

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA SUINOCULTURA UTILIZANDO-SE FILTROS ORGÂNICOS¹

Viviane dos Santos Brandão², Antônio Teixeira de Matos³, Mauro Aparecido Martinez⁴ & Maurício Paulo Pereira Fontes⁵

RESUMO

O tratamento primário da água residuária de suinocultura pode ser feito por filtração; para isto, torna-se oportuno o estudo de materiais alternativos a serem utilizados como meio filtrante e, com este intuito, foram utilizados o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz, a casca de café, o fino de carvão vegetal, o sabugo de milho e a serragem de madeira, acondicionados em tubos de PVC de diâmetro de 100 mm, constituindo colunas de 500 mm de altura. O sistema de filtração foi mantido sob escoamento permanente, com fluxo em meio saturado, e pequena ou nenhuma alteração foi detectada na concentração de N-total, Ca, Mg e Zn no efluente do filtro, enquanto que as concentrações de P-total, Na e K aumentaram no efluente obtido em filtros de casca de arroz, casca de café e sabugo de milho. Significativa redução na concentração de Cu foi constatada para todos os materiais utilizados como filtro, atingindo-se eficiência de remoção de até 43,6%. Eficiências de remoção superiores a 90% foram obtidas para sólidos sedimentáveis enquanto a remoção de sólidos totais ficou abaixo de 33,0%.

Palavras-chave: água residuária de suinocultura, filtros orgânicos, tratamento de resíduos

TREATMENT OF SWINE WASTEWATER USING ORGANIC FILTERS

ABSTRACT

The primary treatment of swine wastewater can be done by filtration. To this end, the study of alternative materials as a filter media is necessary. With this objective, rice husk, coffee straw, sugarcane trash, trituated corncob, wood sawdust and fine vegetable coal were used as media, conditioned in PVC tubes of 100 mm in diameter and 500 mm in height. The filtering system was maintained under saturated flow conditions. Little or no change was detected in the concentration of N-total, Ca, Mg and Zn in the effluent of the filter, although the concentration of P-total and K increased in the effluents of the filters of rice husk, coffee straw, triturate corncob, reaching a maximum removal efficiency of 43.6%. Removal efficiencies of sedimentable solids higher than 90.0% were obtained in all materials employed as a filtration media, although total solids removal efficiency was less than 33.0%.

Key words: pig wastewater, organic filters, residue treatment

Recebido em 21/02/2000, Protocolo 018/00

¹ Parte da Dissertação do primeiro autor para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

² Doutorando no Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, CEP 36571 - 000, Viçosa, MG. E-mail: vbrandao@alunos.ufv.br

³ Prof. Adjunto, DS, Bolsista do CNPq, UFV, Depto. de Engenharia Agrícola. Fone: (0xx31) 3899 1886, Fax: (0xx31) 3899 2735. Email: atmatos@mail.ufv.br

⁴ Prof. Adjunto, Ph.D., Bolsista do CNPq, UFV, Departamento de Engenharia Agrícola. Fone: (0xx31) 3899 1910. E-mail: mmauro@mail.ufv.br

⁵ Prof. Titular, Ph.D., Bolsista do CNPq, UFV, Depto. de Solos

INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade da década de 70, a atividade suinícola em Minas Gerais, principalmente na região da Zona da Mata, sofreu grande expansão com o crescimento das granjas então existentes e a implantação de inúmeros projetos novos (Minas Gerais, 1995). Como consequência da intensificação da produção suinícola, houve aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área, o que tem gerado problemas de manejo, armazenamento, distribuição, tratamento ou disposição no solo, aumentando, com isto, os custos operacionais da atividade.

A maior parte dos estados brasileiros adota o valor de DBO de 60 mg L⁻¹ como limite de concentração de poluentes em efluentes a serem lançados em corpos hídricos, vários dos quais incorporam, também, o conceito de eficiência de remoção mínima, nos casos em que o atendimento ao padrão de 60 mg L⁻¹ não for atendido. Dos estados que utilizam o critério da eficiência, a maioria adota a eficiência de 80%, com exceção de Minas Gerais, que adota 85%, critério só aceitável quando o efluente lançado não altera os padrões de qualidade nem a classificação do curso d'água (Campos et al., 1998).

