

MARCOS ALVES DE MAGALHÃES

**PARÂMETROS PARA PROJETO E OPERAÇÃO DE FILTROS
ORGÂNICOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M188p
2002

Magalhães, Marcos Alves de, 1957-

Parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura / Marcos Alves de Magalhães. – Viçosa : UFV, 2002. 103p. : il.

Orientador: Antonio Teixeira de Matos
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Filtros orgânicos e filtração - Projetos e construção. 2. Filtros orgânicos e filtração - Granulometria. 3. Águas residuais - Purificação - Filtração. 4. Resíduos orgânicos - Purificação. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 628.3

CDD 20.ed. 628.3

MARCOS ALVES DE MAGALHÃES

**PARÂMETROS PARA PROJETO E OPERAÇÃO DE FILTROS
ORGÂNICOS UTILIZADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

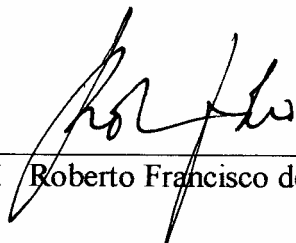
APROVADA: 26 de agosto de 2002



Prof. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Conselheira)



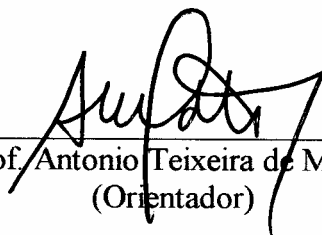
Prof. Wilson Deniculi
(Conselheiro)



Prof. Roberto Francisco de Azevedo



Prof. Cecília de Fátima Souza



Prof. Antonio Teixeira de Matos
(Orientador)

No Futuro

Quando o homem gravar na própria alma os parágrafos da Divina Lei,
O irmão não repreenderá e nem denunciará o outro irmão,
O cárcere cerrará suas portas,
Os tribunais quedarão em silêncio.
Canhões serão convertidos em arados, homens de armas volverão à sementeira
do solo, e o ódio será expulso do mundo.
As máquinas não vomitarão chamas para o incêndio e para a morte,
Mas cuidarão pacificamente do progresso planetário.
A justiça será ultrapassada pelo amor.
Os filhos da fé não somente serão justos, mas bons.
A prece constituir-se-á de alegria e louvor, e os templos estarão
Consagrados ao trabalho sublime da fraternidade suprema.
A pregação da Lei viverá nos atos e pensamentos de todos,
Porque o Cordeiro de Deus terá transformado a todos os tabernáculos de luz
eterna,
Em que o seu Reino resplandecerá para sempre.

EMMANUEL

Francisco Cândido Xavier

A **Deus**, pela vida e acolhida nos momentos difíceis.

À minha esposa **Adriana**, pelo carinho, compreensão, pelos incentivos e, principalmente, por compartilhar comigo todos os momentos bons e difíceis de minha vida, fornecendo-me suporte emocional para alcançar este objetivo.

A minha querida filha **Mariana**, minha melhor criação.

DEDICO.

Aos meus pais **Evandro e Teresinha** por seu grande amor e apoio em todos os momentos da minha vida e aos meus irmãos pelo incentivo a mim dispensado durante os longos anos de estudos.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTO

Ao professor Antonio Teixeira de Matos, pela orientação valiosa, pelo incentivo, pela amizade sincera e pela confiança e dedicação demonstrada ao longo da condução deste trabalho.

Aos Professores Wilson Denículi e Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pelas valiosas contribuições ao Projeto de Tese e pelo estímulo para sua condução.

Aos Professores Demetrius David da Silva, Mauri Martins Teixeira e Everardo Mantovani, que participaram da banca de avaliação do Projeto de Pesquisa, pelas críticas e pelas sugestões apresentadas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, na pessoa de seus professores e funcionários, pela oportunidade de realizar este curso, pelas facilidades oferecidas e pelo incentivo para a execução do presente trabalho.

Ao Luiz Mauro Balbino (Simão), laboratorista do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV (Laboratório de Qualidade de Água), pelo apoio nas análises das amostras das águas residuárias durante a realização desta tese.

Ao José Brás Júlio, laboratorista do Departamento de Solos/UFV (Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos), pelo apoio nas análises das amostras do composto orgânico.

Aos amigos Agostinho Calixto Souza Filho e Roberto Cardoso Milagres, pelo apoio e pela dedicação durante a condução do experimento.

Ao Sérgio Augusto Porto Ribeiro, do Departamento de Estatística da UFV, pela colaboração na análise estatística dos dados.

Às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu especial agradecimento.

BIOGRAFIA

MARCOS ALVES DE MAGALHÃES, filho de Evandro Pereira de Magalhães e Teresinha Alves de Magalhães, nasceu a 25 de agosto de 1957, em Uruçuca, Estado da Bahia.

Fez o curso Técnico em Agropecuária na Escola Média de Agropecuária da Região Cacaueira (EMARC – UR), em Uruçuca – BA, vindo em seguida para Viçosa onde iniciou o Curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em dezembro de 1985.

Em março de 1993, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em nível de Especialização na área de Desenvolvimento e Gestão Ambiental, na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus – Bahia, concluindo-o em dezembro de 1994.

Em agosto de 2000, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1º CAPÍTULO - MONTAGEM E OPERAÇÃO DOS FILTROS ORGÂNICOS	4
1. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
1.1 Poluição provocada por águas residuárias da suinocultura.....	5
1.2 Processo de filtração para tratamento de águas residuárias da suinocultura.....	7
1.3 Parâmetros de projeto dos filtros.....	8
1.3.1 Eficiência de tratamento por filtração.....	10
1.3.2 Manejo dos filtros orgânicos.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 Ensaio de compressão dos materiais filtrantes.....	12
2.2 Montagem e operação dos filtros orgânicos.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.1 Avaliação da compressão aplicada sobre os materiais filtrantes, lâmina de água residuária filtrada e a eficiência do processo de filtração.....	21
3.2 Operação e avaliação dos filtros orgânicos	25
3.2.1 Perda de carga nos filtros.....	25
3.2.2 Taxa de filtração.....	27
3.2.3 Remoção de Sólidos em Suspensão (SS).....	29
3.2.4 Remoção de Sólidos Totais (ST).....	32
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

2ª CAPÍTULO – AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DO MATERIAL RETIRADO DOS FILTROS E QUALIDADE DO COMPOSTO PRODUZIDO.....	47
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	49
2.1 Compostagem de Resíduos Agrícolas.....	51
2.1.1. Microbiologia da compostagem.....	52
2.1.2 Aspectos da degradação biológica dos resíduos orgânicos.....	53
2.1.3 Importância da fase de maturação na compostagem.....	54
2.1.4 Características e condições ideais para a ocorrência do processo de compostagem.....	55
2.1.5 Considerações sobre aspectos da legislação para Fertilizantes orgânicos.....	56
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3.1 Preparo da matéria-prima.....	61
3.1.1. Ajuste da relação C/N dos materiais orgânicos.....	61
3.1.2. Formação das pilhas de compostagem.....	63
3.2 Processo de compostagem.....	62
3.3 Análise química e microbiológica do material durante e após o processo de compostagem	65
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	67
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
APÊNDICE.....	83

RESUMO

MAGALHÃES, Marcos Alves de, MS., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2002. **Parâmetros para Projeto e Operação de Filtros Orgânicos Utilizados no Tratamento de Águas Residuárias de Suinocultura.** Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Conselheiros: Wilson Denículi e Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

O trabalho foi dividido em duas etapas: montagem e operação de filtros orgânicos, utilizando-se bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira como materiais filtrantes, e estudo do manejo desses materiais depois de descartados do filtro, pelo processo de compostagem, produzindo, ao final do período de maturação, adubo orgânico. Com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que todos os valores das concentrações relativas de sólidos nos efluentes dos filtros permaneceram aquém do valor de 50 mg.L^{-1} , citado por LEON e CAVALLINI (1999) como concentração admitida para um bom funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento. O uso dos resíduos orgânicos mostrou-se eficiente para a filtragem das águas residuárias para fins de fertirrigação, notadamente em sistemas de irrigação localizada, uma vez que foram alcançadas taxas de remoção de 90 a 99 % de sólidos em suspensão (SS) e de 43 a 57 % de sólidos totais (ST) utilizando-se filtros de serragem de madeira e de 81 a 96 % de SS e de 50 a 56 % de ST com uso dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar. A eficiência de filtragem aumentou com o passar do tempo, o que foi ocasionado pela obstrução gradativa dos poros, ocasionada pela retenção de sólidos das ARS nas colunas filtrantes. A altura da coluna filtrante entre 1,00m a 2,20m não alterou significativamente a eficiência dos filtros na remoção de SS. A eficiência média de remoção nos filtros foi superior a 80 % para SS e de 43 % para ST. Os materiais

orgânicos utilizados como filtro, após terem sido retirados das colunas filtrantes, foram tratados pelo processo de compostagem. A utilização do dejetos de suínos na compostagem destes resíduos proporcionou a produção de adubos orgânicos de elevado valor fertilizante que, quando aplicados ao solo em taxas adequadas, torna-se excelente opção para a disposição harmônica desses resíduos no ambiente. Os parâmetros avaliados permitem concluir que o composto produzido apresentou características físicas, químicas e biológicas que atenderam a legislação federal, podendo ser classificado como composto orgânico, pois se enquadraram nas normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura. Pelos resultados obtidos na avaliação da composição química dos compostos maturados, as pilhas de bagaço de cana-de-açúcar + dejetos de suínos apresentaram teores mais elevados de N, Mg, Ca, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, Ni, Pb e Cr que o composto das pilhas de serragem de madeira + dejetos de suínos e inferiores quanto aos teores de P e K. A concentração total de metais pesados nos compostos produzidos pode ser considerada segura sob o ponto de vista de uso na adubação de culturas agrícolas.

