Resíduos*. 2004.

BRASIL. *Segurança e Medicina do Trabalho*, Lei n. 6.514, de 22 de dezembro de 1977.

BRASIL. *Norma Regulamentadora 15 (NR-15)*, Aprovada pela Portaria n. 3.214, de 8 de junho de 1978.

CATAPRETA, C. A. A. *Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação*. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 337 p.

CÉSAR, M. H₂S o gás da morte. *Clickmacaé*, [S.I.], 12 jul. 2004. Disponível em: <<http://www.clickmacae.com.br/?sec=47&cod=559&pag=coluna>> Acesso em dezembro, 2014.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. São Paulo: CETESB, 2. ed., 2006.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução n° 03 de 28/06/90: estabelece os padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos*, 1990.

CHYNOWETH, D. P. Introduction. In: *Anaerobic Digestion of Biomass*. New York: Elsevier Applied Science Publ., p. 1-14, 1987.

DU, Y.; FENG, H.; ZHANG, K.; HU, L.; FANG, C.; SHEN, D.; LONG, Y. Role of iron in H₂S emission behavior during the decomposition of biodegradable substrates in landfill. *Journal of Hazardous Materials*, v.272, p.36–41, 2014.

ENSINAS, A. V. *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003. 145 p.

ENVIRONMENT AGENCY. *Interim internal technical guidance for best practice flaring of landfill gas*. Document n° LFG 2, version 2. Bristol, UK. 1999.

GANDOLLA, M.; ACAIA, C.; FISCHER, C. Formação, captação e aproveitamento de biogás em aterros. In: *Seminário de Atualização, Collana Ambiente*. Milão, Itália. 1997.

GOUVEIA, N.; PRADO, R. R. Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos. *Revista Saúde Pública [online]*. v. 44, n. 5, p.859-866, 2010.

HEANEY, C. D.; WING, S.; CAMPBELL, R. L.; CALDWELL, D.; HOPKINS, B.; RICHARDSON, D.; YEATTS, K. Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill. *Environmental Resource*, v.111, n.6, p.847–852, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Contagem Populacional*. 2010.

JUCÁ, J. F. T; FUCALE, S. P.; MACIEL, F. J. Monitoramento Ambiental de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos. In: *21° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Cuiabá, Mato Grosso, 2001.

LASKRI, N.; HAMDAOUI, O.; NEDJAH, N. Experimental factors affecting the production of biogas during anaerobic digestion of biodegradable waste. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 6, n. 6, p.451 2015.

MACIEL, F. J. *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos urbanos da Muribeca*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. 173 p.

MAIA, D. C. S. *Remoção de H₂S e CO₂ de biogás para utilização energética*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2011. 86 p.

MARIANO, G. L.; MOURA, M. A. L. Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió-AL. *Revista Ciência e Natura*, UFSM, v. 31, n. 2, 2009. p. 57-70.

MCBEAN, E. A., ROVERS, F. A., FARQUHAR, G. J. *Solid waste landfill engineering and design*. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

METCALF, L.; EDDY, P. H. *Wasterwater engineering: treatment, disposal, reuse*. 3. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.

O'LEARY, P. R; TCHOBANOGLIOUS, G. Landfilling, Chapter 14. In: TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. *Handbook of Solid Waste Management*. 2. ed. McGraw-Hill, 2002.

OPAS – ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. *Manejo de resíduos sólidos. Conceito*. 2006.

PALMISANO, A. C.; BARLAZ, M. A. *Microbiology of solid waste*. CRC press, Boca Raton, Flórida, EUA, 1996.

PROCHNOW, M. A. *Monitoramento de gases – Estudo comparativo das principais tecnologias de sensores e aspectos relacionados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 141 p.

SCHLEGEL, H. G. *General microbiology*. Cambridge University Press, 7º edition, U.K. 1995.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. *Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues*. New York. 1993.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *AP 42 Section 2.4 –Municipal Solid Waste Landfills, Related Information*. 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch02/related/c02s04.html>> Acesso em dezembro, 2014.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. European Centre for Environment and Health. *Methods of assessing risk to health from exposure to hazards released from waste landfills*. Poland, 2000.

XU, Q.; TOWNSEND, T. Factors affecting temporal H₂S emission at construction and demolition (C&D) debris landfills. *Chemosphere*, v.96, p.105–111, 2014.

ZHAI, N.; ZHANG, T.; YIN, D.; YANG, G.; WANG, X.; REN, G.; FENG, Y. Effect of initial pH on anaerobic co-digestion of kitchen waste and cow manure. *Waste Management*, v.38, p.126–131, 2015.