O tratamento preliminar de águas residuárias objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte do material orgânico. Em ambos, predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes e, no tratamento secundário, predominam mecanismos biológicos, cujo objetivo é, principalmente, a remoção de material orgânico e, eventualmente, nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou, ainda, a remoção complementar de poluentes não-suficientemente removidos no tratamento secundário, sendo este tratamento muito raro no Brasil (von Sperling, 1996).

O tratamento primário pode ser feito utilizando-se sedimentadores ou filtros. A ação mecânica de eliminação dos sólidos nos filtros se baseia no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores que os poros da camada filtrante. Ao entrar em operação, as partículas vão sendo retidas nos poros do meio filtrante, proporcionando seu acúmulo e, assim, perda de carga. À proporção que se desenvolve a filtração, os vazios vão sendo obstruídos pelas partículas, reduzindo o diâmetro dos poros e passando, por conseguinte, a eliminar partículas de diâmetros cada vez menores (Povinelli & Martins, 1973). De acordo com a taxa de infiltração utilizada, os filtros podem ser classificados como rápidos (120 a 240 m d⁻¹) ou lentos (3 a 6 m d⁻¹).

As águas residuárias brutas de pocilgas apresentam conteúdo de sólidos totais em torno de 40.000 mg L⁻¹ e sedimentáveis de cerca de 350 a 500 mL L⁻¹ (Silva, 1973). Por ser a água residuária de granjas suinícolas muita rica em sólidos, o uso de filtros convencionais de areia não é recomendável, dada à sua rápida colmatação superficial e ao impedimento ao fluxo normal da água residuária, visto que esses filtros são dimensionados para o tratamento de esgotos domésticos, razão por que o estudo de diferentes meios porosos deve ser realizado. A utilização de materiais que sejam subprodutos das atividades agropecuárias e industriais é de grande interesse,

em virtude da sua abundância, do baixo custo de aquisição e da própria dificuldade de disposição desses materiais no ambiente.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o uso de filtros, constituídos por diferentes resíduos agroindustriais, no tratamento de águas residuárias de suinocultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Para se avaliar a eficiência de remoção de poluentes de águas residuárias de suinocultura na filtração por materiais alternativos, foi conduzido um experimento, em casa-de-vegetação, na Área Experimental de Hidráulica e Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, para o qual foram montadas colunas de filtração constituídas de seis materiais orgânicos: bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de café, fino de carvão vegetal, sabugo de milho e serragem de madeira.

O bagaço de cana-de-açúcar e o sabugo de milho foram previamente triturados e todos os materiais foram secados ao ar. Para se obter granulometria mais uniforme, esses materiais foram passados em peneira de malha de 2 mm, sendo o material retido utilizado para preenchimento da coluna. Como a casca de arroz apresentou dimensões inferiores à 2 mm, a peneira foi substituída por outra de malha de 0,5 mm; o fino de carvão vegetal apresentou granulometria muito desuniforme, razão pela qual as suas dimensões foram enquadradas entre os limites de 2,0 e 6,0 mm.

A água residuária foi coletada em um tanque de armazenamento da água residuária de uma suinocultura de 250 matrizes, cujo plantel se encontrava em diferentes estádios de produção, localizada em São Miguel do Anta, MG. Para evitar entupimento das mangueiras de alimentação das colunas durante o experimento, a água residuária foi passada em peneira de malha de 5,0 mm.

Para armazenar a água residuária coletada, foram utilizados galões de 60 L, ligados a uma mangueira flexível, equipada com uma torneira, o que permitiu o controle do fluxo de entrada da água residuária nas colunas de filtração.

As colunas de filtração (Figura 1) foram montadas em tubos de PVC de diâmetro de 100 mm e comprimento de 600 mm; em uma das extremidades do tubo, colou-se um tampão, onde foi feito um furo para adaptação na sua parte externa, de uma

