

II-260 - AVALIAÇÃO DA COLMATAÇÃO EM WETLANDS DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL: COMPORTAMENTO DOS SÓLIDOS E DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

André Cordeiro De Paoli

Engenheiro Ambiental. Especialista em Engenharia Sanitária. Mestre em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Marcos von Sperling⁽¹⁾

Engenheiro civil. Doutor pelo Imperial College – Londres. Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia - Bloco 1, 4º andar, sala 4622 – CEP 31270-901 - Belo Horizonte – MG - Tel: (31) 3409-1935; Fax: (31) 3409-1879; e-mail: (marcos@desa.ufmg.br; cordeiropaoli@yahoo.com.br)

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o comportamento de duas *wetlands construídas* (WC) horizontais de escoamento subsuperficial quanto ao problema operacional mais recorrente e relatado na literatura, que é a colmatação do meio filtrante e consequente escoamento superficial do efluente sobre o meio. No intuito de entender as causas desse processo que pode comprometer o desempenho e a aplicabilidade desses sistemas, foram realizados estudos em relação à caracterização dos sólidos acumulados e à condutividade hidráulica em pontos específicos do leito de duas *wetlands* (plantada - WP e não plantada – WNP) recebendo efluente sanitário de reator UASB (equivalente populacional de 50 habitantes cada). Os estudos foram efetuados após as unidades estarem em operação por cerca de 2 anos e 4 meses. Nesse trabalho são apresentados resultados comparativos relacionados à quantificação e caracterização dos sólidos acumulados e à condutividade hidráulica localizada ao longo dos leitos. Cerca de 80% dos sólidos encontrados são inorgânicos (fixos). Próximo à entrada, a relação sólidos intersticiais / sólidos aderidos foi de 5,0, ao passo que na saída se reduziu para 1,5. A condutividade hidráulica foi menor próximo à entrada das unidades (como seria de se esperar) e, comparando a *wetland* plantada com a não plantada, foi menor na primeira, o que resultou inclusive em maior escoamento superficial indesejado.

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands de escoamento horizontal subsuperficial, colmatação, acúmulo de sólidos, condutividade hidráulica, tratamento de esgotos.

INTRODUÇÃO

O sistema de *wetlands* (alagados construídos) de escoamento horizontal subsuperficial usualmente apresenta ótimos desempenhos na remoção da matéria orgânica e sólidos em suspensão, constituindo-se em uma solução simples e natural para o tratamento de esgotos sanitários. A expansão de sua aplicação em todo o mundo é bastante expressiva, existindo atualmente milhares de sistemas em operação. No entanto, permanece ainda o principal problema operacional das *wetlands*: colmatação no trecho inicial do leito devido ao acúmulo de sólidos no meio filtrante (Cooper, 2010). As principais consequências são a redução da condutividade hidráulica e o aumento da perda de carga, com provável escoamento superficial dos esgotos após um determinado tempo de operação.

Frequentemente as *wetlands* são aplicadas após um tratamento prévio, que remove parte da matéria orgânica e principalmente sólidos em suspensão. O processo utilizado varia de local para local em todo o mundo, podendo variar, desde unidades simples como tanques sépticos a sistemas mais complexos, como lodos ativados. No Brasil, com a grande utilização de reatores anaeróbios tipo UASB, as *wetlands* têm sido empregadas também como pós-tratamento do efluente destes reatores (Souza et al, 2004; Dornelas et al, 2009; von Sperling et al, 2010), havendo a necessidade de se aprofundar no conhecimento do comportamento hidráulico das *wetlands* e da evolução da redução da condutividade hidráulica, como resultado da entrada de sólidos em suspensão oriundos dos reatores UASB.

O objetivo principal deste trabalho é quantificar o acúmulo de sólidos e a condutividade hidráulica em um sistema em escala real composto por duas wetlands de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluentes sanitários de um reator anaeróbio tipo UASB após dois anos e quatro meses de operação do sistema.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas duas wetlands horizontais subsuperficiais construídas como pós-tratamento de efluentes de um reator UASB na Estação Experimental pertencente ao CePTS (Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento – UFMG/Copasa), localizada na ETE Arrudas nas coordenadas geográficas de 19°53'42" S e 43°52'42" O, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Ambas foram preenchidas com escória de alto forno, com granulometria semelhante à da brita #1, e tratavam uma vazão equivalente a uma população de 50 habitantes cada. As unidades de tratamento, dispostas em paralelo, receberam uma vazão média de 8,25 m³/d cada. Uma das unidades (WP) foi plantada com taboa (*Typha latifolia*), sendo a outra (WNP) mantida sem plantas, como controle do experimento. As características operacionais para cada unidade de wetland horizontal subsuperficial são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características operacionais para cada unidade de wetland horizontal

