

IV-022 - CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL COLMATANTE DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL

Suymara Toledo Miranda⁽¹⁾

Eng. Agrícola e Ambiental pela UFV. Mestre em Eng. Agrícola pela UFV. Doutoranda em Eng. Agrícola na UFV.

Antonio Teixeira de Matos

Eng. Agrícola pela UFV. Mestre em Eng. Agrícola pela UFV. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela UFV. Professor Titular da UFV.

Érika Caroline Martins

Graduanda em Eng. Agrícola pela UFV.

Alisson Carraro Borges

Eng. Civil pela UFOP. Mestre em Eng. Hidráulica e Saneamento pela USP. Doutor em Eng. Hidráulica e Saneamento pela USP. Professor Adjunto da UFV.

Paola Afonsa Vieira Lo Monaco

Eng. Agrícola pela UFV. Mestre em Eng. Agrícola pela UFV. Doutora em Eng. Agrícola pela UFV. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campi de Santa Teresa e Alegre.

Endereço⁽¹⁾: Avenida P. H. Rolfs, s/n – Departamento de Engenharia Agrícola – *Campus* Universitário – Viçosa - MG – CEP: 36570-900 – Brasil – Tel: +55 (31) 3899-1871 - e-mail: **suymara-miranda@hotmail.com**

RESUMO

Os sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS) são sistemas utilizados no tratamento de águas residuárias. O principal problema operacional desses sistemas é o entupimento do meio poroso, cujo fenômeno é denominado de colmatção. Com a realização deste estudo, objetivou-se caracterizar a composição do material responsável pela colmatção do meio poroso dos SACs-EHSS. Para possibilitar este estudo, utilizou-se seis SACs-EHSS que encontravam-se totalmente colmatados após terem sido utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. As condições operacionais desses sistemas foram denominadas de SAC-C (SAC-EHSS 1 e SAC-EHSS 4, não cultivados, ou seja controles); SAC-T (SAC-EHSS 2 e SAC-EHSS 5 cultivados com capim tifton 85 (*Cynodon spp.*)) e SAC-A (SAC-EHSS 3 e SAC-EHSS 6 cultivados com alternantera (*Alternanthera philoxeroides*)). A caracterização do material colmatante do meio poroso de cada unidade experimental indicou que, em sua maior parte, foi composto por sólidos fixos (95, 84 e 82% nos SAC-C, SAC-T e SAC-A, respectivamente). Entretanto, os sólidos voláteis totais (SVT) parecem ser mais importantes para o fenômeno de obstrução dos poros.

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands construídos, entupimento, meios porosos.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Alagados Construídos (SACs) são sistemas artificiais utilizados no tratamento de águas residuárias e que consistem em lagoas ou canais, nos quais são cultivadas macrófitas (plantas adaptadas a ambientes alagados). Os principais componentes desses sistemas são o meio suporte ou substrato (brita, areia, solo, entre outros), as espécies vegetais e os micro-organismos associados a esses constituintes (MATOS et al., 2011).

O SAC-EHSS tem sido estudado com maior intensidade em razão do menor potencial para geração de odores e atração de vetores, além de ser operacionalmente mais simples. No entanto, como em todos os sistemas de tratamento, existem problemas operacionais, sendo o principal deles, o entupimento do meio poroso, fenômeno denominado “colmatção”. A colmatção pode proporcionar diminuição na condutividade hidráulica no meio poroso, gerando escoamento superficial das águas residuárias e o aparecimento de zonas mortas ou curtos-

circuitos PEDESCOLL et al. (2009), além de diminuir o tempo de detenção hidráulica (TDH) no sistema USEPA (2000), conduzindo à obtenção de menor eficiência no tratamento. Esses problemas afetam o desempenho geral do sistema de tratamento, bem como sua vida útil operacional.