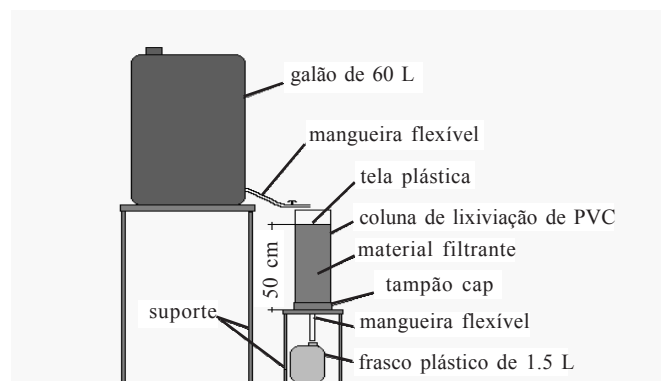


Figura 1. Desenho esquemático da estrutura montada para execução da filtração da água residuária de suinocultura e da coleta do efluente dos filtros

mangueira flexível de 10 mm de diâmetro e, na parte interna do orifício, uma tela (malha 1,0 mm) que foi colada para evitar o transporte do material filtrante para fora da coluna. Para controlar o fluxo de saída do efluente da coluna, adaptaram-se grampos na mangueira de saída.

O material filtrante foi acondicionado nas colunas, de forma gradual, em camadas de 5 cm de espessura, sob compressão de 12.490 N m^{-2} , até ser atingida a altura de 50 cm. Esse valor de pressão foi definido considerando-se a compactação do material no filtro que seria obtida com o peso de um homem ($\pm 70 \text{ kg}$). Para minimizar o fluxo preferencial na parede interna da coluna, o próprio material usado para seu preenchimento foi colado às paredes internas do tubo, para aumento da tortuosidade e minimização do fluxo preferencial; além disso, comprimiu-se, com a ponta dos dedos, a periferia do material acondicionado na coluna durante o seu preenchimento.

Para evitar que o material flutuasse ao receber a água residuária, usaram-se telas de 1,0 mm de malha, na parte superior da coluna.

A partir do conhecimento do volume ocupado e da massa do material filtrante, foi possível calcular-se a massa específica global do material. A massa específica das partículas de cada material foi determinada seguindo-se a metodologia da EMBRAPA (1997). De posse desses valores (massa específica global e das partículas) foi possível calcular-se a porosidade do material e também o volume de poros que, de acordo com Matos (1995), pode ser definido como o volume ocupado pelos poros da coluna de material filtrante. A porosidade e o volume de poros do material acondicionado na coluna foram calculados usando-se, respectivamente, as Eqs. 1 e 2:

$$P = \frac{(\rho_p - \rho_g)}{\rho_p} \quad (1)$$

em que:

- P - porosidade, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
- ρ_p - massa específica das partículas, g cm^{-3}
- ρ_g - massa específica global da coluna, g cm^{-3}

$$VP = \frac{V}{V_t \cdot P} \quad (2)$$

em que:

- VP - volume de poros, adimensional
- V - volume filtrado, cm^3
- V_t - volume total da coluna filtrante, cm^3
- P - porosidade do material da coluna, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

As seis colunas filtrantes foram, simultaneamente, preenchidas com água residuária de suinocultura, até que fosse atingida a altura de 50 cm quando, então, abriu-se o registro de saída do filtrado, permitindo-se a coleta do efluente na parte inferior da coluna, momento em que se abriu o registro de alimentação do afluente, acionou-se o cronômetro e se mediu o tempo para coleta de 1,5 L de efluente, com o objetivo de se determinar a taxa de infiltração do líquido no filtro. O escoamento foi

mantido na condição permanente, em meio saturado, durante toda a fase de filtração das águas residuárias de suinocultura.

Para caracterização da água residuária afluente, foram coletadas, aleatoriamente, quatro amostras de 1,5 L nos galões-reservatório. Das amostras do afluente e do efluente, retiraram-se alíquotas de 200 mL, que foram imediatamente acondicionadas em freezer (-4°C) para posterior análise química. As amostras retiradas do material filtrante também foram preservadas em freezer. No restante das amostras do efluente e do afluente, foram determinados: condutividade elétrica (CE), usando-se condutivímetro digital marca Orion, modelo 125; densidade, utilizando-se densímetro de escala 1,000 a 1,100 (Scherer et al., 1995) e sólidos totais (ST) e sedimentáveis (SP) (Braile & Cavalcanti, 1979).