ABSTRACT

MAGALHAES, Marcos Alves de, MS, Universidade Federal de Viçosa, August, 2002.
Parameters for designing and operation of organic filters used in treatment of swine wastewater. Adviser: Antonio Teixeira de Matos. Committee Members: Wilson Deniculi and Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

The work was divided in two parts as following: the set up and operation of organic filters, using sugar cane-trash and saw dust as filtering material; and the study of handling these material after discarding the filter, by biological decomposition, producing organic fertilizer at the end of the maturation period. On the basis of these results it was concluded that all the values of the relative concentrations of solids in the filter effluents, remained below 50 mg.L^{-1} , reported by LEON and CAVALLINI (1999) as the accepted concentration for a good operation of the drip irrigation system. The use of the organic residues was shown efficient for the filtration of wastewater for fertirrigation uses. Particularly in systems of localized irrigation, once removal rates from 90 to 99 % of suspended solids (SS) and from 43 to 53% of total solids (TS) were reached using sawdust filters; and 81 to 96% of SS and 55 to 56 % of TS using cane-trash filters. The filtration efficiency increased with time, which was caused by the gradual obstruction of the pores, due to the wastewater solid retention in the filter columns. The filtering column height did not alter significantly filter efficiency in removing SS. The average filter removing efficiency was greater than 80% for SS and 43% for ST. After the organic materials used as filter have been removed from the filtering columns, they were treated by biological decomposition (composting). The use of swine manure in the decomposition of these residues provided the production of high

value organic fertilizers. When these fertilizers are applied to the soil in adequate rates, they become excellent option for a harmonious disposal of these residues in the environment. The evaluated parameters permit the conclusion that the produced compost present physical, chemical and biological characteristics satisfying the federal legislation, and it can be classified as organic compost, as it meets the rules established by the Minister of Agriculture. The results obtained from the evaluation of the chemical composition of the matured compost showed that the cane-trash + swine residue heaps gave higher levels of N, Mg, Ca, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, Ni. Pb and Cr than the sawdust + swine residue heaps, and lower levels of F and K. The total concentration of heavy metals in the produced composts can be considered safe from the crop fertilization point of view.

1. INTRODUÇÃO

Toda e qualquer atividade humana, seja ela de mineração, industrial, agropecuária, agroindustrial ou urbana, gera resíduos. Por essa razão, um dos grandes problemas atuais da humanidade são os impactos causados ao meio ambiente, principalmente pela crescente produção de resíduos sólidos e líquidos, gerados em diversas atividades antrópicas, os quais, quando inadequadamente dispostos podem trazer grandes prejuízos para o ambiente. Assim, a geração de diferentes resíduos e rejeitos, provenientes dessas atividades, corresponde a um dos “custos” a ser contabilizado no processo produtivo.

Neste particular, a atividade suinícola, em razão do elevado potencial poluidor que detêm suas águas residuárias, é considerada altamente poluidora, não podendo ser lançados os resíduos gerados, sem tratamento, em cursos d'água.

Dentre as opções que se dispõe para tratamento/disposição de águas residuárias da suinocultura (ARS) está a do aproveitamento agrícola, tendo em vista o elevado valor fertilizante que esses líquidos apresentam. Entretanto, em razão da grande quantidade de material sólido suspenso presente nessas águas residuárias, mesmo após ter passado por um tanque de sedimentação primária, muitos problemas de entupimento de bombas, tubulações e, principalmente, emissores, têm sido verificados.

A ação mecânica de eliminação dos sólidos em suspensão (SS) por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores do que as dos poros da camada filtrante (POVINELLI & MARTINS, 1973). No entanto, esses mecanismos de remoção são temporários ou finitos, tendo em vista a obstrução gradativa dos poros do leito filtrante, com o conseqüente aumento da perda de carga no filtro.

Por ser a água residuária de granjas suinícolas muito rica em sólidos em suspensão e dissolvidos, o uso de filtros convencionais de areia não é recomendável, dados a sua rápida colmatação superficial e o impedimento ao fluxo normal da água residuária. Por essa razão, torna-se necessário o uso de materiais filtrantes que possam ser continuamente trocados. A utilização de materiais orgânicos capazes de absorver/adsorver solutos e reter sólidos em suspensão e que sejam subprodutos de atividades agropecuárias e industriais torna-se opção interessante, dado a sua abundância, o seu baixo custo de aquisição e o fato de serem resíduos que podem ser dispostos de forma harmônica no ambiente.

Resíduos orgânicos tais como a casca de arroz, a casca de frutos de cafeeiro, o bagaço de cana-de-açúcar, o sabugo de milho, a serragem de madeira e o fino de carvão vegetal têm se mostrado como opções de material filtrante para o uso no tratamento de águas residuárias de suinocultura, uma vez que proporcionam melhoria nas qualidades químicas e físicas do efluente (BRANDÃO et al., 2000). Já se sabe que, depois de suplantada a capacidade filtrante desses materiais, a eficiência de tratamento deverá diminuir, o que tornará necessária a substituição do filtro em intervalos definidos de tempo. Os materiais filtrantes utilizados, em grande parte de seu espaço poroso ocupado pelos sólidos retidos, constituem lotes de material a ser compostado, podendo produzir, ao final do período de maturação, adubo orgânico de considerável valor fertilizante (FEBRER, 2000).

Embora as vantagens do uso de materiais orgânicas em filtros para ARS já tenham sido comprovadas, pouco se sabe sobre critérios e parâmetros de projeto e operação desses filtros.

Diante do exposto, o trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira etapa teve como objetivo determinar parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos, avaliando: eficiência e comportamento dos filtros de acordo procedimentos de montagem e grau de compactação aplicado sobre os resíduos orgânicos utilizados nas colunas filtrantes; avaliação comparativa da eficiência dos diferentes materiais orgânicos (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar), utilizados como materiais filtrantes, quanto à remoção de ST e SS das águas residuárias de suinocultura; desempenho comparativo entre filtros com diferentes alturas das colunas filtrantes; tempo de operação dos filtros; perda de carga dos filtros.

Para isso, foram montadas, operadas e monitoradas colunas de filtração nas dependências da Área Experimental de Hidráulica/Irrigação e Drenagem do

Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), com o objetivo de coletar dados que possibilitassem a definição de parâmetros para projetos e operação de filtros. Para a realização desta parte da pesquisa, foram utilizadas as águas residuárias geradas nas instalações de suinocultura da UFV.

Na segunda etapa, os lotes descartados dos materiais orgânicos (bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira), depois de suplantadas as suas respectivas capacidades filtrantes, foram tratados pelo processo de compostagem.

Considerando que materiais utilizados como materiais filtrantes tiveram grande parte de seu espaço poroso ocupado pelos sólidos, foram feitas substituições periódicas desses filtros, em diferentes intervalos de tempo.

Estas substituições temporárias produziram lotes de materiais que possibilitaram avaliar a eficiência do processo de compostagem como método de tratamento, bem como, avaliar a qualidade do composto e viabilidade de aproveitamento desses filtros para produzir fertilizante orgânico e o seu posterior aproveitamento agrícola, podendo produzir, ao final do período de maturação do composto, adubo orgânico de considerável valor fertilizante.

Toda o trabalho desenvolvido na segunda etapa do experimento foi conduzido no Campus da UFV, em pátio pavimentado e coberto, localizado no interior das instalações do antigo estábulo, Universitário.

CAPÍTULO 1

MONTAGEM E OPERAÇÃO DOS FILTROS ORGÂNICOS

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil possui cerca de 36,5 milhões de cabeças de suínos, plantel correspondente ao quarto maior rebanho do mundo, com uma produção de 1,73 milhões de toneladas de carne (IBGE, 1998).

Segundo TAIGANIDES (1977), a produção de resíduos de suínos pode ser admitida como sendo diretamente proporcional ao peso vivo do animal, porém, há uma grande variabilidade nos dados publicados em relação às quantidades de excrementos produzidas pelos animais nos seus diversos estádios de crescimento. A produção diária de dejetos de suínos é de cerca de 5,1% do seu peso vivo, com uma variação de 20%, sendo a quantidade diária de excrementos sólidos produzida e o conteúdo de umidade variáveis com o desenvolvimento corporal dos animais, o tipo de alimentação, a quantidade de água ingerida e a estação do ano (SILVA, 1973).