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor
Altura total dos leitos	H	m	0,4
Altura do líquido nos leitos (altura útil)	H _{líq}	m	0,3
Comprimento	C	m	24,1
Largura no topo	L	m	3,0
Inclinação longitudinal do fundo	I	%	0,5
Volume total de escória em cada leito		m³	28,9
Volume útil de escória em cada leito (volume molhado)		m³	21,7
Área superficial	AS	m²	72,3
Vazão afluente média	Q	m³ .d ⁻¹	8,25
Taxa de aplicação hidráulica superficial média	TAH	m³ .m ⁻² .d ⁻¹	0,13
Tempo de detenção hidráulica médio (= V.porosidade/Q)	TDH	d	1,05

O tempo de operação do sistema, até a realização dos experimentos de quantificação e caracterização dos sólidos presentes no meio suporte e medição da condutividade hidráulica localizada, foi de aproximadamente 2 anos e 4 meses após o período de partida. Os testes foram realizados em período sem chuvas, que compreendeu de setembro a novembro de 2009.

O meio suporte foi caracterizado por análise granulométrica, tendo sido obtidos os seguintes resultados: d₁₀= 19 mm, coeficiente de desuniformidade d₆₀/d₁₀= 1,2 e volume de vazios (porosidade) = 40%.

Para a caracterização dos sólidos presentes ao longo do meio filtrante de cada wetland foram amostrados oito pontos de forma pareada (perfil direito e esquerdo), distando a partir do início do leito, 3, 6, 12 e 18 metros, conforme ilustrado na Figura 1. A amostragem foi realizada a 0,20 m de profundidade de cada um dos pontos (meia profundidade do leito) e foram coletados 0,5 L de material contendo escória (meio suporte), biomassa aderida e em suspensão junto com o efluente do local.

A amostra de escória foi primeiramente passada por uma peneira (abertura = 2,38mm) e lavada duas vezes com o efluente do próprio local, sem grandes revolvimentos para não desprender a biomassa aderida. Esse líquido foi caracterizado como contendo sólidos intersticiais. Foi adicionada água destilada ao béquer com a amostra de escória pré-lavada e para o desprendimento da biomassa aderida foi utilizado equipamento de ultrassom, permitindo que todas as amostras fossem expostas à mesma intensidade, por um tempo de 15min. Novamente a amostra foi peneirada, agora com a água destilada contendo a biomassa desprendida. Esse líquido foi caracterizado como contendo sólidos da biomassa aderida. A quantificação e a caracterização dos sólidos foram realizadas pelo método descrito no AWWA/APHA/WEF (2005), para análise de sólidos totais, fixos e voláteis.

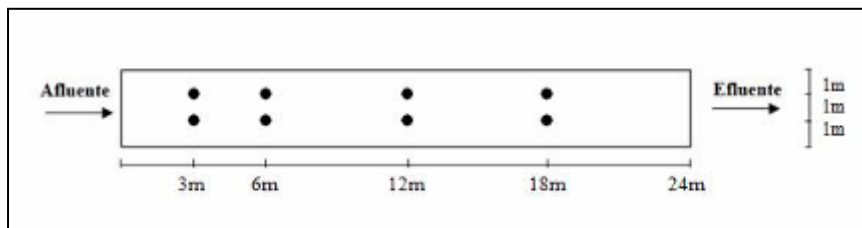


Figura 1: Pontos amostrados em cada wetland para a análise de sólidos e condutividade hidráulica localizada.

Nos mesmos pontos de amostragem dos sólidos (Figura 1), também foi caracterizada a respectiva condutividade hidráulica localizada (pontual) do meio filtrante ao longo das wetlands. O procedimento consistiu no uso de uma tubulação de dimensões conhecidas inserida a uma profundidade molhada pré-determinada no leito de escória (Figura 2). Foi aplicada uma carga hidráulica no tubo na forma de um pulso, através de um balde de 20 litros, e mediu-se o tempo que a água gastava para infiltrar no meio poroso do leito.