O teor de N-total foi determinado em alíquota de 3,0 mL, pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1985). Alíquotas de 5,0 mL foram mineralizadas via digestão nítrico-perclórica (3 mL de ácido nítrico: 1 mL de ácido perclórico). Nos extratos de digestão, as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} e Zn^{2+} foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica e as concentrações de K^+ e Na^+ determinadas por fotometria de emissão de chama e as do P-total, por colorimetria, pelo método do ácido ascórbico, modificado por Braga & Defelipo (1974). Os resultados das análises física e química da água residuária afluente encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização física e química da água residuária de suinocultura utilizada como afluente

Parâmetro*	Valor Médio
CE (dS m^{-1})	6,234
Densidade	1,005
SP (mL L^{-1})	88,250
ST (g L^{-1})	5,500
P-total (dag L^{-1})	0,0088
N-total (dag L^{-1})	0,0936
Ca (g L^{-1})	0,1300
Mg (g L^{-1})	0,0505
Na (g L^{-1})	0,2047
K (g L^{-1})	0,5049
Cu (mg L^{-1})	1,6090
Zn (mg L^{-1})	1,1542

* CE – condutividade elétrica, SP – sólidos sedimentáveis e ST – sólidos totais

Nos resíduos orgânicos a serem utilizados como filtro, foi realizada a seguinte análise física: determinação do conteúdo de umidade (Kiehl, 1985) e das massas específica de partículas e global. O resultado dessas análises e da porosidade e volume ocupado pelos poros, para cada material filtrante utilizado, está apresentado na Tabela 2.

As análises químicas constituíram-se na determinação do pH (H_2O e KCl) pelo método potenciométrico, e na soma de bases extraíveis (valor S) pelo método da soma de bases, utilizando-se os extratores de KCl 1 mol L^{-1} , para determinação de Ca^{2+} e Mg^{2+} ; HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ para determinação de Na^+ e K^+ ; e acetato de cálcio, a pH 7, para determinação de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (EMBRAPA, 1997) cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.

Como os valores de pH (H_2O) foram superiores aos de pH (KCl) foram obtidos valores de ΔpH negativos para todos os materiais filtrantes, o que significa que os materiais em questão

Tabela 2. Caracterização física e química* do material filtrante

Material filtrante	U	ρ_p	ρ_g	P	$V_t \cdot P$	pH		ΔpH^1	Acidez ²	Valor S ³
						H ₂ O	KCl			
	dag kg ⁻¹	g cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm ³				cmol _c dm ⁻³		
Casca de arroz	12,66	1,20	0,15	0,88	3.439,35	6,60	5,49	-1,11	6,88	24,05
Casca de café	17,94	1,09	0,21	0,80	3.157,80	4,55	4,03	-0,42	32,54	146,90
Bagaço de cana-de-açúcar	13,62	0,51	0,10	0,80	3.147,46	6,03	4,58	-1,45	5,12	6,55
Sabugo de milho	13,31	0,97	0,34	0,65	2.565,53	6,14	5,51	-0,63	8,30	27,84
Serragem de madeira	13,01	0,95	0,12	0,89	3.447,81	5,38	3,99	-1,39	18,61	7,10
Fino de carvão vegetal	4,84	0,68	0,35	0,48	1.900,16	7,37	6,71	-0,66	0,00	2,48

* U - umidade do material, ρ_p - massa específica das partículas, ρ_g - massa específica global, P - porosidade do material e $V_t \cdot P$ - volume ocupado pelos poros da coluna

¹ $\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$

² acidez = H + Al (acidez extraível)

³ S = Ca²⁺ + Mg²⁺ + Na⁺ + K⁺ (bases extraíveis)

são eletronegativos, ou seja, as cargas negativas predominam em relação às positivas.

Os valores de soma de bases (S) e acidez (H + Al) extraíveis indicam ser o material filtrante detentor de cátions removíveis com ácidos fracos, podendo estar ou não adsorvidos no complexo de troca. A soma dos cátions adsorvidos ao complexo de troca seria indicação do valor de CTC do material e, nesse aspecto, quanto maiores os valores de CTC, maior também será a capacidade do material filtrante em reter os cátions presentes nas águas residuárias de suinocultura.

O volume de efluente, coletado durante a condução dos ensaios, foi convertido em volume de poros (Eq. 2) e curvas relacionando as concentrações de P-total, N-total, Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, SP, ST, densidade, CE e taxa de infiltração do efluente com o volume de poros percolados foram obtidas para análise da capacidade de retenção do material filtrante para avaliar seu uso como filtro.