CONRAD e MAYROSE (1971) relataram que a quantidade média de água ingerida gira em torno de 2,0 a 2,5 kg de água kg^{-1} de matéria seca consumida enquanto LOEHR (1974) indicou que a quantidade de urina é da ordem de 30% do peso total dos excrementos produzidos.

Na suinocultura denominada “industrial”, a retirada do esterco produzido pela atividade se dá, na maioria das vezes, por meio de lavagem, sendo que o uso da água proporciona, além da higienização das baias de criação, a diluição das fezes produzidas, facilitando seu transporte e manejo (ANDREADAKIS, 1992).

SILVA (1973) afirmou que a quantidade de água gasta na higienização das baias é variável de acordo com a disponibilidade desta, o tipo de instalação e hábitos do criador, estando entre 5 a 10 litros $\text{suíno}^{-1} \text{d}^{-1}$. TAIGANIDES (1986) mencionou o uso de água da ordem de 20 litros $\text{suíno}^{-1} \text{d}^{-1}$ em lugares fechados. OLESZKIEWICZ e KOZIARSKI (1981) indicaram, entretanto, valores superiores, na faixa de 20 e 40 litros

suíno⁻¹ d⁻¹, concordando com os resultados apresentados por PERDOMO (1996) para criatórios que dispõem de sistemas de descarga para limpeza.

Segundo Kozen, citado por CHATEAUBRIAND (1988), as ARS apresentam grandes variações nas composições mineral e orgânica, dependendo da forma de manejo, da alimentação dos animais, da forma como os dejetos são manuseados e armazenados e da quantidade de água incorporada a eles.

1.1 Poluição provocada por águas residuárias da suinocultura

A suinocultura moderna, de produção animal de forma confinada, por ser concentradora de dejetos em pequenas áreas (Figura 1), gera grandes volumes de águas residuárias (Figura 2), de grande potencial poluidor para o solo, o ar e a água, uma vez que são ricas em sólidos em suspensão e dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo, dentre outros), agentes patogênicos, metais pesados e sais diversos (MATOS et al., 1997).



Figura 1: Concentração de dejetos gerados por suínos confinados em pequenas áreas



Figura 2: Aspecto da ARS gerada no setor de suinocultura da Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Diversos são os parâmetros usados para avaliar a qualidade e o potencial poluidor de águas residuárias. Dentre esses parâmetros estão a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), que é a quantidade de oxigênio consumido durante um período de tempo de 5 dias, sob temperatura de incubação de 20°C; a Demanda Química de Oxigênio (DQO), que é a demanda de oxigênio para oxidação química do material orgânico presente, e as concentrações de sólidos totais (ST), sólidos sedimentáveis (SP) e sólidos em suspensão (SS).

LOURES (1998), apresentou uma análise da composição média de efluente de 11 pocilgas, cujos valores médios encontrados foram de 14.609,6 mg L⁻¹ para DQO, de 14.094,1 mg L⁻¹ para DBO, de 285 mL L⁻¹ para SP e de 5.745 mg L⁻¹ para SS. Para SILVA (1973) as águas residuárias brutas de pocilgas apresentam concentrações de sólidos totais em torno de 40.000 mg L⁻¹ e de sedimentáveis de 350 a 500 mL L⁻¹.

Em vista dos elevados valores de DBO₅ e de DQO, a água residuária de suinocultura, quando lançada em corpos d'água, pode proporcionar redução na quantidade de oxigênio neles dissolvidos, podendo alcançar valores inferiores às necessidades da fauna aquática e provocar, com isso, a morte de peixes e outros seres vivos (SCHERER et al., 1995). O ecossistema do corpo d'água é, dessa forma afetado, concorrendo para a redução da biodiversidade e da população de seres vivos, além disso, compromete-se à qualidade da água para uso no abastecimento doméstico, dessedentação de animais, lazer, etc.

A perda da qualidade do ar, a degradação dos recursos hídricos e do solo, o desconforto da população com a proliferação de insetos e os problemas de saúde como alergias, hepatite, câncer e outras doenças, estão presentes nas principais microrregiões produtoras de suínos no País. Segundo PERDOMO (1996), a contaminação das águas superficiais com coliformes fecais (principais indicadores de riscos sanitários) em algumas regiões do Sul do Brasil, chega a 85% das fontes naturais de abastecimento. Por essa razão, nos últimos anos, muita atenção passou a ser dada à necessidade de desenvolvimento tecnológico com vistas à disposição dos resíduos gerados por animais, de forma a causar o mínimo impacto sobre o ambiente.

Diante dos problemas ambientais causados pela atividade suinícola, o poder público passou a agir, utilizando-se dos órgãos ambientais responsáveis pela fiscalização e controle da poluição ambiental, para minimizar os problemas decorrentes dessa atividade. Foram estabelecidas normas e legislação específica (em Minas Gerais, a Resolução COPAM 010/86) para lançamento de águas residuárias em corpos hídricos (von SPERLING, 1999).

No Estado de Minas Gerais, a legislação ambiental que estabelece limites para lançamento de efluentes em corpos hídricos é a Deliberação Normativa COPAM N^o 010/86. Dentre outros, essa deliberação normativa estabelece que efluentes, de qualquer fonte poluidora, para serem lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, deverá conter até 1 mL L⁻¹ de materiais sedimentáveis, 100 mg L⁻¹ de sólidos em suspensão e a DBO₅ a 20 °C deve ser de, no máximo, 60 mg L⁻¹, desde que esse

efluente lançado não altere os padrões de qualidade ou classificação em que o curso d'água esteja enquadrado (von SPERLING, 1999).

1.2 Processo de filtração para tratamento de águas residuárias da suinocultura

Em vista das condições impostas ao lançamento em cursos d'água, tornou-se necessário o desenvolvimento de novas formas de tratamento e disposição da ARS, em razão da grande quantidade de material sólido suspenso e dissolvido presente.

O aproveitamento de ARS na fertirrigação de culturas agrícolas, em vista do elevado valor fertilizante por ela apresentado, por se tratar de técnica de disposição que barateia os custos de tratamento e por trazer benefícios agrícolas, tem despertado o interesse de produtores de suínos, pressionados pelas exigências estabelecidas na legislação ambiental e a necessidade de baixar custos operacionais.

A fim de possibilitar o aproveitamento agrícola desses resíduos, métodos de aplicação por superfície, geralmente em sulcos e aspersão, têm sido utilizados na fertirrigação de lavouras. A aplicação superficial apresenta, porém, como grande problema a rápida colmatação da superfície do solo, o que dificulta a aplicação e distribuição do fertilizante no solo, favorecendo, também, o escoamento superficial e a contaminação de águas superficiais. A aspersão, por sua vez, proporcionando a aplicação da água residuária sobre o dossel, pode provocar doenças ou diminuir a fotossíntese nas plantas, maus odores, além de riscos de disseminação aérea de patógenos.

A aplicação localizada (microaspersão e gotejamento) tem sido identificada como a forma ideal para aplicação dessas águas residuárias, devido à aplicação mais localizada do fertilizante, menor odor e, principalmente, menores riscos sanitários e ambientais. Esta aplicação apresenta, entretanto, um grande problema: o constante risco de entupimento de emissores, em razão da presença de grande quantidade de sólidos em suspensão no líquido.

Problemas de entupimento em sistemas de aspersão e gotejamento vêm sendo documentados, particularmente quando usados com efluentes do tratamento primário e de lagoas de oxidação (METCALF & EDDY, 1991). O entupimento nos sistemas pode ocorrer devido a um ou à combinação de fatores, que causam a redução do fluxo de água e afeta o crescimento da cultura irrigada: a) matéria suspensa, a qual inclui material orgânico (plantas, animais e microrganismos) e material inorgânico

(principalmente frações do solo); b) depósitos devido à precipitação e sedimentação de compostos de cálcio e magnésio, como também fertilizantes e metais pesados na água; c) fatores biológicos envolvendo presença e crescimento de algas, bactérias e outros componentes fitoplânctons contidos na água.

Os mais sérios e freqüentes problemas de entupimento ocorrem com os sistemas de irrigação por gotejamento. Estes sistemas exigem uma concentração de sólidos menor que 50 mg L^{-1} , para evitar a obstrução dos emissores (LEON e CAVALLINI, 1999). Segundo os mesmos autores, a irrigação por aspersão requer remoção prévia de grande parte dos sólidos em suspensão.

Dentre os métodos passíveis de serem utilizados para a remoção dos sólidos em suspensão de águas residuárias está à filtração.

A filtração da ARS, como etapa de tratamento do líquido antes de seu bombeamento, pode tornar menos problemática a aplicação e a distribuição dessas águas na cultura agrícola, mediante a ação mecânica de eliminação dos SS, baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores do que as dos poros da camada filtrante.

