

DESODORIZAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS TRATADOS EM LEITO DE ZONA DE RAÍZES (“WETLANDS”)

Waldir Nagel Schirmer*¹, Gabriela Laila de Oliveira²

1 – Prof. adjunto do Depart. de Eng. Ambiental da Universidade Estadual do Centro-oeste, Irati-PR, Brasil.

2 – Engenheira Ambiental, graduada pela Universidade Estadual do Centro-oeste, Irati-PR, Brasil.

*E-mail: wanasch@yahoo.com.br

Recebido em 14 de dezembro de 2009.

Aceito em 19 de abril de 2010.

RESUMO

A zona de raízes é um sistema que utiliza as raízes das plantas (macrófitas) no tratamento de efluentes líquidos domésticos. Os mecanismos envolvidos (físicos, químicos e biológicos) de estabilização da matéria orgânica do efluente e compostos odorantes envolvem principalmente os elementos constituintes do meio (solo, microrganismos e plantas). O presente trabalho utiliza-se da olfatometria (técnica de análise de odores) como ferramenta na avaliação da desodorização de efluentes líquidos tratados em uma estação de tratamento de esgoto por zona de raízes (ETEZR) em uma comunidade rural do município de Irati (PR). Para uma melhor avaliação da eficácia da desodorização, os odores (de antes e depois do tratamento na estação) foram avaliados nas três categorias olfatométricas (intensidade, caráter e hedonicidade) de acordo com normas européias. Os resultados apontaram que o efluente tratado ainda apresentava níveis de odor perceptíveis mesmo após redução significativa na sua intensidade (a redução no quesito “muito forte” foi de 89,3% entre os efluentes de entrada e saída da estação de macrófitas). Além disso, o caráter odorante classificado como “ofensivo” foi o mais citado pelo júri nos dois efluentes (entrada e saída, com 91% e 40% do número de respostas, respectivamente); entretanto, nesse mesmo quesito, o efluente tratado apresentou odores menos “agressivos” e bem menos desagradáveis. De um modo geral, a estação proposta mostrou-se eficaz na estabilização de compostos odorantes comumente liberados na degradação biológica anaeróbia em tratamentos dessa natureza.

Palavras-chaves: Macrófitas; olfatometria; saneamento básico; tratamento de esgotos.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tratamento de efluentes domésticos por zona de raízes

A falta de tratamento dos esgotos sanitários é considerada um dos maiores problemas sanitários da população brasileira. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil, 47,2% da população não possui rede coletora de esgoto nem ao menos fossa séptica [1]. Isso significa que quase 100 milhões de habitantes não dispõem desses serviços sendo que o problema é ainda mais grave nas comunidades rurais e de baixa renda. Ainda, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a falta de água tratada e redes de coleta de esgoto podem ocasionar a morte de pelo menos 15 mil brasileiros por ano [2].

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio (PNAD), apesar do sistema de saneamento básico estar melhorando significativamente no Brasil, 26,7% dos domicílios ainda não tem acesso à rede coletora adequada de esgoto ou ao menos um sistema de coleta mais simples, como a fossa séptica [3]. Isso significa que cerca de um em cada quatro domicílios faz uso de uma forma irregular de despejo, muitas vezes deixando o esgoto a céu aberto. A

pesquisa mostra ainda que na região Centro-oeste brasileira, por exemplo, quase 53% das residências não têm qualquer tipo de saneamento regular. A falta de saneamento básico expõe a população a uma qualidade de vida precária e está diretamente relacionada com a saúde pública, uma vez que tal situação pode ser precursora de doenças como cólera, hepatite, amebíase, diarreia e outras.

Com isso, aumenta a importância de implantação de tecnologias apropriadas, a fim de minimizar a falta de saneamento básico e melhorar a qualidade de vida da população. Nesses casos, o tratamento de esgotos domésticos por zonas de raízes tem sido uma ótima alternativa, já bastante utilizada em muitos países para o tratamento de diferentes tipos de águas residuárias [4]. Seu baixo custo de implantação e fácil operação são fatores decisivos em sua utilização [5].

A estação de tratamento de esgoto (ETE) por zona de raízes é um sistema físico-químico que foi idealizado conforme a tecnologia dos solos filtrantes, só que nesse caso parte do filtro é constituído por raízes das plantas. Trata-se, então, de uma alternativa considerada auto-sustentável.

As estações de tratamento por zona de raízes podem ser caracterizadas conforme o fluxo da água residuária. Geralmente o mais usado, e também apresentado neste trabalho, é o sistema de fluxo subsuperficial horizontal, que

apresenta o nível de água abaixo da superfície do solo, evitando dessa forma a proliferação de mosquitos e dificultando a percepção de odores do efluente. Outro sistema é o fluxo superficial horizontal, em que a água residuária flui horizontalmente em uma área definida acima do solo; o nível da lâmina de água varia usualmente de 10 a 30 cm. No caso do fluxo vertical, o efluente é aplicado de modo contínuo ou intermitente e permanece abaixo da camada filtrante [6,7].