O experimento foi arranjado num delineamento em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos (seis materiais orgânicos filtrantes) e quatro repetições.

Análises de regressão foram utilizadas para obtenção de equações matemáticas que possibilitassem a estimativa do desempenho do sistema de filtragem, tendo como variável independente o volume de poros de água residuária filtrada.

Enfim, as análises estatísticas foram processadas, utilizando-se o programa estatístico SAEG versão 5.0/1993, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2A encontra-se o gráfico referente à concentração de N-total no afluente e efluente do filtro. Os valores encontrados no efluente dos materiais filtrantes flutuaram em torno daqueles determinados para o afluente. Apesar de se observar aumento da concentração de N-total na maioria dos resíduos utilizados como filtro, a quantidade retida não foi suficiente para causar alterações sensíveis na concentração do efluente dos filtros.

Com relação à concentração de P-total, constatou-se que todos os valores no efluente estiveram acima dos valores presentes no afluente e os valores mais altos de P-total no efluente foram obtidos quando o material filtrante utilizado foi a casca de café. O uso de materiais filtrantes como a casca de arroz e de café e o sabugo de milho proporcionou aumento nas concentrações de P-total no efluente do filtro com o aumento do volume de poros, aumento este devido à lixiviação desse

nutriente dos citados materiais. Nos demais materiais, não houve resposta desse parâmetro em relação ao volume de poros filtrados.

Com relação ao Ca (Figura 2B) encontraram-se, nos efluentes da maioria dos materiais filtrantes, valores de concentração abaixo daqueles determinados no afluente, à exceção da serragem de madeira. Curvas de comportamento decrescente na concentração do efluente com o aumento do volume de poros foram ajustadas para a casca de café, bagaço de cana-de-açúcar e fino de carvão. Apesar disso, a maior remoção de Ca foi apenas de 13,4%, ocorrendo quando a casca de arroz foi empregada como filtro da água residuária de suinocultura.

As concentrações de Mg no efluente de todos os materiais filtrantes foram superiores às obtidas no afluente, embora nas análises químicas dos materiais utilizados como filtro só tenha sido constatado perda desse elemento quando o material filtrante foi a casca de arroz.

Os valores de concentração de Na no efluente em relação ao volume de poros (Figura 2C) estão coerentes com o que foi verificado nas análises químicas do material usado como filtro, visto que os materiais filtrantes que mais perderam esse elemento foram a casca de arroz, a casca de café e o sabugo de milho. Nesses casos, foi possível ajustar-se curvas de valores decrescentes de concentração no efluente com o aumento do volume de poros, com a ressalva de que as concentrações de Na no efluente tenderam para os valores encontrados no afluente. No efluente dos demais materiais, encontraram-se valores de concentração próximos aos do afluente, não havendo, desta forma, resposta desse parâmetro em relação ao volume de poros filtrados. Como esperado, comportamento idêntico foi observado para K no efluente do material filtrante.

O aumento da concentração de P, Ca, Mg, Na, K, Cu e Zn nos primeiros volumes de poros de efluentes coletados, que ocorreu principalmente quando foi utilizada a casca de café como material filtrante, pode ser atribuído à forma de processamento do fruto do cafeeiro. Com a secagem dos frutos em "coco", é possível que haja transporte de solutos do fruto, por fluxo de massa, na água que migra para o seu exterior. O transporte de solutos até a casca coloca-os passíveis de mais fácil solubilização pela água, daí a possibilidade da "lavagem" das cascas quando elas estiveram sob o fluxo da água residuária de suinocultura.