Um meio filtrante ideal deve ser constituído de partículas de diâmetro e tipo de material, que venham a proporcionar melhorias significativas na qualidade do efluente das colunas filtrantes e reter, o máximo possível, de sólidos. Materiais filtrantes mais finos deverão proporcionar a geração de um efluente mais depurado, entretanto, produzirão, também, maior perda de carga nas camadas superiores da coluna filtrante, proporcionando, assim, pequeno período de operação do filtro. No entanto, esses mecanismos de remoção são temporários ou finitos, tendo em vista a obstrução gradativa dos poros do leito filtrante, com o conseqüente aumento da perda de carga no filtro.

1.3 Parâmetros de projeto dos filtros

Pela teoria da filtração, a área exposta do meio filtrante deve ser estabelecida em função do tamanho da partícula e da profundidade da coluna, sendo que o aumento do diâmetro das partículas do meio filtrante vai requerer, por compensação, aumento da profundidade da coluna filtrante.

Dependendo do diâmetro das partículas ou da restrição imposta ao fluxo, os filtros de areia podem ser classificados como rápidos ou lentos. Nos filtros rápidos, a

taxa de filtração pode ser de 120 a 240 m dia⁻¹, ou maior (BRANDÃO et al., 2000). Para STEEL e McGHEE (1997), as taxas de aplicação de águas residuárias, por unidade de área superficial de filtro rápido estão acima de 120 m dia⁻¹, podendo chegar até 1.200 m dia⁻¹, entretanto, estão mais freqüentemente na faixa de 300 a 360 m dia⁻¹. Nos filtros lentos, a taxa de filtração é de 3 a 6 m dia⁻¹ (BRANDÃO et al., 2000).

Sabe-se que pequenas taxas de filtração deverão proporcionar maior eficiência na depuração da água residuária, porém, menor volume tratado pelo filtro. Taxas de filtração muito altas proporcionam maior capacidade de filtração ao sistema, porém, concorrem para menor eficiências na remoção de poluentes da água residuária.

Considerando que a filtração é um processo físico de retenção de partículas, cuja eficiência dos filtros está diretamente relacionada ao diâmetro efetivo e a uniformidade do material filtrante utilizado.

A uniformidade do material filtrante, em termos de diâmetro efetivo, pode ser definida como a malha da peneira, em mm, que permite a passagem de até 10% (em peso) do material filtrante.

A peneira utilizada no peneiramento do material filtrante quanto ao tamanho da malha foi definida com base nas características do material utilizado, já que estas características influem no desempenho do processo de filtragem, e, portanto, no coeficiente de uniformidade. De acordo com STEEL e McGHEE, (1979), o coeficiente de uniformidade é definido como a razão entre a malha da peneira que permite a passagem de 60% (em peso) do material e o tamanho efetivo que deve ser utilizado para a caracterização do material filtrante.

Materiais filtrantes mais finos deverão proporcionar a geração de um efluente mais depurado, entretanto produzirão, também, maior perda de carga, devido à rápida colmatação dos poros das camadas superiores da coluna filtrante, proporcionando, assim, pequeno período de operação do filtro. Meios filtrantes mais grosseiros irão permitir mais profunda penetração do material sólido, maior volume poroso para remoção e armazenamento de partículas suspensas, além de maiores períodos de operação do filtro, uma vez que mais profunda é a penetração do material sólido contido na água residuária. Meios filtrantes constituídos por materiais mais grosseiros devem apresentar, no entanto, conforme já explicado, colunas de filtração de maior altura.

A redução do diâmetro de partículas do material até a faixa de 0,85-2,00 mm em filtros para águas residuárias da suinocultura proporcionou maior eficiência de remoção de sólidos, porém, partículas de menor diâmetro inviabilizaram o uso do filtro, em vista

da baixa velocidade de filtração obtida e da mais rápida colmatação dos poros do material (LO MONACO, 2001).

A profundidade da coluna de filtros de areia deve, segundo STEEL e MCGHEE (1997), variar de 600 a 700 mm, em filtros rápidos utilizados para diferentes fins. Em filtros lentos, a altura da coluna de filtração deve variar de 300 a 600 mm.

1.3.1 Eficiência do tratamento por filtração

Em geral, sistemas de filtros de areia tem proporcionado altas capacidades de remoção de DBO e SS de águas residuárias, alcançando valores superiores a 90%. CHECK et al. (1994), avaliando sistema de filtro de areia de fluxo lateral no tratamento de efluente de tanque séptico, obtiveram remoção de SS superior a 99% (passando de 147 mg L^{-1} para menos de 10 mg L^{-1}). ELLIS (1987) encontrou remoção de 88% de SS do esgoto doméstico tratado em filtros lentos de areia.

Ao utilizar materiais orgânicos de diâmetro maior que 2,0 mm como material filtrante de águas residuárias de suinocultura, BRANDÃO et al., (2000) observou redução na concentração de ST e SP, atingindo a eficiência de remoção de 33% para ST, quando o material filtrante foi serragem de madeira, e eficiência de remoção superior a 90% para SP, em todos os filtros utilizados.

LO MONACO (2001) encontrou maiores taxas de filtração de ARS em filtros constituídos de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar nas maiores faixas granulométricas de 2,0 a 2,8 mm. A serragem de madeira mostrou-se mais eficiente na remoção de DBO e DQO.

Os materiais filtrantes apresentaram eficiências de ST de 60 a 70% na remoção e quase 100% de SP, tendo ocorrido pequena ou nenhuma influência das faixas granulométricas estudadas (LO MONACO, 2001).

1.3.2 Manejo dos filtros

Os filtros podem operar de forma intermitente ou contínua.

A operação intermitente dos filtros possibilita, aparentemente, maior purificação e maior estabilidade no tratamento de águas residuárias, mas não há regras exatas entre o período de descanso e a operação do sistema (NIELSEN et al., 1993). Filtros

intermitentes, embora possam ter mais prolongado período de operação do que os contínuos devem, também, ter seu material filtrante substituído.

Na operação contínua de filtros de areia, um momento importante é o da definição da necessidade de troca do material filtrante (que só ocorre no caso de alguns filtros lentos) ou da retrolavagem (no caso de filtros rápidos).

O tempo de uso do filtro de areia depende dentre outras coisas de fatores como temperatura do material a ser filtrado, qualidade de água, quantidade de matéria orgânica e incidência luminosa, que atuam diretamente sobre o desenvolvimento da biomassa microbiana no filtro, provocando gradativa obstrução dos poros do leito filtrante e aumento da perda de carga (GOLD et al., 1992). A coluna filtrante, operando sob uma taxa de 5 m dia⁻¹, pode ter um período de operação em torno de quatro dias, conforme Steel e McGhee (1997), citados por BRANDÃO et al (2000). Geralmente estabelece-se que, quando a perda de carga alcançar de 1 a 2 m, os filtros de areia lentos devam ter seu material filtrante substituído.

No caso do uso de filtros orgânicos, o material filtrante, após ter grande parte de seus poros obstruída por sedimentos, deverá apresentar perda de carga que induz a substituição total ou parcial do material filtrante. Essas trocas podem ser relativamente freqüentes, dependendo da taxa aplicada e da concentração de sólidos presentes na água residuária.

O material orgânico filtrante, quando retirado dos filtros, poderá passar a ser fonte de poluição ambiental, uma vez que, por não constituir material orgânico estabilizado, poderá tornar-se significativa fonte de contaminação química para o ambiente ou habitat para a proliferação de pragas e veículos de doenças.

Como os resíduos orgânicos usados como material filtrante são fontes importantes de macro e micronutrientes para plantas, nada mais lógico do que tentar aproveitá-los como adubação orgânica para lavouras. Porém, para que o material orgânico possa ser mais fácil e adequadamente disponibilizado às plantas, torna-se necessário que seja submetido a um processo de decomposição microbiológica acompanhada da mineralização de seus constituintes orgânicos.

Casca de frutos do cafeeiro, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, utilizados como materiais filtrantes de ARS por BRANDÃO et al (2000), foram submetidos por FEBRER (2000) à decomposição monitorada, tendo sido avaliados aspectos relacionados à rapidez na degradação do material e a concentração de nutrientes presentes nos adubos orgânicos produzidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaio de compressão dos materiais filtrantes

Considerando que a forma como os resíduos sólidos são dispostos no interior de cada coluna filtrante tem influência direta sobre a eficiência operacional do filtro, uma vez que interfere, diretamente, em sua porosidade, foram realizados ensaios nos materiais filtrantes no Laboratório de Avaliação de Resistência de Materiais, do Departamento de Engenharia Civil da UFV, utilizando a prensa CBR para comprimi-los. Nos ensaios, foram avaliados os efeitos de diferentes compressões no grau de deformação de cada filtro e na porosidade do material filtrante. Para obtenção de compressões de até 50% do volume do material, foram utilizadas pressões de 0,11 a 41,40 kgf.m², no caso de bagaço de cana-de-açúcar e de 0,84 a 115,55 kgf m² no caso de serragem de madeira.

