

X-021 - PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E OLFATOMÉTRICA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV) E ODORANTES – UMA BREVE REVISÃO

Marlon André Capanema ⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Engenharia Civil pela Université de Sherbrooke (Canadá). Professor do Departamento 2 – Engenharia Ambiental e Sanitária – do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG, câmpus Goiânia, GO).

Paulo Belli Filho

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Química Industrial e Ambiental pela Universidade de Rennes I, França. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Henrique de Melo Lisboa

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Poluição Atmosférica pela École des Mines d'Alès (França). Professor Associado 4 do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Waldir Nagel Schirmer

Engenheiro químico pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC. Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-oeste (UNICENTRO, câmpus Irati, PR).

Endereço⁽¹⁾: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Instituto Federal de Goiás – câmpus Goiânia. Rua 75, nº 46, Setor Central, Goiânia (GO) Brasil, CEP: 74055110. E-mail: marlon.capanema@ifg.edu.br.

RESUMO

A emissão de compostos odorantes por parte de atividades industriais, disposição de resíduos ou mesmo etapas de tratamento de efluentes consiste num problema ambiental. A presente revisão propõe abordar a natureza dos principais gases odorantes emitidos a partir de fontes antrópicas, os métodos analíticos, sensoriais e senso-instrumental passíveis de serem aplicados à caracterização do odor, e algumas ferramentas analíticas comumente utilizadas. O monitoramento das emissões odorantes é complexo, tanto nos aspectos referentes à amostragem quanto análise dos compostos. As análises químicas são bastante difundidas na comunidade técnico-científica, e permitem conhecer a concentração dos diferentes gases que compõem a amostra odorante. Entretanto, tais análises não refletem a qualidade do odor nem o real incômodo causado pela amostra na população. Efeitos de sinergia, neutralização e estimulação entre os compostos podem influenciar o incômodo do odor. Considerando a diversidade dos compostos químicos odorantes em uma amostra, uma caracterização mais ampla requer a associação de técnicas sensoriais e analíticas, para a obtenção de dados mais completos que podem subsidiar a gestão e a mitigação dos maus odores.

PALAVRAS-CHAVE: Compostos orgânicos voláteis, Cromatografia gasosa, Odores, Olfatometria.

INTRODUÇÃO

As emissões antrópicas de gases odorantes constituem um grande problema ambiental pelo fato do desenvolvimento econômico e do aumento populacional provocar o aumento do consumo, e consequentemente, da industrialização e da geração de resíduos. Tais emissões sempre fizeram parte dos processos industriais, como por exemplo, em indústrias petroquímicas, papel e celulose, agroindústrias e dejetos animais (CARMO Jr. *et al.*, 2010; BELLI F^o e DE MELO LISBOA, 1998; CARMO Jr, 2005). Nas últimas décadas, a emissão de odores tornou-se uma grande preocupação socioambiental, principalmente no que se refere à disposição de resíduos em lixões e aterros sanitários, e estações de tratamento de efluentes (SIRONI *et al.*, 2005).

Dentre todos os tipos de poluição ambiental, as emissões de maus odores estão entre as mais difíceis de regular. Isso porque um cheiro desagradável é considerado algo subjetivo e, portanto, legalmente indefinível (CARMO Jr, 2005). SCHIRMER *et al.* (2007) apontam ainda que, nos últimos anos, tem-se dado maior importância ao tema, justamente em decorrência de uma maior conscientização pública acerca dessa questão, bem como do aumento do número de reclamações junto aos órgãos ambientais competentes. As reclamações referentes às emissões odorantes são cada vez mais frequentes, em função do aumento da urbanização e sua consequente aproximação das unidades industriais emissoras desses compostos. Outros impactos ambientais e sobre a população também são causados pela emissão de maus odores, a saber: alteração do comportamento fisiológico da população (dor de cabeça, náuseas, vômitos, irritação e fadiga), influência no comportamento psicológico (falta de apetite, ansiedade, distúrbios do sono, alterações de humor, desempenho intelectual prejudicado, incômodo para a sensação de bem-estar, diminuição da tolerância e raiva), redução da qualidade de vida e até mesmo riscos à saúde humana, pois alguns COV são tóxicos e podem ser cancerígenos. Ademais, existe um medo da população sobre os efeitos desconhecidos da exposição em longo prazo às emissões odorantes (SIRONI *et al.*, 2005; SCHEUTZ *et al.*, 2008; USEPA, 2008).