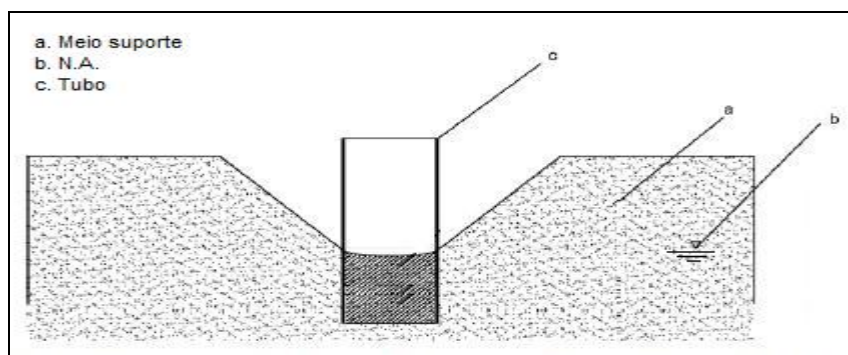


Figura 2: Representação esquemática da metodologia utilizada para estimativa da condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica em cada ponto foi estimada usando a equação 1, descrita em NAVFAC (1986) *apud* Caselles-Osorio e Garcia (2006); Caselles-Osorio *et al.* (2007); Pedescoll *et al.* (2009), e é obtida através da combinação do princípio da conservação de massas e da lei de Darcy:

$$K = \frac{d^2 \ln(2L/d)}{8Lt} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Equação (1)

Onde,

K = condutividade hidráulica (m/s);

h_1 = altura inicial de água dentro do tubo (m): 0,30 ou 0,40m (dependendo do ponto amostrado);

h_2 = altura do nível de água dentro do tubo no tempo t (m): 0,13m;

d = diâmetro interno do tubo (m): 0,20m;

L = altura do tubo que está submerso (m): 0,13m;

t = tempo (s).

Os autores citados ressaltam que esta é uma metodologia para determinação da condutividade hidráulica saturada “aparente” e que os valores obtidos não devem ser utilizados para comparar com outros diferentes sistemas experimentais de wetlands devido às diferentes escalas e projetos, principalmente quanto ao nível da água no sistema. Entretanto, para comparação entre sistemas semelhantes, como é o caso, no qual a diferença está apenas entre a presença (WP) e ausência (WNP) de macrófitas, o experimento é válido.

Foram realizados ainda testes com traçador (adição em pulso de ^{82}Br), de forma a caracterizar o padrão de escoamento nas duas unidades.

RESULTADOS

Sólidos no meio filtrante

Durante o período operacional de dois anos e quatro meses que antecederam os testes específicos descritos neste trabalho, as wetlands receberam um afluente (efluente do reator UASB) com uma concentração média de sólidos em suspensão totais de 36 mg/L, com uma relação SSV/SST média de 76%.

O resultado das análises de quantificação dos sólidos totais presentes no meio filtrante de cada wetland está representado na Figura 3.

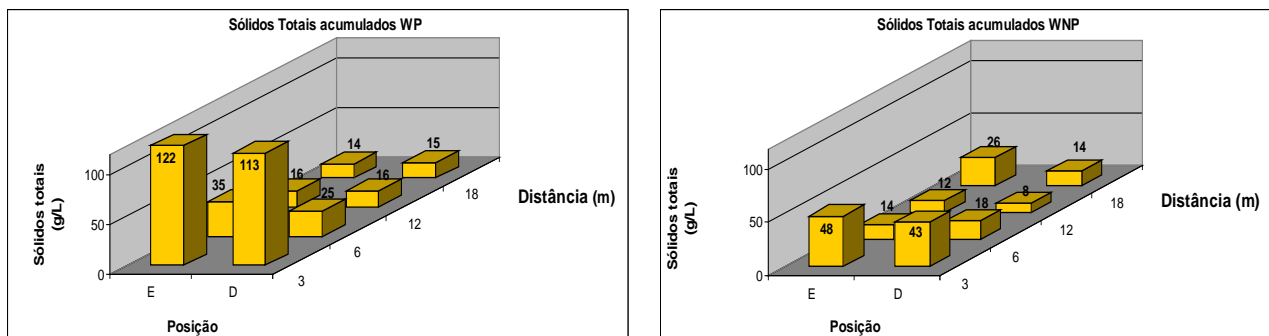


Figura 3: Distribuição de sólidos totais no meio filtrante ao longo da wetland plantada WP (gráfico da esquerda) e não plantada WNP (gráfico da direita). Em cada gráfico: E = esquerda; D = direita

Os resultados mostram que a WP acumula/produz maior quantidade de sólidos totais (ST) em relação à WNP em todo o leito e, como seria de se esperar, em maior quantidade no trecho inicial. A presença de ST no início do leito da WP é 2,6 vezes maior do que na WNP para os perfis analisados a 3 metros de distância do início, e 2 vezes maior para os perfis a 6 metros. Essa quantidade maior de ST presentes na WP ocupa mais os espaços vazios do meio poroso e consequentemente diminui a condutividade hidráulica. Essa provavelmente é a causa do escoamento superficial indesejado em maiores proporções observado no sistema com plantas (Figura 4). O avanço da lâmina de água aparente resultante após dois anos e quatro meses de operação é de 6 e 2 metros para as WP e WNP, respectivamente.