O entupimento do meio poroso inclui vários processos relacionados com o acúmulo de diferentes tipos de sólidos, o que leva a uma redução na capacidade de infiltração/percolação no mesmo CASELLES-OSORIO et al. (2007); HUA et al. (2014); KNOWLES et al. (2010). De acordo com PEDESCOLI et al. (2009), a colmatção ocorre devido ao acúmulo de material associados ao tratamento e a fatores de caráter operacional. A quantidade e a composição desse material variam de acordo com cada sistema, devido às diferentes formas de manejo, formatos, características da água residuária e condições ambientais as quais estão submetidos os SACs.

De acordo com KADLEC E WALLACE (2008), PAOLI E VON SPERLING, (2013) e KNOWLES et al. (2011), os principais mecanismos que contribuem na colmatção do meio filtrante são a deposição de sólidos orgânicos e inorgânicos na superfície dos SACs, deposição de precipitados químicos, crescimento de biofilme e desenvolvimento de raízes e rizomas das plantas no leito de material poroso.

Com o estudo objetivou-se caracterizar a composição do material responsável pela colmatção do meio poroso de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS), cultivados com duas espécies vegetais, bem como avaliar o grau de influência dos sólidos presentes no meio poroso em relação às condições operacionais do sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi constituído por seis sistemas alagados de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS), implantados em casa de vegetação, constituído por caixas de fibra de vidro, com dimensões de 0,6 m de altura x 0,5 m de largura x 2,0 m de comprimento. Essas caixas foram preenchidas com brita gnáissica “número zero” ($D_{60} = 9,1$ mm, coeficiente de uniformidade – $CU D_{60}/D_{10} = 3,1$) até a altura de 0,55 m, deixando uma borda livre de 0,05 m (o nível d’água foi mantido a 0,05 m abaixo da superfície do material suporte). As unidades avaliadas não possuíam declividade de fundo e estiveram em operação de julho de 2011 até dezembro de 2013, no tratamento de águas residuárias da suinocultura (FERRES, 2012).

Os seis SACs-EHSS foram distribuídos em três diferentes grupos de tratamentos: dois não vegetados ((SAC-EHSS 1 e SAC-EHSS 4), denominados SAC-C; dois cultivados com capim tifton 85 (*Cynodon spp.*) (SAC-EHSS 2 e SAC-EHSS 5), denominados SAC-T; e dois cultivados com alternanthera (*Alternanthera philoxeroides*) (SAC-EHSS 3 e SAC-EHSS 6), denominados SAC-A. Como todos os SACs-EHSS se encontravam totalmente colmatados ao final do experimento conduzido por FERRES (2012), foi realizada a caracterização do material colmatante em cada unidade experimental, procedendo-se às seguintes etapas para a coleta do material colmatante:

- drenagem prévia de toda a água presente no leito dos SACs-EHSS;
- coleta de três amostras de material suporte juntamente com sólidos retidos nos seus interstícios, em cada SAC-EHSS, uma em cada terço do leito. Para isso, cravou-se um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e 60 cm de altura no leito, sendo retirado, manualmente, todo material contido no seu interior. O material coletado nos SACs foi disposto, de forma espalhada, sobre uma bancada, por 48h, a fim de se obter sua secagem ao ar;
- Após a secagem, o material foi encaminhado ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC), onde foi passado em peneiras com malhas de diferentes tamanhos (19,1; 12,7; 9,25; 6,35; 4,76 e 2,38 mm), com o intuito de efetuar sua separação por granulometria, possibilitando a remoção da maior parte dos sólidos intersticiais e aderidos ao meio suporte (brita gnáissica). Os sólidos aderidos ao meio suporte e que se soltaram durante a agitação e peneiramento foram coletados na bandeja de fundo posicionada na base do conjunto de peneiras;
- No Laboratório de Solo e Resíduos Sólidos, todo material da bandeja de fundo foi passado por outras duas peneiras com aberturas de 1, mm e 0,212 mm. O material retido e o que passou na peneira de abertura 0,212 mm foram acondicionados em recipientes diferentes;
- O restante do material suporte foi lavado, utilizando-se um volume máximo de 1,5 L de água destilada, de forma a proporcionar a maior remoção possível do material orgânico aderido;