O impacto de um odor resulta geralmente de uma combinação de fatores, coletivamente conhecidos como FIDOL, isto é, frequência, intensidade, duração, ofensividade (hedonicidade) e localização. Esses fatores podem ser utilizados como base para investigações e avaliações de impacto odorante (FREEMAN e CUDMORE, 2002; NICELL, 2009). GOSTELOW *et al.* (2001) também reportam que existem quatro dimensões de um odor: concentração, intensidade, caráter e hedonicidade. A concentração e a intensidade odorante estão relacionadas, e duas leis são propostas para explicar a relação de intensidade-concentração: a lei de Weber-Fechner [Equação (1)] e a lei de Stevens [Equação (2)] (GOSTELOW *et al.* 2001):

$$\text{Lei de Weber-Fechner} \quad I = a \cdot \log C + b \quad (1)$$

$$\text{Lei de Stevens:} \quad I = KC^n \quad (2)$$

Onde I é a intensidade, C a concentração odorante e a, b, K, n são constantes.

A medida de compostos odorantes pode se dar sob duas formas: métodos sensoriais e analíticos. Um exemplo de método sensorial é a olfatometria dinâmica, na qual o detector para avaliação dos odores é o próprio sistema olfativo humano. Nesse caso, o nariz humano e o sistema olfativo são encarregados de inalar e identificar a concentração odorante de uma amostra de gás (BELLI Fº e DE MELO LISBOA, 1998; GOSTELOW *et al.* 2001; LISBOA *et al.* 2009). Os métodos analíticos, por sua vez, fornecem dados qualitativos dos compostos responsáveis pelo odor percebido, com a utilização de técnicas e instrumentos de análise. Muitas técnicas têm sido reportadas para a medida da concentração de compostos odorantes, algumas das quais serão discutidas nesse trabalho. Dentre suas vantagens, pode-se citar a repetibilidade e a precisão (GOSTELOW *et al.* 2001; KARNIK *et al.* 2003). Há ainda uma terceira forma de se medir o odor, pelo método senso-instrumental. Nesse caso, um instrumento denominado nariz eletrônico é capaz de medir a intensidade ou concentração odorante de modo similar ao olfatômetro, mas sem a necessidade do nariz humano, ou seja, sem um júri de olfatometria (BELLI Fº e DE MELO LISBOA, 1998; LISBOA *et al.* 2009). Considerando que medidas sensoriais e analíticas são complementares na avaliação de compostos odorantes, a presente revisão apresenta alguns dos principais métodos de medida de compostos dessa natureza, incluindo as etapas de amostragem e análise mais comumente reportadas na literatura.

NATUREZA DOS ODORES

Os maus odores representam um importante impacto causado pelas atividades humanas, e a determinação de métodos para a avaliação do grau desse incômodo olfativo é igualmente importante (BOCKREIS e STEINBERG, 2005). Odor é uma mistura complexa de compostos de natureza orgânica e inorgânica, compreendendo várias classes de compostos químicos. Por exemplo, compostos nitrogenados, sulfurados, oxigenados (aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos, álcoois e ésteres), aromáticos e compostos clorados (CAPELLI *et al.*, 2008; HUDSON e AYOKO, 2008; SENANTE *et al.*, 2003). Destes, o mais importante em termos de odor é o gás sulfídrico (H₂S), por apresentar um forte odor desagradável, característico de ovo podre. Esse gás é perceptível mesmo em concentrações de 0,005 ppm. Além disso, o H₂S pode causar problemas à saúde humana (GIORGI e FASAN, 2005; GOSTELOW *et al.* 2001; KARNIK *et al.* 2003; KIM *et al.*, 2005; ZHANG *et al.*, 2013). Embora muitos COV estejam presentes no ar em baixas concentrações,

muitos deles são odorantes e em concentrações suficientes para desencadear um incômodo olfativo na população.

AMOSTRAGEM DE COMPOSTOS ODORANTES

Independentemente da técnica de medida adotada (olfatometria dinâmica, análise química ou mesmo nariz eletrônico), a qualidade dos resultados obtidos é altamente dependente de um método de amostragem apropriado (CAPELLI *et al.* 2013). A medida de compostos odorantes geralmente é tarefa bastante complicada, pela diversidade de compostos presentes na amostra. Além disso, na etapa de análise, os limites de percepção olfativa (LPO) desses compostos, muitas vezes, podem ser inferiores aos limites de detecção dos equipamentos destinados à medição de sua concentração.