A distribuição dos sólidos também variou no sentido da largura do leito (perfil direito e perfil esquerdo). Essa variação nos perfis das WP e WNP é menos acentuada do que nas wetlands citadas na literatura (CASELLES-OSÓRIO *et al.*, 2007), onde o desenho básico segue a recomendação da USEPA (2000), com relações comprimento/largura (C/L) próximos de 1, priorizando a geometria quadrada, enquanto que as wetlands pesquisadas possuem grande relação C/L (=8), assemelhando-se à geometria retangular. Se, por um lado, essa geometria minimiza a distribuição não uniforme do afluente, evitando o acúmulo irregular de sólidos no leito e volumes mortos na zona de entrada, por outro, ela aumenta a velocidade com que a colmatagem ocorre, já que o aporte de sólidos e a alta concentração de matéria orgânica são intensificados em uma área menor da seção transversal no início do leito. Além disso, em uma wetland mais alongada, a seção transversal é menor, conduzindo a um aumento na velocidade de escoamento horizontal, implicando em maiores perdas de carga.



Figura 4: Imagens do escoamento superficial indesejado na wetland plantada, após poda recente, e na wetland não plantada

A proporção de sólidos fixos e voláteis ao longo do leito de cada wetland é representada na Figura 5. Os dados apresentam uma média dos perfis esquerdo e direito. Os ST aumentam sua proporção de fixos em relação aos voláteis ao longo do leito. Portanto, a fração volátil está mais presente no início do leito, correspondendo ao trecho em que se desenvolve em maior quantidade a biomassa decompositora de matéria orgânica. Ao longo do percurso nos leitos, os sólidos tendem a ser mineralizados, diminuindo a fração volátil.

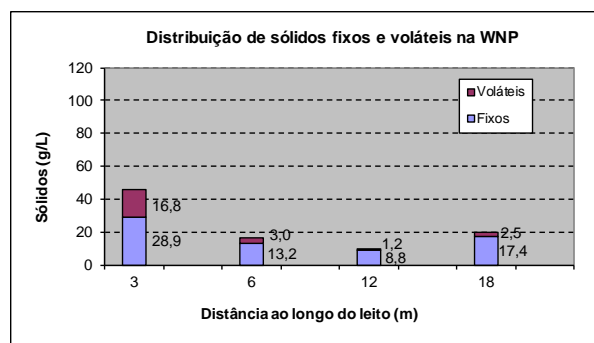
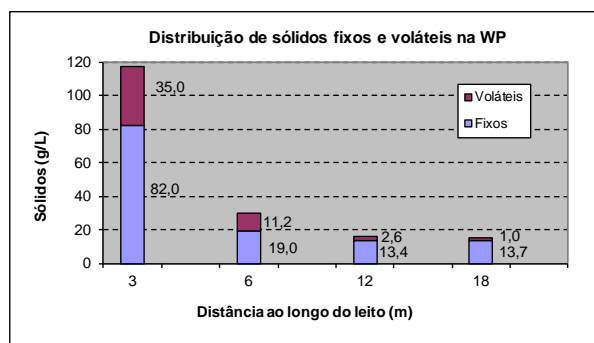


Figura 5: Proporção de sólidos fixos e voláteis ao longo do leito da wetland plantada WP (esquerda) e wetland não plantada WNP (direita)

Para o início do leito (distâncias de 3 e 6 metros), onde a colmatção é mais evidente, a contribuição de sólidos voláteis pelas plantas na WP foi duas vezes maior que a encontrada na WNP, e para o primeiro ponto amostrado (3 metros) a contribuição de sólidos fixos pelas plantas foi quase três vezes a encontrada na WNP.

A proporção de sólidos fixos/voláteis é mais acentuada na WNP (fixo/volátil = 3) do que na WP (fixo/volátil = 2) para a média das distâncias de 3 e 6 metros. É provável que as raízes das macrófitas realmente contribuam no aumento de área superficial para adesão da biomassa e criem condições ambientais mais propícias ao desenvolvimento das bactérias, inclusive aeróbias e facultativas. Contudo, a contribuição de material vegetal particulado na quantificação e caracterização dos sólidos, especificamente voláteis, é um fato que deve ser considerado.