Para melhor eficiência no tratamento da água residuária é necessário que o esgoto bruto passe primeiro por uma fossa séptica, onde receberá o tratamento primário (processo físico) para a remoção dos sólidos grosseiros. Em seguida, o efluente é encaminhado (por ação da gravidade dada a declividade da tubulação) à ETE por zona de raízes, onde receberá o tratamento secundário (processo biológico por macrófitas). Esse sistema recebe o esgoto bruto por tubulações instaladas por baixo da área plantada. A planta utilizada na ETE é colocada diretamente sobre uma camada de brita com cerca de 50 cm de profundidade; logo abaixo da camada de brita há uma camada de areia, cuja granulometria varia de média para grossa. No fundo ficam as tubulações responsáveis pela coleta do efluente tratado. É extremamente necessário que a ETE seja toda impermeabilizada com material adequado, que pode ser lona plástica resistente ou concreto armado. A impermeabilização é importante para evitar a contaminação do solo e do lençol freático e também para evitar possíveis infiltrações no sistema que possam degradar a qualidade do efluente tratado [8]. A Figura 1 mostra o esquema simplificado de uma ETE por zona de raízes.

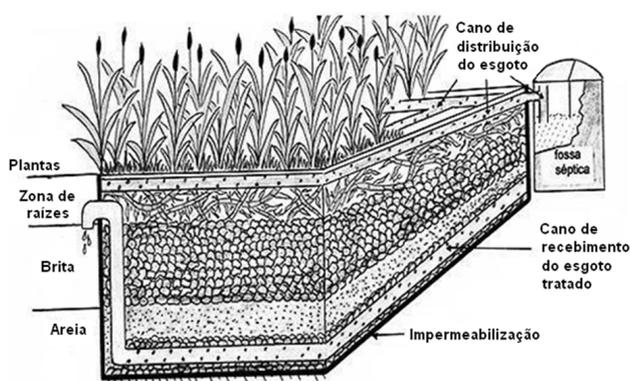


Figura 1 – Esquema de uma ETE por meio de zona de raízes.

Fonte: Adaptado de Van Kaick [8].

As plantas usadas neste sistema são as macrófitas. Elas são ideais porque possuem características específicas que ajudam na eficácia do tratamento, como raízes grandes (tipo cabeleira, para melhor aderência da biomassa), espaços internos de ar no seu interior (aerênquimas, para o movimento do oxigênio atmosférico até zona de raiz) e fácil adaptação a terrenos alagados [9].

Segundo Stottmeister *et al.* [6], são vários os mecanismos que interagem entre si para a degradação dos contaminantes e é na zona da raiz (rizosfera) que acontece o mutualismo entre a planta e os microrganismos presentes na

água. O mesmo autor diz ainda que o tempo de detenção hidráulica, o tipo de fluxo e o tipo de planta utilizada também são aspectos importantes para a eficácia do tratamento.

O sistema por zona de raízes pode ser eficiente na remoção de diversos tipos de poluentes como, por exemplo, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, metais pesados, inclusive patogênicos [10,11]. Apesar de ocupar uma área relativamente grande, tem como vantagens um baixo custo de implantação, fácil manutenção, menor gasto de energia, pode ser estabelecido no mesmo lugar onde é produzido o efluente a ser tratado, não há produção de lodo e pode satisfazer uma paisagem funcional, uma vez que as plantas utilizadas podem ser usadas como ornamentação [5,9,12].

Os mecanismos físicos, químicos e biológicos de estabilização da matéria orgânica que ocorrem em estações de tratamento por zona de raízes são complexos e envolvem principalmente os elementos constituintes do meio – solo, microorganismos e plantas. A oxidação da matéria orgânica ocorre tanto por degradação microbiológica aeróbia quanto anaeróbia. A degradação microbiológica ocorre principalmente porque os microrganismos utilizam compostos orgânicos e inorgânicos (por meio de reações de oxidação-redução) presentes no efluente doméstico como fonte de energia e carbono necessários para seu metabolismo e reprodução, além de captarem luz solar e utilizarem carbono orgânico (microrganismos heterotróficos) e dióxido de carbono (microrganismos autotróficos) também para seu metabolismo [13].

Segundo Van Kaick [8], em sistemas de tratamento convencionais, um grande problema é o odor gerado devido ao processo de degradação da matéria orgânica. Na zona de raízes, as bactérias fixadas nas raízes recebem o oxigênio e o nitrogênio transportado das folhas da planta até raiz (através dos aerênquimas) oxidando a matéria orgânica e transformando-a em nutrientes necessários para a planta; assim, o odor comumente liberado em tratamentos convencionais devido a esse mesmo processo de degradação é eliminado pela própria planta, já que as próprias raízes operam como filtro.

2. A formação de odores em estações de tratamento.

Os odores, de maneira geral, sempre fazem parte de uma situação ou processo, provocando as mais diversas reações, tanto em uma única pessoa quanto em toda a população exposta. O maior problema enfrentado, quando se tenta oferecer solução para as reclamações de odor feitas por uma comunidade é a falta de padrões adequados para orientar as autoridades e administradores ambientais das fontes emissoras de tais poluentes. Segundo Kaye e Jiang [14], a nível mundial, as reclamações a respeito de odor representam mais de 50% das denúncias ambientais encaminhadas pela população aos órgãos de controle ambiental.

Os odores são resultantes das sensações de moléculas químicas de naturezas diversas, como orgânicas ou minerais voláteis e com propriedades físico-químicas distintas, que formam misturas complexas contidas no ar [15,16].

Os compostos odoríferos incluem moléculas orgânicas e inorgânicas. As duas principais moléculas inorgânicas são o ácido sulfídrico e a amônia. Em efluente de esgoto doméstico, os odores inorgânicos são geralmente resultantes da atividade biológica, as quais decompõem a matéria orgânica e formam uma variedade de gases mal odorantes tais como: indóis, escatóis, mercaptanas e aminas [17, citado por 15].