O material orgânico, após ser submetido às diferentes intensidades de compressão foi avaliado quanto à permeabilidade, sendo utilizada a ARS como líquido de penetração. Amostras do afluente e do efluente foram coletadas para determinação da eficiência de filtração do material no que se refere a SS, seguindo-se metodologia descrita em APHA (1995).

2.2. Montagem e operação dos filtros orgânicos

O sistema de filtração foi instalado na Área Experimental de Hidráulica/Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, tendo sido montados em 5 tonéis metálicos (recipientes com 0,58 m de diâmetro), Figura 3, e diferentes alturas de colunas filtrantes: 1,00 m; 1,30 m; 1,60 m; 1,90 e 2,10

m. Na extremidade inferior dos tonéis foi feito um furo para adaptação, na parte externa, de registro, por onde foi coletado o efluente filtrado.



Figura 3: Colunas filtrantes de diferentes alturas usadas no tratamento de águas residuárias da suinocultura.

Para preenchimento das colunas de filtração, foram utilizados dois tipos de resíduos orgânicos: bagaço de cana-de-açúcar triturado e serragem de madeira. Tanto o bagaço de cana-de-açúcar como a serragem de madeira foram secados ao ar e, em seguida, triturados, utilizando o Desintegrador/Picador/Moedor (DPM), nº 01, equipamento constituído de 4 conjuntos de 3 martelos (total de 12 martelos), peneira com malha de 10 mm e motor de 5 cv (Figura 4).



Figura 4: Equipamento utilizado p/ triturar o material a ser usado como filtro

A escolha das faixas granulométricas para o material filtrante foi baseada nos resultados obtidos por LO MONACO (2001), que recomendou o uso de granulometrias entre 2,0 e 3,0 mm por serem as que proporcionaram mais eficiente filtração sem, contudo, aumentar em demasia a perda de carga no sistema. Depois de triturados, os materiais orgânicos foram peneirados em diferentes malhas, de forma a se obter duas faixas granulométricas: 5,0 - 8,0 mm e 2,5 - 3,0 mm (Figura 5).



Figura 5: Detalhe do resíduo triturado e peneirado, pronto para uso como material filtrante das ARS

Após a preparação do resíduo orgânico, serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, para obtenção do material filtrante, as colunas de filtração foram montadas da seguinte forma:

- No fundo de cada recipiente foi instalado um sistema de drenagem, constituído por tubos de PVC de 50 mm de diâmetro, perfurados (furos com 2,0 mm \varnothing). Para evitar a passagem de partículas do material filtrante e entupimento dos drenos, uma camada (h_1) de 20 cm, constituída de material grosseiro (partículas do mesmo material orgânico, nos diâmetros de 5 - 8 mm), foi disposta no fundo dos recipientes, cobrindo os drenos;
- sobre a camada de material mais grosseiro (h_1), foi disposta a camada de material filtrante, com granulometria de 2,5 a 3,0 mm, cuja altura (h_2) foi variável, conforme esquema experimental estabelecido e apresentado no Quadro 1.

- para evitar que ocorresse rápida colmatção da camada superficial do filtro, foi disposta, sobre a coluna filtrante, uma camada de 20 cm de altura (aqui denominado de h_3), constituída de material de mesma granulometria do material que foi colocado junto aos drenos (5,0-8,0 mm).

Quadro 1: Altura total dos filtros e das camadas filtrantes avaliadas no tratamento de águas residuárias da suinocultura

Filtro	h_T (m)	h_2 (m)
1	1,00	0,60
2	1,30	0,90
3	1,60	1,20
4	1,90	1,50
5	2,20	1,80

Altura total da coluna filtrante ($h_T = h_1 + h_2 + h_3$)

Altura da camada de material com granulometria entre 2,5 a 3,0 mm (h_2)

Na montagem dos filtros os materiais filtrantes foram acondicionados nas colunas de forma gradual, em camadas de 30 cm de espessura, sob compressão de 1,67 kgf cm⁻² (163,5 kN m⁻²), até ser atingida a altura máxima de cada tambor, respectivamente 1,00; 1,30; 1,60; 1,90 e 2,20 m. Esse valor de pressão foi determinado calculando-se a pressão exercida por um homem de 50 kgf de peso apoiado em um só pé. Maior discussão a respeito da definição dessa compressão está apresentada no item Resultados e Discussão.

Para minimizar o fluxo preferencial na parede interna da coluna, o material de preenchimento foi comprimido com as pontas dos dedos em toda a periferia do filtro, durante a fase de enchimento dos mesmos. Inicialmente, as colunas de filtração foram preenchidas e operadas com bagaço de cana-de-açúcar, sendo os filtros operados até que perdessem a capacidade de filtração.

A partir do conhecimento do volume ocupado e da massa do material filtrante, foi possível calcular a massa específica global do material seco. De posse dos valores de massa específica global seca e das partículas foi possível calcular a porosidade do material, usando-se a equação:

$$P = 1 - \frac{\mathbf{r}_g}{\mathbf{r}_p} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

P = porosidade, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

ρ_p = massa específica das partículas, g cm^{-3} ; e

ρ_g = massa específica global da coluna (material seco), g cm^{-3} .

A lâmina filtrada foi calculada com o uso da equação 2:

$$L = V/A \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

L = lâmina filtrada, cm ;

A = área transversal do filtro, cm^2 ; e

V = Volume filtrado, cm^3 .

No Quadro 2 estão apresentados os valores de massa específica das partículas (ρ_p) e global (ρ_g) e a porosidade (P) de cada material filtrante avaliado no tratamento da ARS.

Quadro 2: Caracterização física dos materiais orgânicos (bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira), após o acondicionamento nos filtros, utilizados no tratamento da ARS

Material filtrante	massa específica das partículas	massa específica global da coluna	porosidade P
	\mathbf{r}_p^*	\mathbf{r}_g	
	----- g cm^{-3} -----		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
bagaço de cana-de-açúcar	0,51	0,108	0,787
serragem de madeira	0,95	0,151	0,841

* BRANDÃO et al., (2000).

Para cada coluna de filtração, foram instalados dois piezômetros, conforme apresentado nas Figuras 6 e 7, a fim de se poder quantificar e monitorar, ao longo do tempo, a perda de carga no sistema. Esses piezômetros foram instalados nas transições entre as camadas filtrantes, que apesar de serem constituídas do mesmo material, apresentaram diferentes granulometrias, conforme abordagem feita anteriormente sobre a montagem do sistema filtrante.

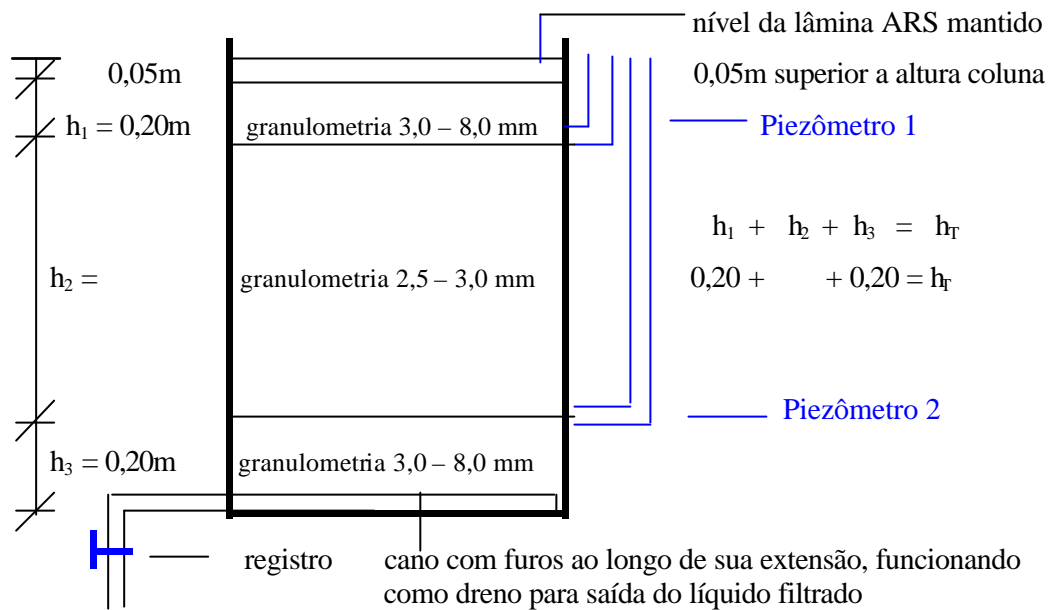


Figura 6: Esquema do sistema de filtração utilizando material orgânico

O monitoramento da perda de carga nos filtros orgânicos foi feito por meio de leituras em réguas graduadas, afixadas paralelamente aos piezômetros (Figura 7).