O objetivo da amostragem é a obtenção de informações representativas sobre as características típicas da fonte emissora por meio da coleta de uma fração suficiente de amostra do gás a ser avaliado. As condições operacionais da amostra bem como o número de amostragens e período de monitoramento devem ser determinadas de modo a permitir uma avaliação abrangente do impacto do odor associado à fonte monitorada (CAPELLI *et al.* 2013). O próprio tipo de fonte (pontual, fugitiva ou evaporativa) influencia diretamente a natureza da etapa de amostragem. Para se obter uma caracterização representativa das fontes emissoras de gases de uma planta industrial, um plano de monitoramento deve ser elaborado a fim de recolher o máximo de informações possível acerca do impacto odorante associado à planta. Consequentemente, é importante reunir informações suficientes sobre a planta e suas fontes de emissão antes mesmo da etapa de amostragem. Um conhecimento profundo e análise do ciclo de produção e de todas as atividades da planta são fundamentais para a identificação de suas principais fontes de odor (CAPELLI *et al.* 2013).

De modo geral, os recipientes (como “canisters”, ou sacos de Nalophan, Tedlar, etc.) usados na amostragem do gás odorante devem ser manufaturados com material que não interaja com a amostra gasosa. Assim, tais recipientes devem ter, como características gerais: inércia (como PTFE, PET e FEP), superfície lisa, inodora e de baixa permeabilidade. Qualquer processo de difusão pelo recipiente poderá alterar a concentração da amostra ao longo do tempo (CAPELLI *et al.* 2013; FORTUNE *et al.* 2012). O tempo que as amostras gasosas ficam armazenadas entre a coleta e a análise também é importante, não podendo exceder 36 horas, de acordo com EN 13725 (2003). Como mencionado anteriormente, a amostra de gás odorante é constituída de uma mistura complexa de diversos gases, e quanto menor o tempo entre a amostragem e a coleta, menor as chances de ocorrer reações entre os diferentes gases.

Como as concentrações de compostos orgânicos voláteis na amostra podem ser muito baixas, na ordem de partes por milhão (ppm) ou partes por bilhão (ppb), muitas vezes a pré-concentração dos gases torna-se necessária. A literatura têm reportado diferentes métodos de pré-concentração, como a adsorção em suporte sólido (ativa ou passiva), a criogenia (“cryogenic trapping”), microextração em fase sólida (SPME), extração por fluido supercrítico (SFE), técnicas de destilação e sublimação, etc. (DEWULF e VAN LANGENHOVE, 2002). Uma vez pré-concentrada, a amostra pode ser analisada, conforme descrito na próxima seção.

A pré-concentração por adsorção é uma técnica bem estabelecida e comum de amostragens de COV. A amostragem ativa ocorre com o bombeamento do ar a ser avaliado através de um leito adsorvente em vazões que podem variar entre 10 e 100 mL.min⁻¹, em um curto período de coleta (ordem de minutos) (DEMEESTERE *et al.* 2007). Um grande número de materiais pode ser utilizado como adsorvente, como peneiras moleculares, resinas poliméricas, carvão ativado, etc. O SPME, também bastante usado na análise de compostos orgânicos voláteis, baseia-se no equilíbrio de partição entre os analitos e a matriz de amostragem (fibra, a fase estacionária). O SPME integra amostragem e pré-concentração em uma única etapa. Uma fibra de sílica fundida quimicamente modificada é exposta no “headspace” da amostra. O equilíbrio é então alcançado entre a matriz e a fibra; assim, o processo de extração é regulado pela cinética de difusão no meio circundante e/ou o revestimento de fibra de polímero (VISAN e PARKER, 2004). Fibras comumente utilizadas são de PDMS (polidimetil siloxano), DVB (divinilbenzeno) e Carboxen.

ANÁLISE DE COMPOSTOS ODORANTES

Os compostos odorantes formam uma mistura complexa e, para sua determinação analítica (análises químicas), torna-se necessária uma separação prévia dos compostos seguida da identificação dos mesmos. Nesse caso, as técnicas de análise baseiam-se na cromatografia gasosa para a determinação de compostos odorantes (DAVOLI *et al.*, 2003; GOSTELOW, PARSONS e STUETZ, 2001; KARNIK, SNEATH e PERSAUD, 2003). A detecção de COV normalmente emprega detectores de ionização de chama (FID), espectrometria de massas (MS), captura de elétrons (ECD), fotoionização (PID), nitrogênio-fósforo (NPD), entre outros. Os mais empregados são o FID, a MS e a ECD (DEWULF e VAN LANGENHOVE, 2002).