Le Cloirec, Fanlo e Degorge-Dumas [18, citado por 15], consideram os compostos odoríferos como uma mistura de gases compreendendo as seguintes famílias de compostos; muitas delas comuns em efluentes domésticos:

- *compostos nitrogenados*: amônia, aminas (metil-, etil-, dimetil-, ...), heterociclos;

- *compostos sulfurados*: ácido sulfídrico, sulfetos (metil-, etil-, propil-, ...), mercaptanas (isoamil-, metil-, etil-, propil-, isopropil-, butil-, isobutil-, t-butil-, ...);

- *compostos oxigenados*: acrilatos, butiratos, acetatos, éteres (etil-, isopropil-, butil-, fenil-, ...), ésteres (etílicos e metílicos), ácidos orgânicos (fórmico, acético, propiônico, butírico, valérico, caprótico, ...), aldeídos (form-, acet-, propion-, ...), cetonas (acetona, metiletil-, dietil-, metilisobutil-, pentanona-2, heptanona-2, ...), álcoois (metanol, etanol, propanol, butanol, pentanol, hexanol, heptanol, ...), fenóis (fenol e cresol), etc.;

- *hidrocarbonetos*: alcanos (etano, propano, butano, pentano, ciclobutano, ...), alcenos (eteno, propeno, 1-buteno, 2-buteno, isobuteno, 1-penteno, 1-deceno), aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos), etc.

O odor está intimamente relacionado à concentração de hidrocarbonetos em um determinado ambiente. Numa ETE, por exemplo, os maiores responsáveis pelo odor são exatamente os compostos desta classe, uma vez que sua elevada concentração acaba muitas vezes se sobrepondo a vários outros compostos individualmente bem mais odorantes. A maioria dos hidrocarbonetos, incluindo orgânicos nitrogenados, clorados e sulfurados são designados como compostos orgânicos voláteis (COV). De modo geral, os COV são definidos como compostos orgânicos de elevada pressão de vapor e são facilmente vaporizados às condições de temperatura e pressão ambientes [15].

No caso das estações de tratamento de esgoto, a produção de gases odorantes é uma consequência da degradação biológica anaeróbia. De acordo com Moravia [19], o processo biológico tem como princípio o metabolismo microbiano, que é a conversão de compostos orgânicos envolvendo bactérias tanto aeróbias (agem na presença de oxigênio), anaeróbias (degradam na ausência de oxigênio) quanto facultativas (agem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio). Nesse caso, o processo de degradação é complexo e envolve uma série de etapas.

Segundo Stuetz e Frechen [20], sob condições anaeróbias, algumas das reações bioquímicas responsáveis pela geração de odor são:

2.1 Fermentação

Na degradação anaeróbia, as bactérias fermentativas consomem a matéria orgânica, o nitrogênio e

o enxofre (quando presente no meio), e através de hidrólise, dão origem a vários subprodutos de cadeia curta, muitos deles sulfurados, responsáveis pelos odores percebidos.

2.2 Redução de sulfato

A redução de sulfatos pelas bactérias sulfato-redutoras (BSR) com a produção de sulfeto de hidrogênio é a mais importante das reações geradoras de odor, porque o sulfeto de hidrogênio está sempre presente quando há odores, mesmo quando este não é a causa principal.

As BSR são heterotróficas e 'respiram' o sulfato para fornecer energia necessária à estabilização da matéria orgânica e para liberar o sulfeto na solução. São estritamente anaeróbias e, apesar de ocorrerem ao mesmo tempo que o processo de fermentação, operam em um potencial redox mais baixo e crescem em uma taxa mais lenta do que os microrganismos aeróbios. Quando o oxigênio ou o nitrato estão presentes, as BSR não podem funcionar, porém, estão prontas para se tornarem ativas sempre que as condições locais se tornam anaeróbias.

Ainda segundo Stuetz e Frenchen [20], outras reações bioquímicas podem ser responsáveis pela redução de odor em ETE, como aquelas realizadas por bactérias sob condições aeróbias e bactérias metanogênicas.

2.3 Ação de bactérias sob condições aeróbias

Sob condições aeróbias, as bactérias oxidam a matéria orgânica na presença de oxigênio dissolvido. A degradação aeróbia é basicamente a oxidação dos compostos orgânicos em inorgânicos, geralmente água e dióxido de carbono. Porém, se essas condições são mantidas, outros efeitos também ocorrem, como a inibição de bactérias sulfato-redutoras e a oxidação de produtos químicos odorantes que se formam previamente sob condições anaeróbias incluindo o ácido sulfídrico, os nitratos e o dióxido de carbono.

2.4 Ação de bactérias metanogênicas

As bactérias metanogênicas estão presentes em processos de digestão anaeróbia, operando na mesma escala redox que as BSR. Essas bactérias convertem ácidos graxos voláteis (AGV) a metano inodoro, reduzindo significativamente o nível de odor.

A produção de H_2S está intimamente ligada a condições de competição entre as BSR e as metanogênicas; dessa forma, a ausência de bactérias metanogênicas pode resultar na formação de concentrações elevadas de AGV e de sulfetos, conseqüentemente, em risco significativo de criar problemas do odor.