Figura 7: Determinação da perda de carga na coluna filtrante, obtida por meio de leitura da diferença de nível de líquido no piezômetro.

A ARS gerada nas instalações suinícolas da UFV, mantidas em um tanque de sedimentação (Figura 8), foram coletadas e bombeadas (Figura 9) até um tanque de estocagem, com capacidade para armazenamento correspondente a 5.000 L (Figura 10). Com uso de uma bomba, a água residuária foi conduzida até uma caixa de distribuição, com capacidade para 500 L (Figura 11), de onde foi distribuída, por gravidade, para os filtros em ensaio. A caixa de distribuição foi provida de válvulas, cuja função era controlar o fluxo de água residuária na entrada das colunas de filtração. Na saída de cada coluna de filtração foram, também, instaladas válvulas para controle do fluxo de saída de água residuária, e para coleta de amostras do efluente, com objetivo de avaliar a eficiência do filtro em remover ST e SS.

Mantendo-se fechadas as válvulas das bases das colunas, os filtros foram, simultaneamente, saturados com ARS até ser atingido o nível máximo de cada coluna, respectivamente 1,00; 1,30; 1,60; 1,90 e 2,20 m de altura. Após a saturação da coluna e formada uma coluna de 5,0 cm de águas residuárias sobre a superfície do filtro, as válvulas das colunas filtrantes foram abertas, simultaneamente, permitindo o movimento do líquido nos interstícios dos filtros. As colunas foram mantidas saturadas durante todo o período de filtração, na condição de filtro lento, procurando-se manter, com a operação das válvulas, a carga hidrostática de 5,0 cm sobre a superfície do filtro.

Durante a operação dos filtros, foi utilizado um cronômetro e uma bureta para a coleta de efluente, retirando-se três amostras (para determinação dos valores médios) em intervalos de 10 min, com o objetivo de determinar a taxa de filtração do líquido no filtro. No período de operação dos filtros, as águas residuárias armazenadas na caixa de distribuição foram, sistematicamente, revolvidas para que não houvesse sedimentação do material no fundo do recipiente.



Figura 8: Detalhe do tanque de coleta da ARS utilizada no experimento.



Figura 9: Detalhe do equipamento utilizado para bombear ARS para o reservatório de estocagem



Figura 10: Reservatório de estocagem usado para alimentar a caixa de distribuição de ARS para os filtros.



Figura 11: Detalhe do sistema de distribuição, por gravidade, de ARS para os filtros orgânicos.

Para caracterização das concentrações de SS e ST das águas residuárias dos afluentes, após mistura e homogeneização das mesmas, foram coletadas três amostras da caixa de distribuição. As amostras do efluente dos filtros foram coletadas a cada 10 minutos, possibilitando e à determinação da lâmina filtrada.

Nas amostras do afluente e dos efluentes de cada filtro foram determinadas as concentrações de sólidos em suspensão (SS) e totais (ST), segundo metodologia recomendada pela APHA (1995), no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Os dados de concentração de SS e ST do efluente (C) dos filtros foram divididos pela concentração média desses parâmetros no afluente (C_o), para se obter os valores da concentração relativa (C/C_o).

O período de operação dos filtros foi condicionado à observação dos valores de perda de carga nos filtros. Monitorando a perda de carga por meio de leituras feitas nos piezômetros, a operação dos filtros foi encerrada no momento em que o nível do piezômetro instalado ao final da camada filtrante se igualou ao nível de água residuária mantida sobre a coluna filtrante, porque a partir daí a filtração de ARS passou a ser demasiadamente lenta.

Uma vez suplantada a capacidade dos filtros em reter poluentes, os materiais utilizados como meio filtrante foram removidos das colunas e empilhados, formando leiras para compostagem, etapa do trabalho a ser discutida no segundo capítulo desta tese.

Os procedimentos estabelecidos visaram, também, a coleta de dados que permitiram o desenvolvimento de equações para a determinação de alguns parâmetros de projeto e operação de filtros orgânicos no tratamento da ARS. O volume de efluente coletado durante a condução dos ensaios foi convertido em lâmina filtrada, proporcionando, com isso, a construção de curvas relacionando as concentrações de SS, ST e a lâmina filtrada.

Para interpretação estatística dos dados, foram ajustadas equações de regressão utilizando-se o modelo LRP – Linear Response Plateau – com uso do software estatístico SAEG - Sistema de Análises Estatísticas (versão 8.0/2001), desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, possibilitando a estimativa do desempenho dos filtros na remoção de SS e ST das águas residuárias, em resposta ao tempo de operação dos filtros, para os diferentes substratos e altura das colunas filtrantes utilizadas no experimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da compressão aplicada nos materiais filtrantes, lâmina de ARS filtrada e eficiência do processo de filtração

No Quadro 3, a seguir, estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de compressão, enquanto na Figura 12, está apresentada a variação do volume da serragem de madeira e do bagaço de cana-de-açúcar sob diferentes compressões do material.

Quadro 3: Ensaio de carga e deformação em diferentes materiais (serragem de madeira e do bagaço de cana-de-açúcar)

Redução de volume	Redução da altura da coluna filtrante	Pressão exercida	
		Serragem de madeira	Bagaço de cana-de-açúcar
%	cm	----- kgf m ⁻² -----	
10	1,79	0,84	0,11
15	2,68	12,86	0,15
20	3,57	24,50	0,82
30	5,36	65,91	5,05
40	7,15	90,84	15,36
50	8,93	115,55	41,40

Altura da coluna filtrante utilizada no ensaio = 17,9 cm

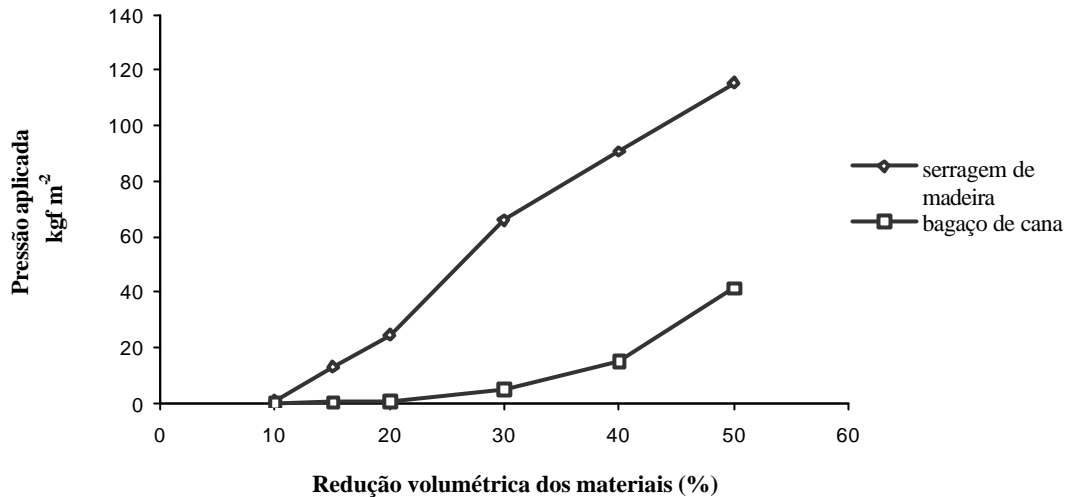


Figura 12: Variação volumétrica dos materiais orgânicos (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar) em função da carga aplicada sobre os filtros

A primeira observação que pode ser feita em relação à redução do volume do material em função da compressão aplicada é de que a coluna de serragem de madeira oferece maior resistência à redução do seu volume, quando comparada ao bagaço de cana-de-açúcar. Para redução de 15% no volume do material foi necessária à aplicação de pressões até 86 vezes maiores do que no bagaço de cana-de-açúcar.

Ambos os materiais apresentaram significativa redução de volume mesmo sob baixas compressões, em razão de haver muita acomodação do material acondicionado no corpo de prova. A partir da redução de 10% do volume, o comportamento dos materiais mostrou-se mais divergente, ou seja, o bagaço de cana-de-açúcar, por ser naturalmente mais poroso, continuou apresentando grandes reduções de volume quando submetido a pequenos aumentos na compressão.

Nos Quadros 4 e 5 estão apresentados os resultados de permeabilidade do material e eficiência dos filtros na remoção de SS.

Quadro 4: Taxa de filtração média de ARS e eficiência na remoção de SS em função da compressão aplicada na serragem de madeira

Redução do volume filtro	Taxa de filtração	Concentração SS no afluente	Concentração SS no efluente	Eficiência filtração
%	mm h⁻¹	-----g L⁻¹ -----		%
10	529,40	39,29	11,97	30,5
20	363,96	34,81	19,23	55,2
30	43,01	35,73	8,81	52,6
40	33,09	17,85	9,95	55,7
50	0	14,18	-	-

Quadro 5: Taxa de filtração média de ARS e eficiência na remoção de SS em função da compressão aplicada sobre o bagaço de cana-de-açúcar

Redução do volume filtro	Taxa de filtração	Concentração SS no afluente	Concentração SS no efluente	Eficiência filtração
%	mm h⁻¹	----- g L⁻¹ -----		%
10	2.481,54	33,67	10,43	31,0
15	860,27	33,65	11,54	34,3
20	529,40	31,22	11,74	37,6
30	330,87	32,99	12,72	38,5
40	132,35	29,69	12,22	41,2
50	0	29,32	-	-

Com base nos dados de permeabilidade e eficiência de remoção de SS apresentados nos Quadros 4 e 5 e Figura 12, pode-se determinar as faixas recomendáveis e os pontos ótimos de compressão de cada material para uso em filtros orgânicos.