Apesar da grande diferença na quantidade de sólidos acumulados e/ou produzidos pelas plantas, se comparado com o sistema controle não plantado, a relação entre sólidos voláteis e totais (SV/ST) se mantém próxima para a maioria do comprimento dos leitos, exceto pelo ponto amostrado a 6 metros. Nesse ponto a relação SV/ST é bem superior para a WP, como pode ser observado na Figura 6 (possível influência do escoamento superficial). Isso sugere que o principal efeito das raízes na contribuição de sólidos está na sua interação com a alta concentração inicial de matéria orgânica, seja dissolvida ou particulada. Provavelmente essa interação ocorre devido às melhores condições ambientais para o desenvolvimento de uma diversidade maior de microrganismos, principalmente as bactérias. A ocorrência de uma maior diversidade de microrganismos na WP pode estar

associada também a uma melhor eficiência de remoção/conversão de alguns constituintes das águas residuárias, como por exemplo o nitrogênio (amônia via nitrificação).

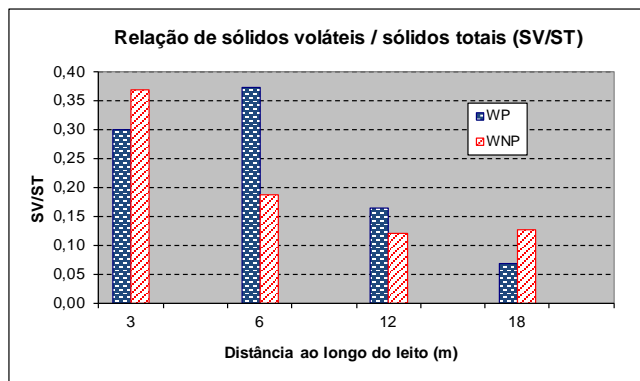


Figura 6: Relação de sólidos voláteis e sólidos totais ao longo das WP e WNP

Assim como nas pesquisas de Tanner e Sukias (1995) e Caselles-Osório *et al.* (2007), a maior parte dos sólidos acumulados no leito das wetlands foi de material de difícil degradação pelos microrganismos, caracterizados pela fração de sólidos fixos. Para os autores citados a fração de sólidos fixos foi de 90 e 85%, respectivamente. Para a pesquisa em questão a fração dos sólidos fixos média ao longo dos leitos foi de 78 e 80%, para as WP e WNP, respectivamente.

A proporção de sólidos intersticiais e aderidos ao meio suporte para cada wetland pode ser observada na Figura 7. Os dados representam uma média dos perfis esquerdo e direito.

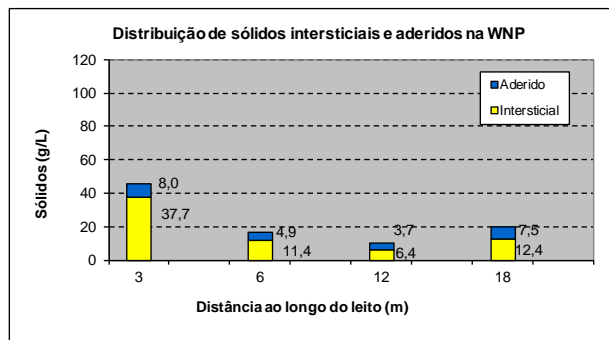
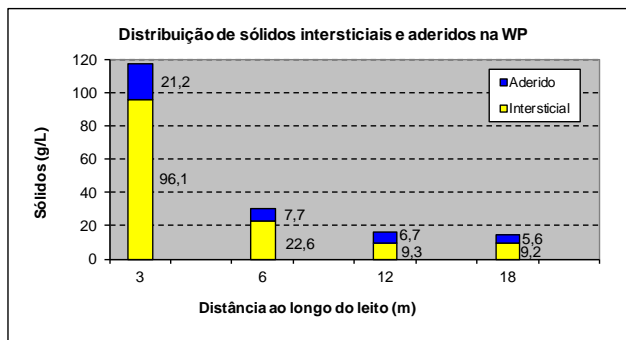


Figura 7: Proporção de sólidos intersticiais e aderidos ao longo do leito da WP e WNP

Como evidenciado anteriormente, a WP apresenta maior quantidade de sólidos, principalmente no início do leito. Esses sólidos são formados em grande parte pelo desenvolvimento de biomassa bacteriana que se encontra nos interstícios do meio filtrante. Esse material tem aspecto semelhante à manta de lodo biológico que se desenvolve nos reatores UASB. Em função da grande quantidade de formação desse lodo, era de se esperar que a maior parte dele estivesse nos interstícios, e não aderida, em função do limite de área superficial apresentada pelo meio suporte de escória com granulometria próximo da brita #1. Isso é evidenciado pelas figuras com as proporções de sólidos intersticiais e aderidos.