A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas tem a vantagem de ser consolidada e, portanto, considerada objetiva, com boa repetibilidade e precisão (CAPELLI, SIRONI e DEL ROSSO, 2013). A determinação das concentrações (em ppm, ppb, $\mu\text{g m}^{-3}$, etc.) permite conhecer a composição química das emissões, dando informações para se avaliar a toxicidade da amostra bem como dos componentes responsáveis pelo odor. Portanto, pode ser útil para conhecer os compostos químicos que estão contidos em uma amostra antes da avaliação sensorial. Todavia, esse tipo de análise possui uma desvantagem relacionada à complexidade de se identificar e de quantificar diversos compostos químicos odorantes com características reativas, polares e muitas vezes em concentrações muito baixas. Além disso, é difícil estabelecer uma relação entre a composição química de uma amostra e a concentração obtida por análise sensorial. Em uma matriz gasosa, há efeitos de sinergia, neutralização e estimulação entre os diferentes compostos (LITTARRU, 2007; MICONE e GUY, 2007; CAPELLI *et al.*, 2008).

As concentrações dos compostos odorantes são normalmente muito baixas, mas os seus limites de percepção olfativa são, em alguns casos, inferiores. O nariz humano é o detector mais sensível destes compostos, já que muitos dos compostos odorantes estão em concentrações abaixo do limite de detecção dos equipamentos analíticos (FANG *et al.*, 2012; SENANTE *et al.*, 2003). Em geral, pode ser difícil detectar analiticamente a presença de alguns compostos em concentrações extremamente baixas, o que, no entanto, podem ser detectados via análise sensorial. CHEN *et al.* (2009) realizaram um estudo integrando, em um mesmo equipamento, a análise química e olfatométrica. Para tal, utilizou-se um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrofotômetro de massa e a um olfatômetro (GC-MS-O).

Técnicas sensoriais, tais como a olfatometria dinâmica (EN 13725, 2003), utilizam o olfato humano como um sensor e, portanto, permitem caracterizar odores estabelecendo a concentração, a intensidade e a qualidade do odor. Este método mede o impacto odorante total, em termos de unidades de odor por metro cúbico de ar avaliado (concentração de odor, em OU/ m^3) e não identifica os produtos químicos específicos responsáveis pelo odor (BRUNO *et al.*, 2007; CAPELLI *et al.*, 2008). Em relação à qualidade do odor, diferentes descritores são utilizados para caracterizá-lo, por exemplo, adocicado, azedo, mofo, floral, rançoso, ovo podre, etc. (NICELL, 2009). Tais descritores são importantes para avaliar o incômodo causado pelo odor, já que a concentração de odor somente não é suficiente para esse caso. Além da norma europeia (EN 13725), outras normas foram desenvolvidas para análise sensorial de odores (Tabela 1) (ST. CROIX SENSORY INC., 2005; RÉSEAU-ENVIRONNEMENT, 2010):

Tabela 1: Normas de análise sensorial de odores

Norma	Título e aplicação
ASTM E679-04	Prática padrão para a determinação dos limites de odor e sabor por escolha forçada por um método de limites de série de concentração ascendente
ASTM E1432	Prática padrão para a definição e cálculo do limite sensorial individual e de grupo a partir de um conjunto de dados de escolha forçada de dados de médio porte
ASTM E544-99	Práticas para referenciar a intensidade supra limite do odor
ASTM D1391	Medidas de odor em atmosferas
ISO 13301	Análises sensoriais – Metodologia-guia geral para análises de limites de detecção de odor, sabor e gosto por um procedimento de escolha forçada de três alternativas (3-AFC)
AS/NZS 4323.3:2001	Emissões de fonte estacionária – Determinação da concentração de odor por olfatometria dinâmica

Um inconveniente, nesse tipo de análise, é a variabilidade do olfato entre indivíduos diferentes. Este problema é minimizado por meio de um painel composto por vários examinadores, selecionados de acordo com a sensibilidade a uma faixa de concentração de um gás padrão (p. ex. n-butanol). Para compor o painel, o indivíduo não pode ter uma sensibilidade muito forte nem muito fraca, ele precisa se enquadrar em uma média populacional para caracterizar o odor de maneira representativa (CAPELLI *et al.*, 2008).