Dentre as análises realizadas, os resultados mais promissores foram observados para Cu (Figura 2D) e todos os valores de concentração deste elemento no efluente

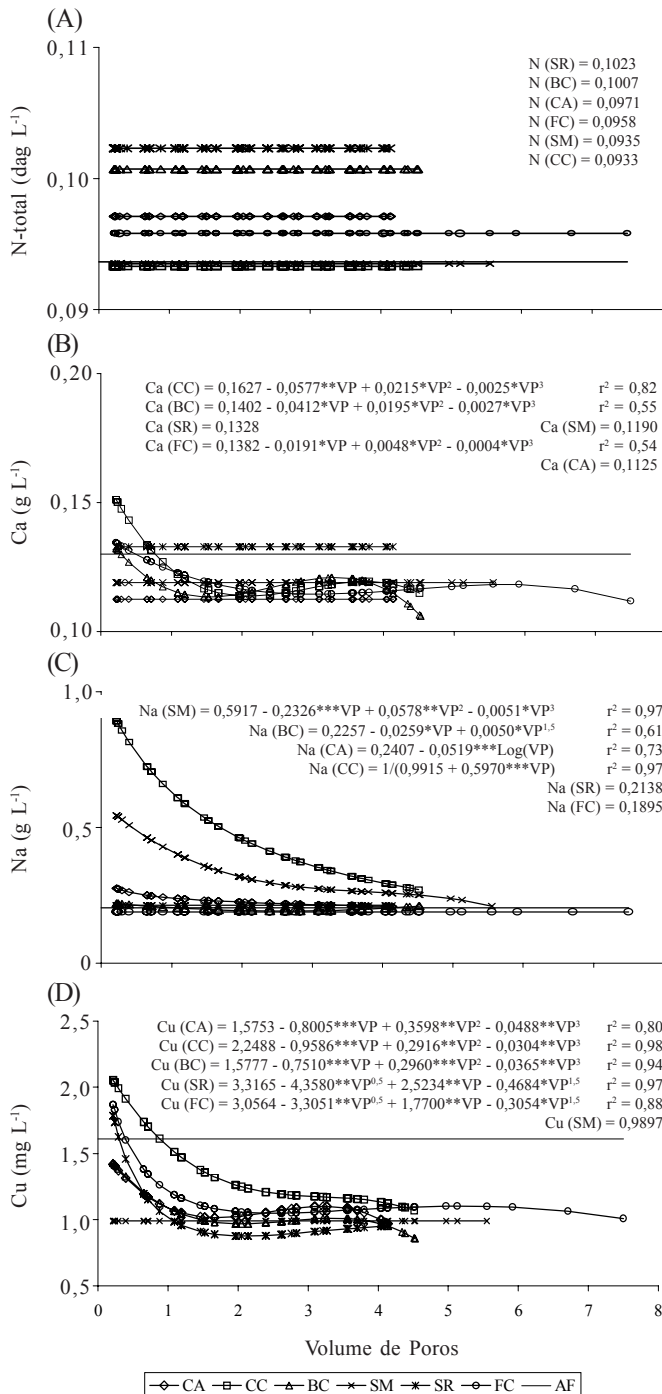


Figura 2. Concentração de N-total (A), Ca (B), Na (C) e Cu (D) em função do volume de poros em diferentes materiais utilizados como filtro, sendo: CA – casca de arroz, CC – casca de café, BC – bagaço de cana-de-açúcar, SM – sabugo de milho, SR – serragem de madeira, FC – fino de carvão vegetal e AF – afluente

encontraram-se abaixo daquele do afluente, tornando possível o ajuste de curvas de valores de concentração decrescentes, com o volume de poros. Os valores de cobre no efluente decresceram até atingirem um patamar que resultou em eficiências de remoção de 34,4; 29; 40,1; 39,9; 43,6 e 33,1%, para efluentes dos filtros de casca de arroz, casca de café, bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, serragem de madeira e fino de carvão vegetal, respectivamente. Munaf & Zein (1997)

encontraram sorção de 40% de íons metálicos pela casca de arroz não-tratada, com a ressalva de que esse percentual aumentou até 85% quando o tamanho da partícula foi reduzido, e o material tratado previamente com ácido clorídrico. Esses resultados indicaram que, caso o tamanho das partículas dos materiais filtrantes fosse menor, poderiam ter sido obtidas eficiências ainda maiores de retenção de cobre.

Já os valores de concentração de Zn no efluente do filtro de casca de arroz e casca de café estiveram acima daqueles do afluente e não apresentaram resposta com relação ao volume de poros filtrado. Curvas de valores decrescentes foram ajustadas para o efluente dos filtros dos demais materiais filtrantes, sendo as maiores remoções obtidas para sabugo de milho e serragem de madeira.