Verifica-se que nas colunas filtrantes em que houve redução inferior a 50% no volume do material, os filtros de bagaço de cana-de-açúcar triturado apresentaram maior

permeabilidade que os de serragem de madeira, embora apresentassem, nessas condições, menor eficiência na remoção de SS da água residuária da suinocultura.

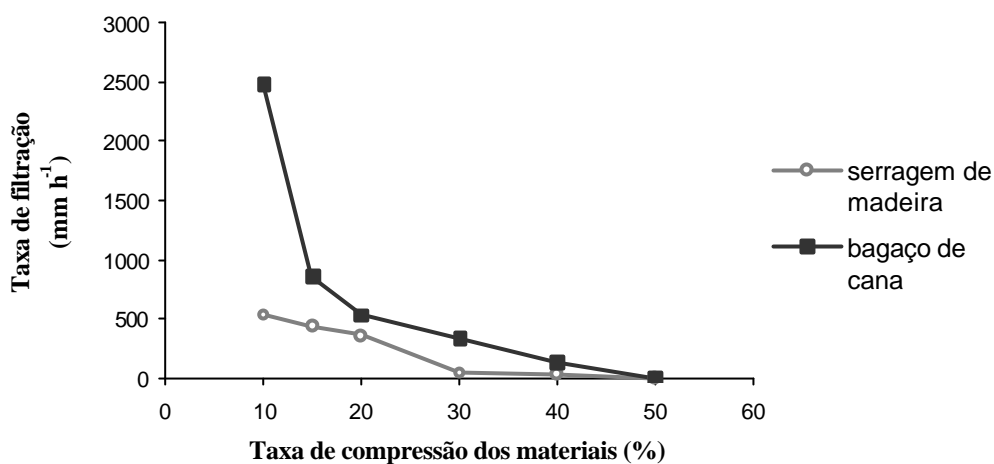


Figura 13: Taxa de filtração de ARS em função da compressão aplicada às colunas filtrantes de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar

De acordo com os dados obtidos, as reduções de volume indicadas para acondicionamento do bagaço de cana-de-açúcar e da serragem de madeira em colunas de filtração devem estar entre 10 e 20% para serragem de madeira, e de 10 a 30%, para bagaço de cana-de-açúcar. Valores superiores a 20% na redução do volume de serragem de madeira e superiores a 30% no de bagaço de cana-de-açúcar proporcionam forte redução na porosidade do material contido na coluna e, portanto, menor permeabilidade do filtro.

Embora tenham sido obtidas menores eficiências do sistema na filtração de ARS com reduções de até 10% do volume da serragem de madeira, a experiência acumulada por outros autores (LO MONACO, 2001) indica que há forte redução da permeabilidade do material à medida que o tempo de operação do filtro aumenta, notadamente quando a água residuária afluente ao filtro apresentar grande concentração de SS. Caso se execute uma redução muito acentuada no volume do filtro, a fim de conferir-lhe maior eficiência na remoção de SS, poder-se-á prejudicar seu tempo de operação, uma vez que a perda de carga deverá aumentar muito rapidamente.

Por outro lado, como os materiais orgânicos a serem usados como materiais filtrantes apresentam, em geral, baixas massas específicas, quando pouco compactados,

ficarão sujeitos à flutuação no líquido aplicado, o que pode comprometer todo o processo de filtração. Por essa razão, devem, necessariamente, ser compactados.

Em vista dos dados obtidos e do que foi discutido, considera-se que o material a ser acondicionado nos filtros deva ter seu volume reduzido em, no máximo, 10%, no caso da serragem de madeira e de 20%, no caso do bagaço de cana-de-açúcar, isso representa pressões máximas de $0,84 \text{ kgf m}^{-2}$ e $0,82 \text{ kgf m}^{-2}$, respectivamente.

3.2 Operação e avaliação dos filtros orgânicos

Além dos ensaios de compressão feitos nos materiais utilizados nos filtros, ensaios foram realizados com a construção de filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar, montados com diferentes alturas de colunas filtrantes.

Para a confecção das colunas de filtração experimentais usadas nesse ensaio, tal como já comentado no item Material e Métodos, optou-se por realizar uma compressão igual, de cerca $1,67 \text{ kgf cm}^{-2}$ ($163,5 \text{ kN m}^{-2}$), obtida com o pisoteio de um homem de 50 kgf de peso.

3.2.1 Perda de carga nos filtros

Nas Figuras 14 e 15, a seguir, estão apresentadas, respectivamente, as curvas de variação da perda de carga nos filtros de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, durante o período de filtração de ARS. Todas as leituras efetuadas nos piezômetros estão apresentadas no Apêndice (Quadros A23 e A24).

O tempo de operação dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar foi menor do que o proporcionado com o uso de filtros de serragem de madeira, devido o aumento de perda de carga ser mais rápido nos primeiros. Sob esse ponto de vista, o uso de filtros de serragem de madeira mostrou-se mais adequado, considerando-se o maior tempo de operação por ele proporcionado.

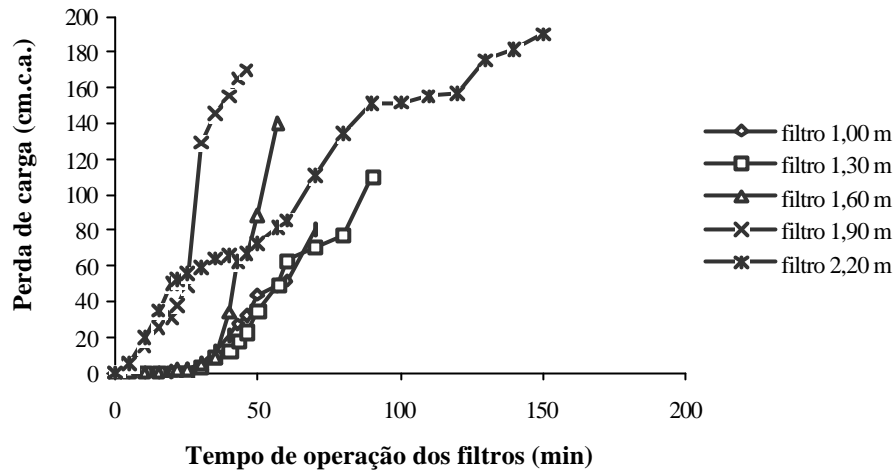


Figura 14: Perda de carga dos filtros de serragem de madeira em função do tempo de operação.

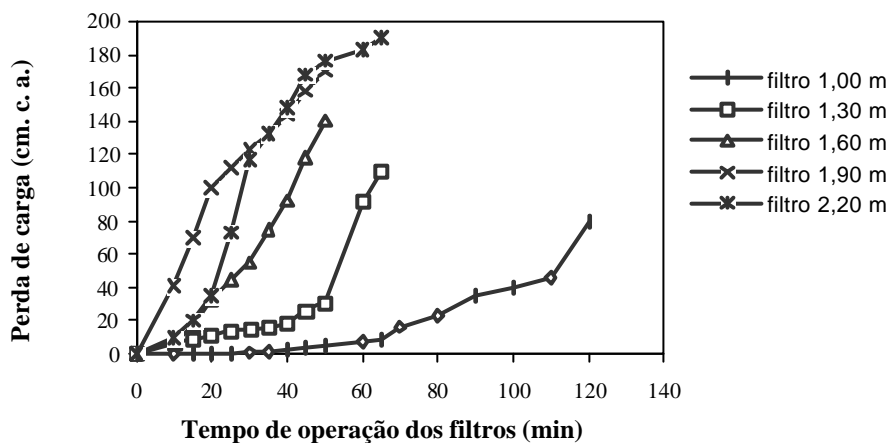


Figura 15: Perda de carga dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar em função do tempo de operação.

Pode se verificar, após análise das Figuras 14 e 15, que a perda de carga foi crescente nos filtros constituídos por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar. O aumento de perda de carga nos filtros deve-se tanto ao entupimento de poros como ao entumescimento do material filtrante, provocado pela absorção do líquido, o que pode ter ocasionado redução na porosidade do sistema.

A perda de carga aumentou mais rapidamente nos filtros de maior altura, tanto os de serragem de madeira como os de bagaço de cana-de-açúcar triturado. O maior percurso a que foi submetido o líquido percolante foi a razão da obtenção da maior perda de carga nesses filtros.