Pela técnica senso-instrumental, os odores podem ser caracterizados pelo nariz eletrônico ou artificial. Ele foi desenvolvido a fim de analisar, reconhecer e identificar os COV em baixos níveis de concentração, realizando artificialmente as funções da olfação humana. O nariz eletrônico é constituído de sensores químicos e de um processador de dados que identifica e mede as concentrações dos compostos. Uma limitação importante desta técnica é a necessidade de diferentes calibrações como uma função do tipo de fonte; portanto, não pode ser considerada como uma referência absoluta. Além disso, a característica de resposta apenas para classes de compostos não permite estabelecimento de limiares para cada componente de odor (MICONE E GUY, 2007; CAPELLI *et al.*, 2008; BRUNO *et al.*, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, uma breve revisão de literatura abordou o problema das emissões odorantes a partir de fontes antrópicas, notadamente as etapas de amostragem e análise de compostos orgânicos voláteis e odorantes. Nas últimas décadas, as emissões de odores tornaram-se uma grande preocupação socioambiental, pois causam sérios impactos na vida da população e no ambiente. Além disso, o modelo de desenvolvimento econômico fomenta o consumo, a industrialização e a geração de resíduos. A caracterização representativa das fontes emissoras de gases de uma planta industrial necessita de um plano de monitoramento, obtendo o maior número possível de informações acerca do impacto odorante. As análises químicas de compostos odorantes, por si só, podem ser insuficientes para ratificar os incômodos olfativos contestados pela população, uma vez que os limites de percepção olfativa desses compostos estão, muitas vezes, abaixo dos limites de detecção dos equipamentos analíticos. Além disso, as análises químicas podem não detectar todos os compostos responsáveis pelo odor, uma vez que a gama de compostos responsáveis pela percepção odorante pode ser muito grande. Diversas vezes, é necessário mais de uma configuração e equipamento analítico para uma avaliação quali/quantitativa. Daí a importância em se complementar a caracterização do odor com análises olfatométricas, por meio da qual se determina a concentração odorante, a qualidade do odor (com uso de descritores) e o real incômodo causado pelo odor percebido. Por fim, ressalta-se a importância de um monitoramento contínuo junto à fonte do odor ou comunidade impactada, de modo a determinar as flutuações das emissões odorantes, sua intensidade e, assim, associar as melhores ferramentas necessárias à gestão/mitigação desses odores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no âmbito do Projeto CAPES/COFECUB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOCKREIS, A., STEINBERG, I., 2005. Measurement of odour with focus on sampling techniques: assessment and abatement of odorous emissions. *Waste Management*, v. 25, n. 09, p. 859–863.
2. BRUNO, P.; CASELLI, M.; GENNARO, G; SOLITO, M.; TUTINO, M. Monitoring of odor compounds produced by solid waste treatment plants with diffusive samplers. *Waste Management*, v. 27, p. 539–544, 2007.
3. CAPELLI, L.; SIRONI, S.; DEL ROSSO, R.; CÉNTOLA, P.; IL GRANDE, M. A comparative and critical evaluation of odour assessment methods on a landfill site. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 7050–7058, 2008.
4. CAPELLI, L.; SIRONI, S.; DEL ROSSO, R. Odor Sampling: techniques and strategies for the estimation of odor emission rates from different source types. *Sensors*, v. 13, p. 938-955, 2013.