3. Olfatometria

Para Carmo Jr. [21] e Belli Filho e Lisboa [22], atualmente, não há nenhuma tecnologia específica para avaliação quantitativa e qualitativa de odores, o que faz do aparelho olfativo humano o melhor sensor de avaliação. A olfatometria é a técnica de análise de odores que se baseia

justamente nas mucosas olfativas do homem como os únicos captadores disponíveis na avaliação dos odores. Nestes estudos, o detector disponível para avaliação dos odores é o sistema olfativo do ser humano, encarregando-se de discriminar e identificar os compostos odorantes. Nesse caso, os odores são avaliados através de pesquisa olfatométrica realizada junto a um júri, onde cada membro (jurado) identifica e caracteriza o odor percebido baseado em seu estímulo e resposta olfativos [15,21-23].

Para a melhor caracterização de um odor (amostra de um gás odorante), deve-se considerá-lo sob os seguintes aspectos: qualidade, intensidade e hedonicidade [15,21,24].

3.1 Caráter

Neste caso, a caracterização do odor ocorre mediante a utilização de um vocabulário de referência para gosto e sensação de odor. As noções são muito subjetivas já que a sensação olfativa é individualizada, embora os tipos de respostas sejam geralmente análogos a uma população homogênea [15,25]. Diante disso, uma forma de representar a qualidade do odor é através de seu caráter. O caráter (ou qualidade) odorante é uma escala de medida nominal (categorias) bastante complexa, uma vez que deve “traduzir” que o odor percebido se parece com o odor de alguma outra substância contida no “repertório” da pessoa. Entre as formas mais comuns de representação do odor está a *roda de odores* (Figura 2), descrita por McGinley e McGinley [26], onde são destacadas oito categorias (famílias) de odores facilmente reconhecidos: floral, vegetal, frutífero, medicinal, químico, ofensivo, peixe e terra.

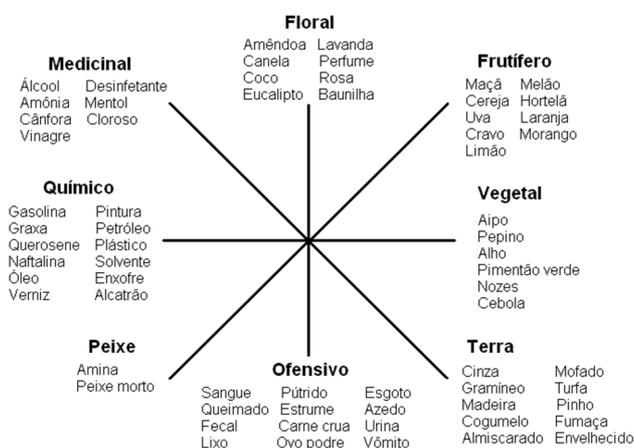


Figura 2 – Roda de odores.

Fonte: Adaptado de McGinley e McGinley [26, citado por 21].

A partir daí, o número (ou percentual) de respostas pode vir representado na forma de um histograma ou gráfico (do tipo radar, por exemplo) de modo a melhor visualizar a tendência das respostas.

3.2 Intensidade

A intensidade percebida de um odor é relativa à

força do odor acima do limite de reconhecimento (supralimite). A norma ASTM E544-75 [27], “Prática padrão para referência supralimite de intensidade de odor”, apresenta dois métodos referenciando a intensidade de ambientes com odor: o *Método da Diluição Dinâmica* e o *Método da Escala Estática*.

O método da diluição dinâmica utiliza um olfatômetro para diluição das amostras. Esse equipamento determina a concentração odorante de amostras, misturando-as continuamente com um fluxo de ar puro para apresentação aos jurados (ocorre a mistura de vazões, e não de volumes). Isto eleva muito a possibilidade da criação de diferentes fatores de diluições e assim, maior precisão no resultado numérico. A precisão de um olfatômetro de diluição dinâmica está intimamente ligada à precisão dos contadores mássicos que regulam as vazões de ar puro e da amostra.

A avaliação da intensidade odorante pode ainda ser desenvolvida utilizando o método do butanol (ou método da escala estática), que permite comparar a amostra a ser analisada com amostras de referenciais de odores. Este método utiliza uma escala de referência, com concentrações diferentes e conhecidas de soluções em água ou diluídas em ar inodoro [28]. A avaliação da intensidade odorante é feita conforme a norma ASTM E544-75 [27]. Essa prática compara a intensidade de odor da fonte avaliada com a intensidade de uma série de concentrações de referência odorante onde a substância padrão utilizada é o n-butanol. A série de concentrações de butanol (diluído em água), feita para uma específica referência de diluição, serve como escala de referência. A Tabela 1 apresenta as diluições recomendadas conforme a norma francesa AFNOR [29, citado por 22]. Segundo a norma VDI 3882-Parte 1 [30], para avaliar a intensidade de odor da amostra inalada, o júri deve classificar sua impressão de odor de acordo com o conceito especificado seguindo a escala mostrada na Tabela 2.

Tabela 1 - Intensidade dos odores para piridina ou n-butanol
Fonte: AFNOR [29, citado por 22].

Concentração (g/L)	Nível	Intensidade do odor
0,001	1	Muito fraco
0,01	2	Fraco
0,1	3	Médio
1	4	Forte
10	5	Muito forte

Tabela 2 - Escala de categoria do odor [30].