- As suspensões geradas na lavagem de cada amostra de material suporte foram colocadas em béqueres de 2 L e secadas em chapa aquecida sob temperatura de 60 °C. Em seguida, a secagem do resíduo contido nos béqueres foi complementada em estufa com ventilação forçada de ar, sob temperatura de 65 °C, por 24 h. Todas as amostras, após serem secadas em estufa, foram destorroadas, com auxílio de um almofariz, e passadas, novamente, na peneira de malha 0,212 mm;

- Ao final foram analisados os materiais que passaram na peneira de malha 0,212 mm, denominado “material fino”, e o que passou na peneira de malha 1 mm, mas que ficou retido na peneira de malha 0,212 mm, denominado “material grosseiro”. Optou-se por fazer essa separação considerando-se que, após a lavagem, observou-se, ainda, a presença de material orgânico aderido às partículas de menor dimensão do material suporte;

Após esses procedimentos, foram realizadas as seguintes análises no material orgânico seco: teor de sólidos totais, pelo método gravimétrico; teor de sólidos voláteis totais e sólidos fixos totais, obtidos após a calcinação do material em mufla, sob temperatura de 550 °C, por 2 h; conforme descrito por MATOS (2012) e Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está apresentado um resumo da análise de variância das variáveis: sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT) e carbono orgânico facilmente oxidável (COfo), referentes às condições operacionais (SAC-C, SAC-T e SAC-A) e às posições (1º terço, 2º terço e 3º terço do leito dos SACs-EHSS).

TABELA 1: Resumo da análise de variância das variáveis sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT) e carbono orgânico facilmente oxidável (COfo), submetidos às condições operacionais (SACs-EHSS controle (SAC-C), cultivados com tifton 85 (SAC-T) e cultivados com alternantera (SAC-A).

| FV | GL | Material Fino Quadrado Médio | | | | Material Grosseiro Quadrado Médio | | | |
|-------------------|----|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | | ST | SFT | SVT | CO _{fo} | ST | SFT | SVT | CO _{fo} |
| Vegetação(V) | 2 | 5,0** | 257,8** | 257,8** | 27,5** | 12,1** | 404,2** | 404,2** | 47,2** |
| Resíduo (a) | 3 | 0,2 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 9,5 | 9,5 | 3,0 |
| Posição(P) | 2 | 1,1 ^{ns} | 75,2* | 75,2* | 11,1* | 2,9* | 113,9* | 113,9* | 11,2* |
| V x P | 4 | 0,1 ^{ns} | 9,9 ^{ns} | 9,9 ^{ns} | 1,2 ^{ns} | 0,6 ^{ns} | 13,9 ^{ns} | 13,9 ^{ns} | 1,3 ^{ns} |
| Resíduo (b) | 6 | 0,3 | 12,8 | 12,8 | 1,0 | 0,4 | 17,8 | 17,8 | 1,4 |
| CV (%) Parcela | | 0,4 | 1,2 | 7,6 | 19,4 | 1,0 | 3,5 | 24,2 | 39,3 |
| CV (%) Subparcela | | 0,6 | 4,1 | 26,6 | 20,4 | 0,7 | 4,8 | 33,1 | 26,9 |

ns, ** e *: não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

FV – fonte de variação; GL – graus de liberdade; CV – coeficiente de variação.

A análise de variância dos dados demonstrou não existir interação significativa entre os fatores vegetação e posição. Isto significa que os mesmos irão interferir de forma independente no processo de colmatagem dos SACs em estudo. Assim, os efeitos dos fatores vegetação e posição serão discutidos isoladamente.

Na Tabela 2 estão apresentados as médias das concentrações de ST, SVT, SFT e COfo, avaliando-se a interferência da presença de plantas.