Resultados importantes, no que se refere à eficiência na remoção de SP, foram alcançados, Figura 3A, sendo tal eficiência superior a 90% em todos os materiais filtrantes, chegando a atingir 97,2% de remoção nos primeiros volumes filtrados, quando o material filtrante utilizado foi a casca de café.

Com relação à concentração de ST, Figura 3B, a eficiência máxima de remoção encontrada foi de 33% quando o material filtrante utilizado foi fino de carvão vegetal. O uso de casca de café como filtro aumentou a concentração de sólidos totais nos primeiros volumes de poros de efluente mas, com a filtragem, tendeu a atingir os valores encontrados para no afluente.

A relativamente baixa eficiência de remoção de ST deveu-se à presença de grande quantidade de sólidos de pequeno diâmetro em suspensão ou solução nas águas residuárias de suinocultura. As evidências são de que esse material fino

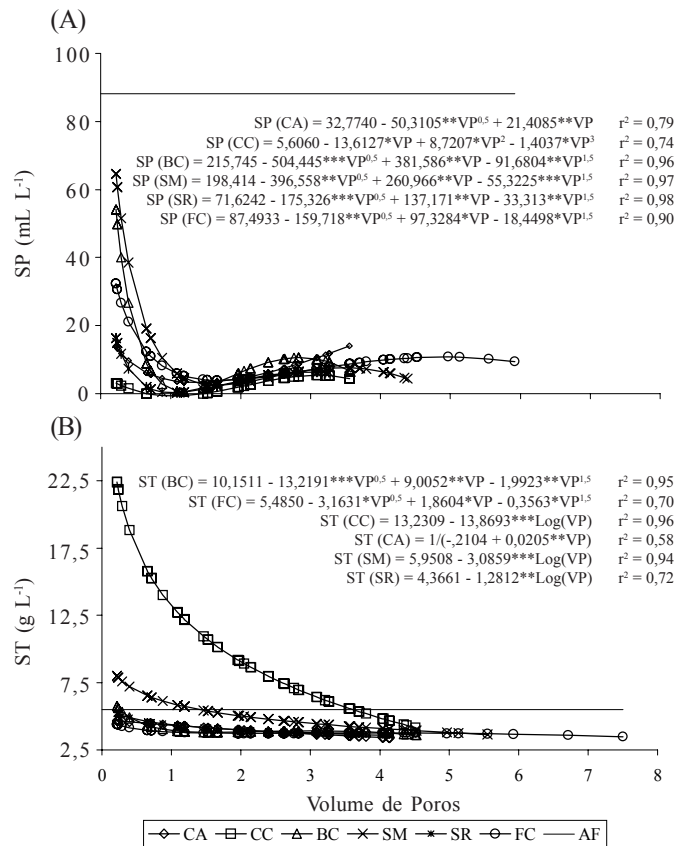


Figura 3. Concentração de sólidos sedimentáveis, SP (A) e totais, ST (B) em função do volume de poros em diferentes materiais utilizados como filtro

poderia ter sido retido com maior eficiência, caso fosse menor o diâmetro médio das partículas do material filtrante.

No tocante à densidade, observou-se pequena redução, quando comparada à da água residuária afluente ($d = 1,005$). O efluente da casca de café teve densidade inicial muito acima da determinada para o afluente, mas com a filtragem, essa densidade tendeu aos valores do afluente.

A condutividade elétrica no efluente, exceto no caso de uso da serragem de madeira como filtro, manteve-se sempre acima dos valores determinados para o afluente ($CE = 6,23 \text{ dS m}^{-1}$) provavelmente em função da lixiviação de sais do material filtrante, o que proporcionou aumento da sua concentração no efluente das colunas filtrantes. Esses resultados devem ser creditados principalmente ao potássio e ao sódio, que foram deslocados das colunas e aumentaram a concentração desses efluentes.

Os valores da taxa de infiltração variaram entre 100 e 150 cm h^{-1} (24 e 36 m d^{-1}) na maioria dos materiais filtrantes, exceto na casca de café, que teve, no início dos testes, valores de velocidade acima de 200 cm h^{-1} , mas que tendeu a atingir os valores mencionados anteriormente, ao final do teste. Tais valores são intermediários entre aqueles recomendados para uso em filtros lentos (2 a 9 m d^{-1}) (Povinelli & Martins, 1973) e filtros rápidos (120 a 240 m d^{-1}) (Steel & McGhee, 1979).