Odor	Nível
Muito forte	5
Forte	4
Médio	3
Fraco	2
Muito fraco	1

Em síntese o método estático possui as vantagens de apresentar baixo custo e poder ser aplicado em qualquer lugar (uma vez que requer apenas os frascos com as soluções de butanol em diferentes concentrações), mas tem como limitação a impossibilidade de fornecer um resultado numérico que expresse a concentração odorante, tal como ocorre na medição com o olfatômetro (método dinâmico). Este último, por sua vez, torna-se mais oneroso e trabalhoso, uma vez que necessita de equipamento específico para determinação da concentração odorante (neste caso, o olfatômetro). O método dinâmico também exige que as amostras sejam coletadas na fonte em recipientes especiais de modo a evitar a adsorção dos gases odorantes (sacos de Tedlar, por exemplo) e que estas sejam levadas ao equipamento no laboratório a fim de que esse odor seja avaliado, dentro de um curto período de 30 horas, segundo a norma da comunidade européia [31].

3.3 Hedonicidade

O valor hedônico é uma medida da agradabilidade do odor; uma categoria de julgamento quanto à característica do odor em ser prazeroso ou não. A polaridade prazer/desprazer é acompanhada de forte regularidade na sensação olfativa, podendo ir desde o “extremamente agradável” até o “intolerante”. Estas noções são muito subjetivas, porque a sensação olfativa é individualizada. Fatores como estado fisiológico, cultura, hábitos e idade do indivíduo podem modificar a percepção do odor. Ainda assim, os tipos de respostas são geralmente análogos para uma população homogênea [21,25,26]. Uma forma de registrar as respostas dos jurados com relação à hedonicidade é através da Escala dos 21 Pontos, proposta por McGinley e McGinley [26]:

-10 ----- 0 ----- + 10
 Desagradável Neutro Agradável

Segundo Carmo Jr [21], “um jurado usa sua experiência pessoal e memória de odor para avaliar o valor hedônico de um odor, referindo-se à escala. O valor hedônico (final) de um odor, testado em laboratório, é a média do valor hedônico individual assinalado por cada jurado”.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho usa a olfatométrica como ferramenta na avaliação da desodorização de efluentes líquidos tratados em uma estação de tratamento doméstico por zona de raízes em uma comunidade rural. A ETE (por zona de raízes) em estudo localiza-se no Distrito de Gonçalves Júnior, município de Irati (PR), a 18 km do centro da cidade, atende a uma demanda de duas residências (com total de cinco pessoas) e possui volume de 6,0 m³, projetados de acordo com o número de habitantes atendidos. A Figura 3 apresenta um esquema da localização das fossas

sépticas e da ETE em relação às residências. Vê-se que o esgoto bruto passa primeiro por uma fossa séptica (uma para cada residência), onde recebe o tratamento primário (processo físico) para a remoção dos sólidos grosseiros. Em seguida, o efluente é encaminhado (por ação da gravidade dada a declividade da tubulação) à ETE por zona de raízes. A planta utilizada no tratamento, nesse caso, foi a *Zantedeschia aethiopica* (copo-de leite, conforme Figura 4). A ETE avaliada adota o sistema de fluxo subsuperficial horizontal, com o nível de água abaixo da superfície do solo.

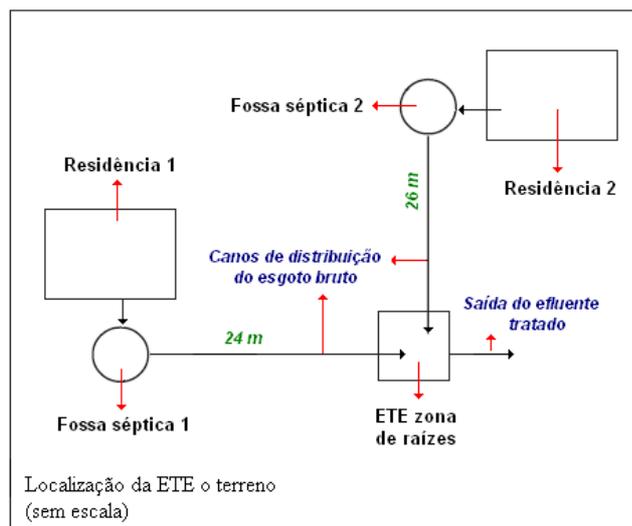


Figura 3 – Localização da ETE em relação às duas residências.

A coleta do efluente foi realizada entre os meses de março a junho de 2009, compreendendo cinco campanhas realizadas quinzenalmente. As amostras foram coletadas na entrada e saída da estação, de modo a verificar o desempenho do tratamento no que se refere à desodorização do efluente.

Já em laboratório, as amostras foram submetidas à análise olfatométrica de acordo com o método estático tendo por base as normas AFNOR [29] e VDI 3882 – Parte 1 [30] considerando-se os três critérios de análises de odor apresentados anteriormente: caráter, intensidade e hedonicidade. Todas as campanhas foram realizadas com júri compostos por 15 pessoas. Nesse caso, de acordo com a EN:13.725 [31], os devidos cuidados foram observados com relação aos jurados [adaptado de 21]:

- idade mínima de 16 anos e voluntários;
- não ter fumado, se alimentado ou bebido (exceto água) antes do teste;
- não estar resfriado;
- não estar utilizando perfume ou desodorante que pudesse interferir na percepção do odor apresentado (amostra).



Figura 4 – Estação de tratamento utilizada (copo-de-leite).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Intensidade

A Figura 5 apresenta as respostas dadas pelo júri na avaliação do odor quanto à sua intensidade.