Uma vez que o meio suporte e o fluxo hidráulico encontram-se constantemente saturados, a capacidade de adesão ao meio suporte não é tão importante para o desenvolvimento da biomassa bacteriana quanto a quantidade e tamanho dos espaços vazios do meio poroso. Além disso, foi constatada a maior fração de sólidos fixos em todas as distâncias do leito, os quais, *a priori*, não possuem nenhum tipo de mecanismo de adesão ao meio suporte como as bactérias (sólidos voláteis).

Uma constatação importante pode ser feita pela observação da Figura 8. A relação sólidos intersticiais / sólidos totais é praticamente a mesma para as duas wetlands ao longo do leito, mesmo quando a quantidade e as características dos sólidos intersticiais e aderidos são muito diferentes, como acontece no início do leito.

Portanto, outros fatores, além da área superficial do meio suporte, devem estar relacionados com esse comportamento.

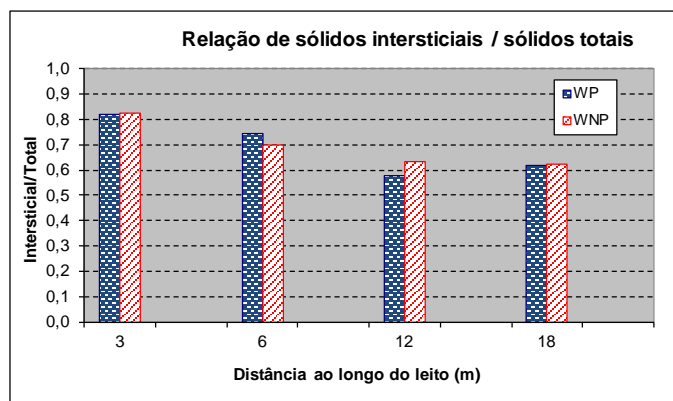


Figura 8: Relação entre sólidos intersticiais e sólidos totais ao longo das WP e WNP

Condutividade hidráulica

Os testes de condutividade hidráulica localizada indicaram uma grande diferença entre os dois sistemas analisados. A Figura 9 apresenta os resultados de condutividade hidráulica localizada ao longo dos leitos das wetland plantada e wetland não plantada. Como seria de se esperar, a condutividade hidráulica aumentou ao longo do leito, mostrando relação inversa com o acúmulo de sólidos. Entretanto, o acúmulo de sólidos no sistema plantado não é o único fator para as diferenças na condutividade hidráulica. A WP apresentou grandes variações da condutividade no sentido do escoamento do líquido (longitudinal) e lateralmente, indicando outros fatores que interferem na dinâmica do escoamento do líquido no interior do sistema.

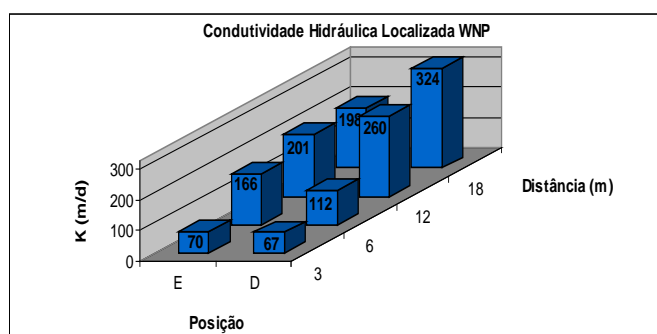
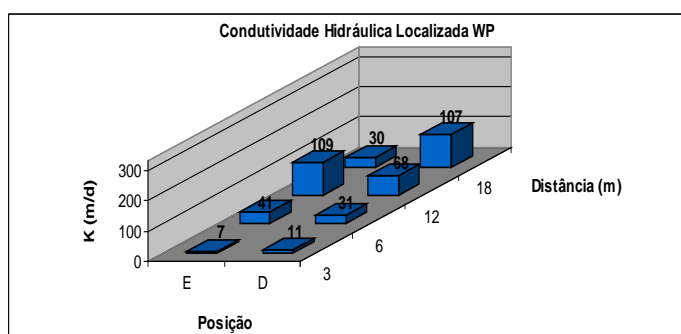


Figura 9: Distribuição da condutividade hidráulica no meio filtrante ao longo da wetland plantada WP (gráfico da esquerda) e não plantada WNP (gráfico da direita)

Através de observações em campo, sabe-se que nos primeiros 6 metros da WP ocorre escoamento superficial, ou seja, há um caminho preferencial na superfície nesse trecho, provavelmente em função da respectiva baixa condutividade hidráulica. Nos trechos seguintes (12 e 18 metros) há uma variação considerável entre os perfis esquerdo e direito. É possível que em função da dinâmica de crescimento das plantas, e consequentemente das raízes, tenham sido criados caminhos preferenciais para o escoamento do líquido. A variabilidade da condutividade hidráulica ao longo das dimensões longitudinal e transversal também foi identificada por Knowles et al (2010) em estudo que investigou a tendência de colmatagem em wetlands de escoamento horizontal subsuperficial.