A maior taxa de infiltração nas colunas preenchidas com casca de café está associada à maior porosidade, cerca de $0,804 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Tabela 2) e, possivelmente, à maior macroporosidade do material. Com o aumento do volume de águas residuárias de suinocultura tratada, os sólidos sedimentáveis retidos podem ter diminuído o diâmetro dos poros, o que ocasionou redução na taxa de infiltração da água residuária.

Pode-se constatar que os filtros orgânicos estudados neste trabalho foram capazes de atingir o nível de tratamento primário, devido à remoção de sólidos sedimentáveis e totais e, ainda, abranger parte do tratamento terciário, em função da remoção de cobre da água residuária de suinocultura; assim, com a utilização de filtros orgânicos, pode-se dispensar o emprego de tanques de sedimentação primária, já que, com eficiência de 90% na remoção de sólidos sedimentáveis e de cerca de 30% na remoção de sólidos totais, a etapa de remoção de sólidos grosseiros foi cumprida.

Acredita-se que, com a redução do tamanho de partículas do material orgânico utilizado nos filtros, maior eficiência de remoção de metais pesados e outros poluentes seja alcançada em virtude da possibilidade de maior retenção de sólidos nos poros pequenos, do aumento da superfície específica e da exposição de maior número de sítios de troca do material filtrante.

CONCLUSÕES

1. Resíduos orgânicos podem ser empregados como materiais filtrantes da água residuária de suinocultura, uma vez que proporcionaram melhoria nas qualidades química e física do efluente.

2. Pequena ou nenhuma alteração na concentração de N-total, Ca, Mg e Zn no efluente do filtro foi detectada durante

o processo de filtração, tendo sido, entretanto, observado aumento na concentração de P-total, Na e K nos primeiros volumes de poros de efluente, quando os materiais orgânicos empregados como filtro foram casca de arroz, casca de café e sabugo de milho.

3. Redução importante da concentração de Cu foi constatada em todos os materiais utilizados como filtro, atingindo-se eficiência de remoção de 43,6% quando o material filtrante foi a serragem de madeira.

4. Eficiências de remoção de SP superiores a 90% foram verificadas em todos os materiais orgânicos utilizados como filtro, enquanto a maior eficiência na remoção de ST (33,0%) foi observada com a utilização de fino de carvão vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres, Viçosa*, v.21, p.73-85, 1974.
- BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.
- CAMPOS, L.P.R.; LOPES, A.L.; HORTA, A.H.L.; CARNEIRO, R. Licenciamento ambiental: Coletânea de legislação. Belo Horizonte: FEAM, 1998. 382p. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, v.5)
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- KIEHL, E.L. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LOURES, E.G. Manejo de dejetos suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caldas, MG. Separata. 1998. 33p.
- MATOS, A.T. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos de Viçosa, MG. Viçosa, MG: UFV, 1995. 110p. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal de Viçosa)
- MINAS GERAIS, Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cenário futuro do negócio agrícola de Minas Gerais. Belo Horizonte: ASCP/EPAMIG, 1995. v.13, 36p.
- MUNAF, E.; ZEIN, R. The use of rice husk for removal of toxic metals from wastewater. *Environmental Technology, London*, v.18, p.359-362, 1997.
- POVINELLI, J.; MARTINS, F. Pesquisa sobre a eficiência de filtros lentos em unidades-piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7, 1973, Salvador, BA. Separata. São Carlos: EESC - USP, 1973. 20p.
- SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; DIAS, L.F.X. Método rápido para determinação da qualidade fertilizante do esterco líquido de suíno a campo. *Agropecuária. Catarinense, Florianópolis*, v.8, n.2, p.40-43, 1995.

- SILVA, P.R. Estudo das características dos resíduos das instalações de confinamento de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7, 1973, Salvador,BA. Separata. São Carlos: EESC - USP, 1973. 18p.
- STEEL, E.W.; MCGHEE, T.J. Water supply and sewerage. 5. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979. 665p.
- TEDESCO, J.M.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 186p. Boletim Técnico de Solos, 5
- von SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. v.1, 243p.