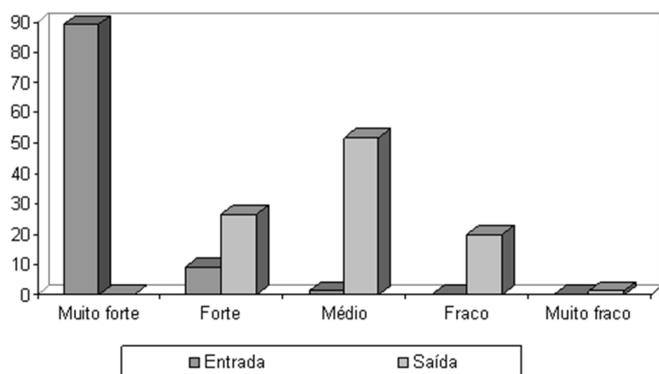


Figura 5 – Respostas (em %) dadas pelo júri em relação à intensidade percebida nos efluentes de entrada e saída da ETE por zona de raízes.

Pela figura, observa-se que o efluente de entrada (antes do tratamento na estação por zona de raízes) teve o maior índice de intensidade odorante em relação ao efluente de saída, com 89,3% dos membros do júri alegado ser *MUITO FORTE* o odor percebido; 9,3% disseram que seu odor era *FORTE* e apenas 1,3% *MÉDIO*. Nenhum jurado, em nenhuma das 5 campanhas, afirmou ser *FRACO* ou *MUITO FRACO* o odor percebido das amostras coletadas antes do tratamento proposto.

Já para o efluente de saída (após tratamento na ETE por zona de raízes), a maior parte das respostas (52%) apontou a intensidade odorante como *MÉDIA*; nenhum dos jurados agora alegou ser *MUITO FORTE* o odor percebido; 26,6% *FORTE*; 20% *FRACO* e uma minoria (1,3%) *MUITO FRACO*.

Assim, a redução no item *MUITO FORTE* foi de exatamente 89,3% entre os efluentes de entrada e saída da estação de macrófitas, nessa ordem. Entretanto, a maior parte das respostas acerca do efluente de saída se distribuiu entre as opções *FORTE* e *MÉDIO* (este principalmente), indicando que, mesmo após o tratamento, o odor ainda poderia ser facilmente percebido.

5.2 Caráter

A Figura 6 apresenta as respostas dadas pelo júri na avaliação do odor quanto ao seu caráter.

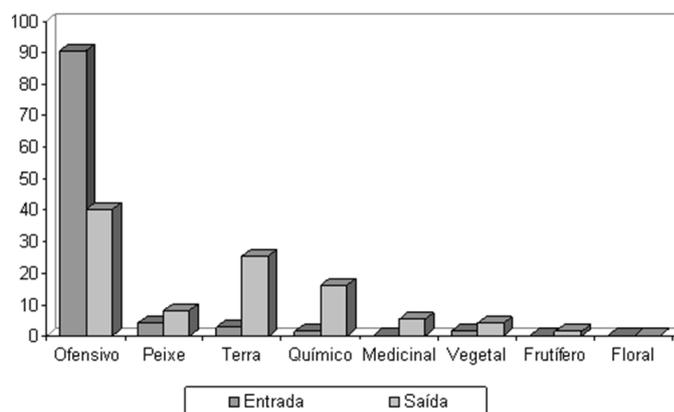


Figura 6 - Respostas dadas pelo júri em relação à qualidade do odor percebido nos efluentes de entrada e saída da ETE por zona de raízes.

A análise do caráter foi realizada com os mesmos jurados que avaliaram a intensidade de odor. Para as amostras do efluente de entrada, a categoria de odor *OFENSIVO* foi a que apresentou o maior número de respostas (91%); neste caso, as respostas assinaladas, de acordo com a *Roda de Odores*, foram: esgoto, ovo podre, vômito, pútrido, lixo, azedo, fecal, urina e estrume. Dentre os jurados, uma minoria apontou respostas dentro de outras categorias da *Roda*, tais como, peixe, terra, químico e vegetal, respectivamente, 4%, 2,6%, 1,3% e 1,3% (nesses 4 itens, os odores descritos foram peixe morto, cogumelo, mofado, enxofre e alho).

A categoria odor *OFENSIVO* novamente foi a que apresentou o maior número de respostas (40%) na análise do efluente da saída, que também o classificaram como cheiro de esgoto, ovo podre, vômito, pútrido, lixo, azedo, fecal, urina e estrume, tal como ocorrera no efluente de entrada da estação. Para esse mesmo efluente (de saída da estação), 25,3% descreveram odores correspondentes à categoria *TERRA*, classificando-o como cheiro de fumaça, mofado, madeira, terra, cogumelo e envelhecido. Ainda, 16% dos

jurados enquadraram o odor na categoria *QUÍMICO*, classificando-o como odor de graxa, plástico, óleo, naftalina, gasolina, petróleo e enxofre. As categorias peixe, medicinal, vegetal e frutífero também foram citadas pelos jurados com, respectivamente, 8%, 5,3%, 4% e 1,3%.