Os testes realizados com traçador (^{82}Br) nas duas wetlands em estudo indicaram diferença, embora não expressiva entre os tempos de detenção hidráulica reais - TDH médio real de 1,30 e 1,43 dias para as WP e WNP, respectivamente (De Paoli, 2010; De Paoli e von Sperling, 2010). Nas condições do teste, o TDH teórico calculado em função do volume útil (comprimento médio = 25m; largura média = 3m; altura do líquido média no leito, considerando a colmatagem no período do teste = 0,35m e porosidade = 0,4), da vazão média afluyente no período do teste ($7,15\text{m}^3/\text{d}$, sem considerar perdas de água, como de fato ocorreu durante os

testes), foi de 1,47 dias. Outros registros na literatura (Shepherd et al, 2001) também encontraram menor TDH real em sistemas plantados, se comparados com sistemas sem as plantas, quando realizados testes com traçador.

Vale ressaltar que a estimativa da condutividade hidráulica em sistemas plantados apresenta inúmeras dificuldades e imprecisões a mais que nos sistemas não plantados, justamente devido à ocorrência de fluxo preferencial, curto circuito e obstrução da porosidade (em consequência de variações de crescimento e degradação de raízes e acumulação/degradação de resíduos sólidos na superfície da wetland) (BRASIL, 2005).

A WNP apresentou valores de condutividade hidráulica muito maiores que a WP e mais uniformes em todo o leito, com progressivo decréscimo em direção à entrada do afluente. Essa unidade não plantada mostrou uma vinculação da redução da condutividade hidráulica com o acúmulo de sólidos mais nítida e precisa. Sempre que foi observada uma menor quantidade de sólidos em um determinado ponto, foi verificado seu reflexo no aumento da condutividade hidráulica. Essas observações indicam que o fator preponderante na hidrodinâmica dos sistemas não plantados é a simples presença de sólidos no leito, que pode ocorrer de maneira não homogênea devido a aspectos de projeto e operação, mas que é menos variável que a distribuição verificada em sistemas plantados. Esse deve ser um motivo significativo para a menor ocorrência de caminhos preferenciais em sistemas não plantados, conferindo-lhes maior TDH e consequentemente boas eficiências de remoção para vários parâmetros.

A variação da condutividade hidráulica na zona de entrada (3 e 6m) das wetlands foi de 7 a 41 m/d para a WP e de 67 a 166 m/d para a WNP. A variação na zona de saída (18m) foi de 30 a 107 m/d para a WP e de 198 a 324 m/d para a WNP. Apesar da não recomendação para comparar os resultados destes testes de condutividade com os da literatura, os valores obtidos para a WP estão dentro da grande amplitude informada por Caselles-Osorio *et al.* (2007) e Knowles et al (2010).

CONCLUSÕES

De acordo com as análises de sólidos totais, a presença das plantas aumentou o acúmulo/produção de sólidos por todo o meio filtrante e intensificou a colmatagem na região inicial do leito, gerando maior perda de carga e eventual escoamento superficial na zona de entrada da wetland plantada, se comparado ao sistema controle sem plantas. Dos sólidos presentes por todo o leito das duas unidades, cerca de 80% deles foram caracterizados como sendo fixos.

A quantidade de sólidos presentes no primeiro terço do comprimento da wetland plantada foi duas a três vezes maior que a quantidade encontrada na mesma região da wetland não plantada. Mesmo que as duas unidades tenham apresentado grande diferença de quantidade de sólidos distribuídos pelo leito, a relação de sólidos intersticiais e aderidos seguiu o mesmo padrão, com uma relação próxima de 5,0 na zona de entrada e de 1,5 na zona de saída dos leitos. Portanto, os espaços vazios do meio poroso foram mais importantes na concentração de sólidos do que a capacidade de adesão do biofilme ao meio filtrante, o que intensificou a diminuição da condutividade hidráulica.