5. CARMO Jr, G. N. R. Otimização e aplicação de metodologias para análises olfatométricas integradas ao saneamento ambiental. Tese de doutorado (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Fpolis., 2005.
6. CARMO Jr., G. N. R.; BELLI Fº, P.; DE MELO LISBOA, H. SCHIRMER, W. N.; LACEY, M. E. Q. Odor assessment tools and odor emissions in industrial processes. *Acta Scientiarum - Technology*, v. 32, n. 3, p. 287-293, 2010.
7. CHEN, L., S. HOFF, L. CAI, J. KOZIEL ET B. ZELLE. Evaluation of wood chip-based biofilters to reduce odor, hydrogen sulfide, and ammonia from swine barn ventilation air. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v.59, p. 520-530. 2009.
8. DAVOLI, E.; GANGAI, M. L.; MORSELLI, L.; TONELLI, D. Characterisation of odorants emissions from landfills by SPME and GC/MS. *Chemosphere*, v. 51, p. 357–368, 2003.
9. DE MELO LISBOA, H. M.; PAGÉ, T.; GUY, C. Gestão de odores: fundamentos do nariz eletrônico. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.14, n.01, p.9-18, 2009.
10. DEMEESTERE, K.; DEWULF, J.; DE WITTE, B.; VAN LANGENHOVE, H. Sample preparation for the analysis of volatile organic compounds in air and water matrices. *Journal of Chromatography A*, v. 1153, p. 130-144, 2007.
11. DEWULF, J.; VAN LANGENHOVE, H. Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography. *Trends in Analytical Chemistry*, v. 21, n. 9-10, p. 637-645, 2002.
12. EN 13725, 2003. Air Quality - Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry. European Committee for Standardization (CEN), Brussels (B).
13. FANG, J-J.; YANG, N.; CEN, D-Y.; SHAO, L-M; HE; P-J. Odor compounds from different sources of landfill: Characterization and source identification. *Waste Management*, v. 32, p. 1401-1410, 2012.
14. FREEMAN, T., CUDMORE, R. Review of Odour Management in New Zealand. Air Quality Technical Report No. 24. New Zealand Ministry of Environment. Wellington, New Zealand. 2002.
15. FORTUNE, A.; HENNINGSEN, S.; TUDAY, M.; MCGINLEY, C; MCGINLEY, M. Chemical and odor evaluation of various potential replacement films for sampling bags. St. Croix Sensory Inc.. In: Water Environment Federation / Air & Waste Management Association Specialty Conference: Odors and Air Pollutants, 2012.
16. GIORGI, M.; FASAN S. Analytical determination of odour-causing compounds in ambient air at odour thresholds levels applied to the identification and control of odour causing events. *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA, 2005.
17. GOSTELOW, P., PARSONS, S. A. & STUETZ, R. M. Odour measurements for sewage treatment works. *Water Research*, vol., 35, 579-597, 2001.
18. HUDSON, N.; AYOKO, G. A. Odour sampling 1: Physical chemistry considerations. *Bioresource Technology*, v.99, p.3982-3992, 2008.
19. KARNIK, M.; SNEATH, R.W.; PERSAUD, K.C. Measuring odour emissions from landfill sites. *Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA, 2003.
20. KIM, K.H.; CHOI, Y.J.; JEON, E.C.; SUNWOO, Y. Characterization of malodorous sulfur compounds in landfill gas. *Atmospheric Environment*, v.39, n.6, p.1103–1112, 2005.
21. LITTARRU, P. Environmental odours assessment from waste treatment plants: Dynamic olfactometry in combination with sensorial analysers (electronic noses). *Waste Management*, v.27, n.2, p. 302-309. 2007.
22. MICONE, P. G.; GUY, C. Odour quantification by a sensor array: An application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment works. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v.120, n.2, p. 628-637. 2007.
23. RÉSEAU-ENVIRONNEMENT. Guide de gestion des odeurs. Réseau Environnement. Montreal. 2010.
24. SCHEUTZ, C., J. BOGNER, J. P. CHANTON, D. BLAKE, M. MORCET, C. ARAN ET P. KJELDSSEN. Atmospheric emissions and attenuation of non-methane organic compounds in cover soils at a French landfill. *Waste Management*, v.28, n.10, p. 1892-1908, 2008.
25. SCHIRMER, W.N.; LACEY, M.E.Q.; LISBOA, H.M.; MIRANDA, G.R. Características, natureza e métodos de amostragem/análise de gases odorantes emitidos em processos industriais: caso das lagoas de tratamento de efluentes. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 01, n. 02, p. 35-52, 2007.



26. SENANTE, E.; GALTIER, L.; BEKAERT, C.; LAMBOLEZ-MICHEL, L. Odours management at MSW landfill sites: odours sources, odourous compounds and control measures. Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA, 2003.
27. SIRONI, S.; CAPELLI, L.; CENTOLA, P.; ROSSO, R.D.; GRANDE, M. Odour emission factors for assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact. Atmospheric Environment, v.39, n.29 p.5387-5394, 2005.
28. ST. CROIX SENSORY INC., S. A review of the science and technology of odor measurement. Air Quality Bureau of the Iowa Department of Natural Resources. Lake Elmo. 2005.
29. USEPA. Frequently Asked Questions About Landfill Gas and How It Affects Public Health, Safety, and the Environment. United States Environmental Protection Agency. 2008.
30. VISAN, M; PARKER, W.J. An evaluation of solid phase microextraction for analysis of odorant emissions from stored biosolids cake. Water Research, v. 38, p. 3800-3808. 2004.
31. ZHANG, X.L.; YAN, S.; TYAGI, R.D.; SURAMPALLI, R.Y. Odor control in lagoons. Journal of Environmental Management, v.124, p.62-71, 2013.