Contudo, apesar da categoria de *OFENSIVO* ter a maior porcentagem de respostas nos dois efluentes (entrada / saída), as qualidades correspondentes a essa categoria mais citados pelos júris nos dois efluentes foram distintas. No caso do efluente de entrada o cheiro de *ESGOTO* obteve maior número de respostas, devido, provavelmente, à maior concentração de indóis, compostos organo-nitrogenados complexos presentes em esgoto doméstico e detectáveis a baixas concentrações com cheiro característico de fecal/esgoto.

O odor de *OVO PODRE* também foi bastante citado pelos jurados, principalmente no efluente de entrada, o que pode ser justificado pela presença de sulfeto de hidrogênio, vulgo ácido sulfídrico (H_2S), o mais comum dos gases odorantes encontrados em sistemas de tratamento de águas residuárias. A sua produção está ligada às condições de competição entre as bactérias metanogênicas e as sulfatos-redutoras e tem como característica um odor desagradável de ovo podre.

5.3 Hedonicidade

Após a análise de qualidade do odor, os jurados eram questionados com relação ao valor hedônico (agradabilidade) das amostras avaliadas (efluentes de entrada e saída). A Tabela 3 apresenta as médias das respostas de cada campanha bem como a média dessas médias, que aponta o valor final do teste.

Tabela 3 – Média de hedonicidade das análises dos efluentes de entrada e saída.

Análises	Nº de jurados	Média (efluente de entrada)	Média (efluente de saída)
1	15	-7,5	-0,5
2	15	-8,9	-1,6
3	15	-8,1	-1,87
4	15	-8,9	-1,1
5	15	-8,5	1,3
Médias		-8,38	-0,75

Segundo Carmo Jr. [21], a resposta do valor hedônico para a amostra odorante é a média dos valores individuais assinalados por cada jurado. No caso da ETE avaliada, a média das médias para o efluente de entrada apontou um valor de -8,38, indicando um odor bem próximo do “intolerável”, conforme a escala proposta por McGinley e McGinley [26]. Já a média das médias do efluente de saída da estação ficou em -0,75 que, segundo a mesma escala, pode ser interpretado como “levemente desagradável”, uma vez que ficou próximo da neutralidade.

Na zona de raízes, a matéria carbonária presente é degradada, principalmente, aerobicamente, por microrganismos existentes no material filtrante e nas raízes das macrófitas. Dessa forma, os processos de degradação aeróbia, além de estabilizarem a matéria orgânica presente no efluente doméstico, também evitam a ação de BSR precursoras de odores, e que em presença de oxigênio dissolvido não são ativas; esses processos também proporcionam a oxidação de compostos odorantes que são formados em condições anaeróbias, como é o caso do ácido sulfídrico, os nitratos e o dióxido de carbono [13].

No caso de estação de macrófitas com escoamento subsuperficial horizontal outro processo predominante é a degradação anaeróbia. Nesse caso, é provável que assim como em processos de digestão anaeróbia existente em outros reatores biológicos, na zona de raízes também haja a presença de bactérias metanogênicas responsáveis pela conversão dos ácidos graxos voláteis a metano (composto inodoro), portanto, reduzindo o nível de odor.

Isso também justifica o fato de a intensidade de odor *MUITO FORTE* ter uma redução de 89,3% entre os efluentes de entrada e saída da estação de macrófitas, o que influencia, conseqüentemente, na hedonicidade do odor.

6. CONCLUSÕES

Os resultados das análises olfatométricas revelaram que o efluente tratado na zona de raízes ainda apresentava odor com intensidade suficiente para ser percebido, mesmo tendo sua intensidade consideravelmente reduzida (nenhum dos jurados apontou como *MUITO FORTE* o odor referente ao efluente tratado).

Com relação ao caráter e hedonicidade do odor, o número de respostas na categoria *OFENSIVO* foi bem superior no efluente de entrada (não tratado) em relação ao de saída (91% contra 40%, respectivamente); nesse último caso, as respostas distribuíram-se ainda entre as categorias *TERRA*, *QUÍMICO*, *MEDICINAL*, *VEGETAL* e *FRUTÍFERO*, indicando odores menos “agressivos” e bem menos desagradáveis no efluente de saída da estação.

Numa ETEZR, a degradação da matéria orgânica contribui diretamente na redução dos odores percebidos, uma vez que a maioria dos orgânicos presentes no efluente (tipicamente compostos orgânicos voláteis) apresentam elevada pressão de vapor e, portanto, elevado coeficiente de partição líquido-ar. Essa degradação ocorre principalmente devido a mecanismos de ação bacteriana (microrganismos responsáveis pela degradação aeróbia e ação de bactérias metanogênicas).

ODOR REMOVAL IN WASTEWATER TREATED BY ROOTS ZONE BED (WETLANDS)

ABSTRACT: The wetland is a system that uses the roots plants (macrophyte) in the domestic wastewater treatment. The mechanisms (physical, chemical and biological ones) of organic matter stabilization of effluent and odorous compounds (commonly found in anaerobic biological degradation) involve soil, microorganisms and plants. This

work uses olfactometry (technical of odors analysis) as tool in the evaluation of the odor remotion of sewage treated by Root Zone Sewage Treatment Station (RZSTS) in an rural community of Irati City (Brazil). For a better evaluation of the effectiveness of the odor remotion, the odors (rather and downstream treatment) has been evaluated in the three olfactometric categories (intensity, character and hedonic tone), according to European standards. The results had pointed that wastewater treated still presented perceivable levels of odor even after significant reduction in intensity (the reduction in the category “very strong” was 89,3% between the entrance and outlet wastewater of the macrophytes station). Moreover, “offensive” category was cited by the jury in the two effluent (entrance and outlet one, with 91% and 40% of answers, respectively); however, in this same question, the wastewater treated presented less aggressive and unpleasant odors. In a general way, the station proposed revealed efficiency in odorous compounds stabilization by anaerobic biological degradation.