TABELA 2: Valores médios, em dag kg⁻¹, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT) e carbono orgânico facilmente oxidável (COfo).

| Tratamento | Material Fino | | | | Material Grosseiro | | | |
|------------|---------------|---------|---------|------------------|--------------------|---------|---------|------------------|
| | ST | SFT | SVT | CO _{fo} | ST | SFT | SVT | CO _{fo} |
| SAC-C | 98,76 A | 93,95 A | 6,04 C | 2,40 B | 99,32 A | 96,78 A | 3,28 B | 1,21 B |
| SAC-T | 97,18 B | 84,37 B | 15,63 B | 5,70 A | 96,97 B | 83,07 B | 16,93 A | 5,86 A |
| SAC-A | 97,20 B | 81,42 C | 18,58 A | 6,41 A | 96,77 B | 81,99 B | 18,00 A | 6,25 A |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. SAC-C, SAC-T e SAC-A – SACs-EHSS sem cultivo, cultivados com tifton 85 e cultivados com alternantera, respectivamente.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, pode-se verificar que houve diferença significativa entre todas as variáveis analisadas, quando comparando os sistemas plantados e o não plantado, tanto para o material fino como para o grosseiro.

Assim como nas pesquisas de TANNER e SUKIAS (1995), CASELLES-OSÓRIO et al. (2007) e PEDESCOLL

et al. (2009), a maior parte dos sólidos acumulados no leito dos SACs foi de material não degradável, caracterizados pela fração de sólidos fixos. Para os autores citados, a fração de sólidos fixos foi de 90, 85 e 75% respectivamente. Nesta pesquisa, a fração dos sólidos fixos (média de material fino e grosseiro) foi ainda maior, sendo de 95, 84 e 82%, para os SAC-C, SAC-T e SAC-A, respectivamente.

Observa-se que o teor de SFT foi maior no sistema não plantado, embora a colmatção nos SACs tenha ficado mais evidente nos sistemas cultivados, devido à ocorrência de maior escoamento superficial nos mesmos. Esses resultados dão indicativos de que não seria a variável SFT a de melhor associação com a colmatção do meio poroso, sendo melhor associação obtida com teor de SVT. O teor de SVT nos SAC-T e SAC-A foi 2,6 e 3,1 vezes maior, respectivamente, que no SAC-C, no que se refere ao material fino, e 5,2 e 5,5 vezes no que se refere ao material grosseiro. Neste caso, a contribuição dos depósitos de material orgânico produzidos pelas plantas foi mais importante que a contribuição externa de sólidos da água residuária, e que, portanto, pode ter sido a principal fonte da colmatção nos SACs-EHSS estudados. O mesmo foi comprovado por TANNER e SUKIAS (1995), que encontraram taxas de acúmulo de material orgânico maiores nos SAC-EHSS cultivados que nos não cultivados.

KNOWLES et al. (2011) afirmaram que a biodegradabilidade e não a quantidade da matéria orgânica acumulada nos SACs é que possibilita a predição do seu impacto na colmatção de SACs. Inicialmente, pensava-se que a matéria orgânica iria se decompor suficientemente rápido, de modo que apenas os sólidos inorgânicos contribuiriam para o entupimento dos poros do sistema. No entanto, a partir dos dados obtidos, pode-se confirmar que a colmatção do meio poroso dos SACs ocorreu, principalmente, pelo acúmulo de matéria orgânica, o que se evidencia pelos teores de SVT no material sólido presente no meio poroso.

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias dos teores de ST, SVT e SFT e COfo, analisando-se a interferência da posição (1º terço, 2º terço e 3º terço do leito dos SACs-EHSS).

TABELA 3: Valores médios, em dag kg⁻¹, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT) e carbono orgânico facilmente oxidável (COfo) no material sólido presente nos interstícios do meio poroso, em relação a posição no leito dos SACs-EHSS.

| Material Fino | | | | Material Grosseiro | | | |
|---------------|----------|----------|------------------|--------------------|----------|----------|------------------|
| Posição | SFT | SVT | CO _{fo} | ST | SFT | SVT | CO _{fo} |
| 1º terço | 82,65 B | 17,35 A | 6,24 A | 96,88 B | 82,36 B | 17,63 A | 5,91 A |
| 2º terço | 87,56 AB | 12,44 AB | 4,75 AB | 98,01 A | 88,74 AB | 11,26 AB | 4,19 AB |
| 3º terço | 89,53 A | 10,47 B | 3,53 B | 98,16 A | 90,69 A | 9,31B | 3,22 B |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, pode-se verificar que houve diferença significativa nos teores de ST do 1º terço para o 2º e 3º terços do leito dos SACs-EHSS, para o material grosseiro, embora se esperasse encontrar maior concentração desses sólidos no 1º terço dos leitos, uma vez que trata-se da zona de entrada do afluente nos SACs-EHSS e que age como um filtro, retendo grande parte dos sólidos presentes na água residuária aplicada.