A condutividade hidráulica foi menor próximo à entrada dos leitos, mostrando relação inversa com o acúmulo de sólidos. Essa relação se mostrou mais direta para a wetland não plantada, enquanto que a unidade plantada apresentou valores bem baixos e grande variação no sentido do comprimento e da largura do leito. Essa evidência pode ser atribuída à existência do sistema radicular das plantas, indicando que a hidrodinâmica dos sistemas plantados não depende da simples presença de sólidos no meio filtrante, mas também das raízes nesse meio.

Apesar de não ter sido testado especificamente o desenho das wetlands (principalmente a relação comprimento/largura), acredita-se que a configuração utilizada nessa pesquisa com uma pequena área de entrada para receber toda a carga orgânica aplicada tenha sido um fator preponderante na rápida colmatagem e na formação da lâmina de água aparente no início do leito, mas, por outro lado, provavelmente resultou em uma menor dispersão do escoamento do líquido dentro do reator.

Tratando-se de um sistema que sofre fortes influências das condições ambientais, o monitoramento por um período de tempo mais longo, associado a aspectos operacionais e de manejo do sistema, pode fornecer importantes subsídios sobre a questão da real contribuição do uso das macrófitas nas wetlands subsuperficiais.

Contudo, a possibilidade de remoção de constituintes específicos, a utilização das plantas (biomassa) e o aspecto estético (paisagístico) devem sempre ser ressaltados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das seguintes instituições: FAPEMIG, CNPq, PROSAB/FINEP, FUNASA e COPASA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
2. BRASIL, M. S. *Desempenho de sistemas alagado construído para tratamento de esgoto doméstico*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG. 2005. 160p.
3. CASELLES-OSÓRIO, A.; GARCÍA, J. Effect of physico-chemical pretreatment on the removal efficiency of horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Environmental Pollution* 146. pp. 55-63. 2006.
4. CASELLES-OSORIO, A.; PUIGAGUT, J.; SEGÚ, E.; VAELLO, N.; GRANÉS, F.; GARCIA, D.; GARCIA, J. Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*. V. 41, p. 1388-1398, 2007.
5. COOPER, P. Constructed wetlands after 25 years of application: A review of the developments that we have made and the problems that we still have to overcome. *12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Veneza, Itália, 4-9 Outubro 2010. 2010.
6. DE PAOLI, A. C. Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 159p. 2010.
7. DE PAOLI, A.C., VON SPERLING, M. (2010). Comparison between simple performance models applied to planted and unplanted subsurface-flow constructed wetlands for the post-treatment of UASB reactor effluents. *12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Veneza, Itália, 4-9 Outubro 2010.
8. DORNELAS, F.L., MACHADO, M.B., VON SPERLING, M. Performance evaluation of planted and unplanted subsurface-flow constructed wetlands for the post-treatment of UASB reactor effluents. *Water Science and Technology*, **60** (12). pp. 3025-3033. 2009.
9. KIVAIISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*. v.16, p. 545-560, 2001.
10. KNOWLES, P.R., GRIFFIN, P., DAVIES, P.A. Clogging in horizontal subsurface flow treatment wetlands in the UK: Conclusions from a three year investigation. *12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Veneza, Itália, 4-9 Outubro 2010.
11. NAVFAC. Soil Mechanics. Design Manual 7.01. Naval Facilities Engineering Command. Alexandria, Virginia, USA, 389pp. 1986.
12. PEDESCOLL, A., UGETTI, E., LLORENS, E., GRANÉS, F., GARCÍA, D. & GARCÍA, J. Practical method based on saturated hydraulic conductivity used to assess clogging in subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v.35, p. 1216-1224, 2009.
13. SHEPHERD, H.L., TCHOBANOGLIOUS, G., GRISMER, M.E. Time dependent retardation model for chemical oxygen demand removal in a subsurface-flow constructed wetland for winery wastewater treatment. *Water Environment Research*, v.73, n.5, p.597-606, 2001.
14. SOUSA, J. T.; HAANDEL, A.V.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 9 N. 4. 285-290. 2004.
15. TANNER, C.C.; SUKIAS, J.P.; Accumulation of organic solids in gravel bed constructed wetlands. *Water Science and Technology* 32(3): 229-239. 1995.
16. USEPA (2000). *Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*. United States Environmental Protection Agency. 154 p.
17. VON SPERLING, M., DORNELAS, F.L., ASSUNÇÃO, F.A.L., DE PAOLI, A.C., MABUB, M.O.A. Comparison between polishing (maturation) ponds and subsurface flow constructed wetlands (planted and unplanted) for the post-treatment of the effluent from UASB reactors. *Water Science and Technology*, **61** (5). pp. 1201-1209. 2010.