Key words: Basic sanitation; macrophytes; olfactometry; wastewater treatment.

REFERÊNCIAS:

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Censo 2000. Disponível em: http://www.ibge.br/ibge/estatistica/populacao/condicao_de_vida/indicadores_minimos/tabla3.shtm. Acesso em 07/06/2009.
- [2] Organização Mundial da Saúde (OMS) – 2007. Disponível em: http://www.tvcanal13.com.br/noticias/ibge_piaui_e_um_dos_piores_em_saneamento_basico-36498.asp. Acesso em 07/06/2009.
- [3] Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) – 2007. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/especiais/pnad/ultnot/2008/09/18/ult6843u2.jhtm>. Acesso em 07/06/2009.
- [4] MUGISHA, P., KANSIIME, F., MUCUNGUZI, P.; KATEYO, E.; *Phys. and Chem. of the Earth*, Vol. 32, p. 1359-1365, 2007.
- [5] CIRIA, M.P., SOLANO, M.L.; SORIANO, P.; *Biosyst. Eng.*, Vol. 92, p. 535-544, 2005.
- [6] STOTTMEISTER, U. et al.; *Biotechnol. Adv.*, Vol. 22, p. 93-117, 2003.
- [7] BARRETO, C. de O. 2005. Eficiência de leito de macrófitas como unidade de polimento de efluente de indústria de aditivos para ração. 2005. 53 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- [8] VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de Esgoto por Meio de Zona de Raízes: Uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação do PPGTEE - Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.
- [9] SHUTES, R. B. E.; *Environ. Int.*, Vol. 26, p. 441-447, 2001.
- [10] RAN, N., AGAMI, M.; ORON, G.; *Water Res.*, Vol. 38, p. 2241-2248, 2004.
- [11] STEER, D., ASELTINE, T.; FRASER, L.; *Ecol. Econ.*, Vol. 44, p. 359-369, 2003.
- [12] KARATHANASIS, A. D., POTTER, C. L.; COYNE, M. S.; *Ecol. Eng.*, Vol. 20, p. 157-169, 2003.
- [13] PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: Utilização de filtros plantados com macrófitas. Edição do Autor; Florianópolis, 2004. 144 p.
- [14] KAYE, R.; JIANG, K.; *Water Sci. Technol.*, Vol. 17, p. 211-217, 2000.
- [15] SCHIRMER, W. N. Amostragem, Análise e Proposta de Tratamento de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e Odorantes na Estação de Tratamento de Efluentes de uma Refinaria de Petróleo. 2004. 156 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- [16] MUNIZ, A. C. S. Investigação do limite de percepção olfativa por olfactometria e por cromatografia gasosa-espectrométrica de massa. 2007. 156 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- [17] WATER ENVIRON. FED. (WEF). *Odor Control in Wastewater treatment Plants: Manual of practice nº 2*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, New York, 1995. 282 p.
- [18] LE CLOIREC, P., FANLO, J. L.; DEGORGEDUMAS, J. R. *Odeurs et desodorisation industrielles*; Ecole des Mines Dâles ; Alès, 1991. 266 p.
- [19] MORAVIA, W. G. Estudo de Caracterização, Tratabilidade e Condicionamento de Lixiviados Visando Tratamento por Lagoas. 2007. 179 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Mestrado). Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

[20] STUETZ, R.; FRECHEN, F. B. Odours in wastewater treatment: Measurement, modeling and control. IWA Publishing; London, 2001. 437 p.

[21] CARMO Jr, G. N. R. Otimização e aplicação de metodologias para análises olfatométricas integradas ao saneamento ambiental. 2005. 174 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

[22] BELLI F^o, P.; LISBOA, H. M.; Rev. Eng. Sanit. Amb., Vol. 03, p. 101-106, 1998.

[23] SILVA, A. B. Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados. 2007. 132 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

[24] GOSTELOW, P., PARSONS, S. A.; STUETZ, R. M.; Water Res., Vol. 35, p. 579-597, 2001.

[25] FERNANDEZ, B. Contribution a l'elaboration d'une methodologie d'analyse physico-chimique de composes odorants. 1997. 145 f. Tese (Pós-Graduação em Química e Microbiologia da Água - Doutorado) – Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, 1997.

[26] MCGINLEY, C.; MCGINLEY, M. Odor testing biosolids for decision making. In: WATER ENVIRONMENT FED. SPECIALTY CONFERENCE. Residuals and Biosolids Management Conference, 2002, Austin (EUA): p.3-6.

[27] ASTM. Designation: E 544-75. Standart practices for referencing suprathreshold odor intensity. American National Standart. 1997.

[28] PERRIN M.L. ; L'Environment, Vol. 38, p. 4-5, 1994.

[29] Association Française de Normalisation (AFNOR). Mesure olfactométrique – Mesure de l'odeur d'un échantillon gazeux ou d'une atmosphère – intensité supraliminaire (X 43 – 103), Paris. 1993.

[30] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) – Olfactometry. VDI 3882 (part 1) – Determination of odour intensity, Berlin. 1992.

[31] CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EN: 13.725. Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry (english version). European Standard. Bruxelas. 2003.