Pode-se observar que o teor de SVT diminuiu ao longo do comprimento dos SACs-EHSS, sendo maior nos seus 1º e 2º terços, que correspondem aos trechos mais próximos ao local de aporte da matéria orgânica nos sistemas. Também são nessas posições que se encontram os maiores teores de material de mais fácil degradação, o que pode ser evidenciado pela análise de COfo.

CONCLUSÕES

A maior parte do material colmatante foi composto por sólidos fixos totais, sendo de 95, 84 e 82% nos SACs-EHSS controle (SAC-C), SACs-EHSS cultivados com capim tifton (SAC-T) e SACs-EHSS cultivados com alternantera (SAC-A), respectivamente. Entretanto, os sólidos voláteis totais parecem ser mais importantes para o fenômeno de obstrução dos poros e a maior acumulação/produção de SVT nos SACs cultivados se deve, possivelmente, à contribuição do tecido vegetal morto.

Houve maior acúmulo de material orgânico nos SACs cultivados que nos não cultivados, essa diferença deve-se à renovação foliar, formando finas, mas densas, camadas de biomassa morta sobre a superfície dos SACs e a presença de uma camada compacta nos primeiros 20 cm dos SACs, como consequência da presença e acúmulo de raízes e rizomas das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2012, [s.n.].
2. CASELLES-OSORIO, A., PUIGAGUT, J., SEGU, E., VAELO, N., GRANES, F., GARCÍA, D., GARCÍA, J. Solid accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*, v.41, n.6, p.1388-1389, 2007.
3. FERRES, G.C. Variabilidade da condutividade hidráulica e de formas do nitrogênio em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial. 2012.76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
4. HUA, G.; ZENG, Y.; ZHAO, Z.; CHENG, K.; CHEN, G. Applying a resting operation to alleviate bioclogging in vertical flow constructed wetlands: An experimental lab evaluation. *Journal of Environmental Management*, v. 136, p. 47-53, 2014.
5. KADLEC, R.H.; WALLACE, R.D. *Treatment Wetlands*. 2nd ed. Florida: CRC Press. 2008. 1016p.
6. KNOWLES, P.; DOTRO, G.; NIVALA, J.; GARCÍA, J. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors. *Ecological Engineering*, v.37, p.99-112, 2011.
7. KNOWLES, P.R.; GRIFFIN, P.; DAVIES, P.A. Complementary methods to investigate the development of clogging within a horizontal sub-surface flow tertiary treatment wetland. *Water research*, v.44, n.10, p.320-330, 2010.
8. MATOS, A.T. *Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório*. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012, 150p.
9. MATOS, A. T.; FREITAS, W.S.; BORGES, A.C. Estudo cinético da remoção de matéria orgânica de águas residuárias da suinocultura em sistemas alagados construídos cultivados com diferentes espécies de vegetais. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 6, p. 1179, 2011.
10. PAOLI, A.C.; VON SPERLING, M. Evaluation of clogging in planted and unplanted horizontal subsurface flow constructed wetlands: solids accumulation and hydraulic conductivity reduction. *Water Science & Technology*, v.67, n.6, p.1345-1352, 2013.
11. PEDESCOLL, A., UGETTI, E., LLORENS, E., GRANES, F., GARCIA, D.; GARCIA, J. Practical method based on saturated hydraulic conductivity used to assess clogging in subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v.35, n.8, p.1216-1224, 2009.
12. TANNER, C.C.; SUKIAS, J.P. Accumulation of organic solids in gravel bed constructed wetlands. *Water Science and Technology*, v.32, n.3, p.229-239, 1995.
13. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater*. Cincinnati, Ohio: USEPA, Office of Research and Development, 2000. (EPA/625/R-99/010).