Filtros de serragem de madeira proporcionaram, em geral, maior tempo de operação de filtração do que os de bagaço de cana-de-açúcar triturado, o que pode estar associado à sua maior porosidade (Quadro 2) ou a forma como o material se assentou no filtro, após a aplicação da ARS.

3.2.2 Taxa de filtração

Nas Figuras 16 e 17 estão apresentadas, respectivamente, as curvas de variação da taxa de filtração nos filtros de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, durante o período operação com águas residuárias da suinocultura. Todas as leituras efetuadas nos piezômetros estão apresentadas no Apêndice (Quadros A 21 e A 22).

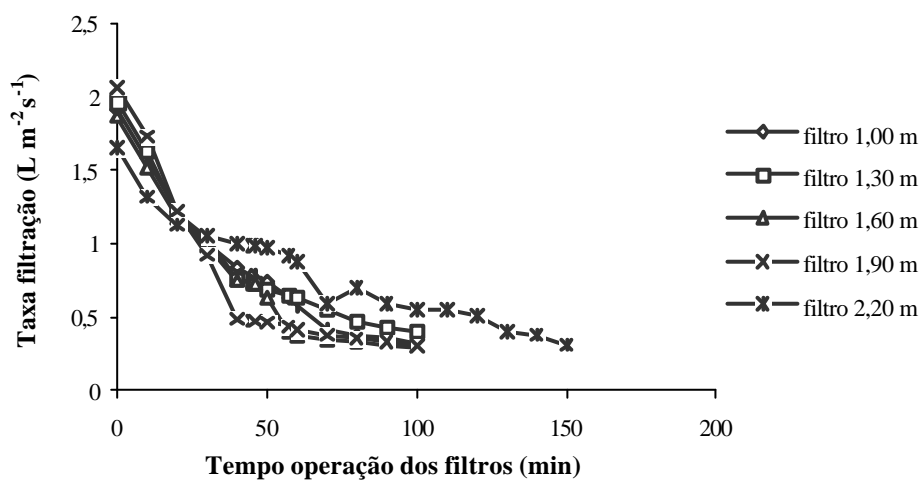


Figura 16: Variação da taxa de filtração de ARS em serragem de madeira durante o tempo de operação dos filtros

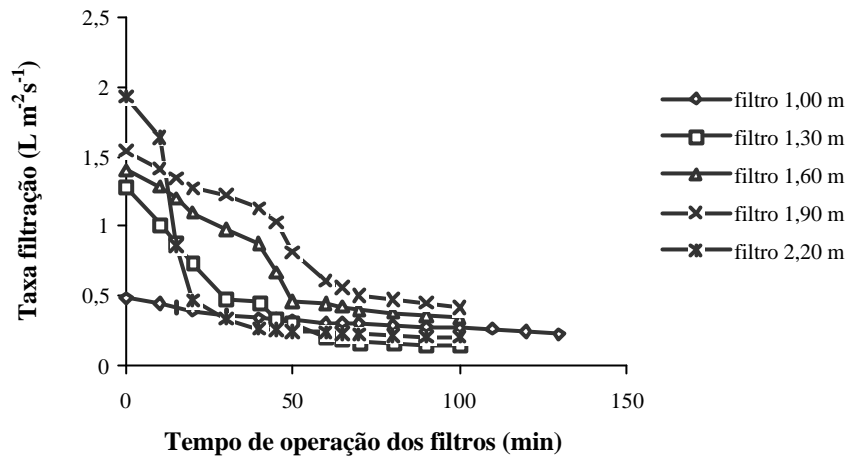


Figura 17: Variação da taxa de filtração de ARS em bagaço de cana-de-açúcar triturado durante o tempo de operação dos filtros

A taxa de filtração da ARS nos filtros diminui com o tempo de operação dos filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar, sendo o comportamento dos filtros desses materiais muito semelhantes.

No início, quando os poros dos materiais filtrantes estavam totalmente desobstruídos, a taxa de filtração era alta e, a perda de carga nos filtros baixa. Com o tempo de operação dos filtros, os poros foram sendo obstruídos pelos sólidos em suspensão da ARS e, com isso, a perda de carga foi aumentando e a taxa de filtração foi reduzindo.

Obteve-se, após 40 – 50 minutos de operação dos filtros, maior regularidade e estabilidade na taxa de filtração dos filtros de ambos materiais avaliados. O valor da taxa de filtração de ARS que pode ser considerada estável em filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar está compreendido entre $0,2$ e $0,7 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

3.2.3 Remoção de Sólidos em Suspensão (SS)

Os resultados de concentração de SS no afluente (C_0) e efluente (C) dos filtros de serragem de madeira estão apresentados nos Quadros A1, A2, A3, A4 e A5, enquanto para os filtros de bagaço de cana-de-açúcar nos Quadros A6, A7, A8, A9 e A10, apresentados no Apêndice. As concentrações relativas (C/C_0) encontradas no efluente dos filtros estão apresentadas nos Quadros 6 e 7, respectivamente para a serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar. Nas Figuras 18 e 19 os dados obtidos estão apresentados na forma de curvas de C/C_0 de SS como função do tempo de operação do filtro de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente.

Quadro 6: Concentração relativa (C/C_0) de SS no efluente das colunas filtrantes de serragem de madeira, em função do tempo de operação dos filtros

Tempo de operação (min)	Concentração relativa de SS no efluente das colunas filtrantes				
	filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0,3033	0,2965	0,3674	0,1637	0,2923
10	0,2695	0,1993	0,2469	0,1389	0,2130
20	0,2222	0,1527	0,2206	0,1205	0,1621
30	0,1870	0,1176	0,1892	0,0809	0,1136
40	0,1607	0,1102	0,1366	0,0763	0,1065
50	0,1381	0,0980	0,1214	0,0653	0,1053
60	0,1073	0,0972	0,1204	0,0101	0,0970
70	0,0976	0,0588	0,0728	0,0094	0,0970
80	0,0825	0,0424	0,0597	0,0080	0,0698
90	0,0750	0,0351	0,0526	0,0076	0,0923
100	0,0548	0,0253	0,0435	0,0065	0,0875

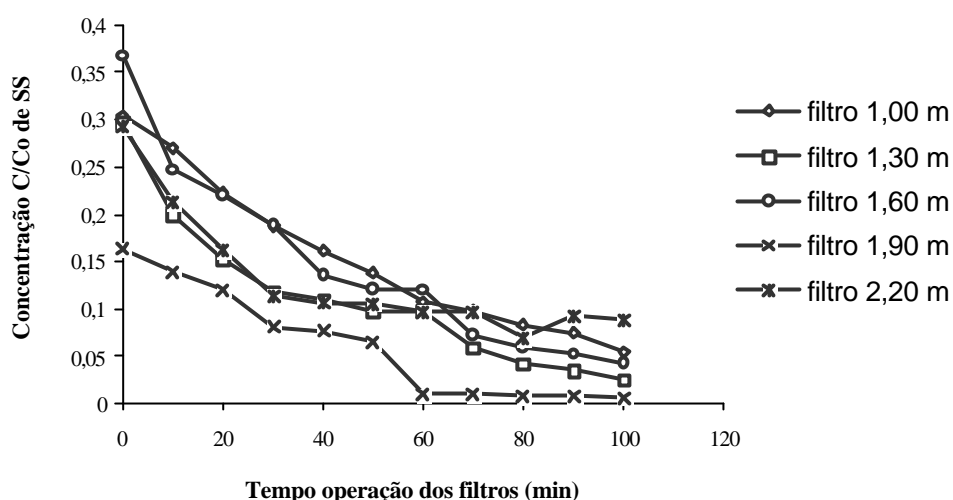


Figura 18: Concentração relativa (C/C_0) de SS em função do tempo de operação dos filtros de serragem de madeira

Conforme apresentado no Quadro 6, a concentração relativa de SS no efluente das colunas filtrantes de serragem de madeira diminui com o tempo de operação dos filtros, isto é, com a redução da porosidade dos filtros, uma vez que SS das ARS ficaram retidos no material do filtro.

A eficiência média de remoção de SS de ARS nos filtros de serragem de madeira ficou entre 90 a 99 % da concentração relativa no efluente.

Quadro 7: Concentrações relativas de SS no efluente das colunas filtrantes de bagaço de cana-de-açúcar triturado, em função do tempo de operação dos filtros

Tempo de operação (min)	Concentrações relativas de SS no efluente das colunas filtrantes				
	filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0,3961	0,3897	0,2707	0,1788	0,3980
10	0,3765	0,3221	0,1581	0,0551	0,3886
20	0,3041	0,2017	0,0968	0,0654	0,2550
30	0,2980	0,1687	0,0909	0,0478	0,1813
40	0,2480	0,1481	0,0750	0,0422	0,0784
50	0,1462	0,1427	0,0711	0,0422	0,0441
60	0,0934	0,1234	0,0592	0,0391	0,0418

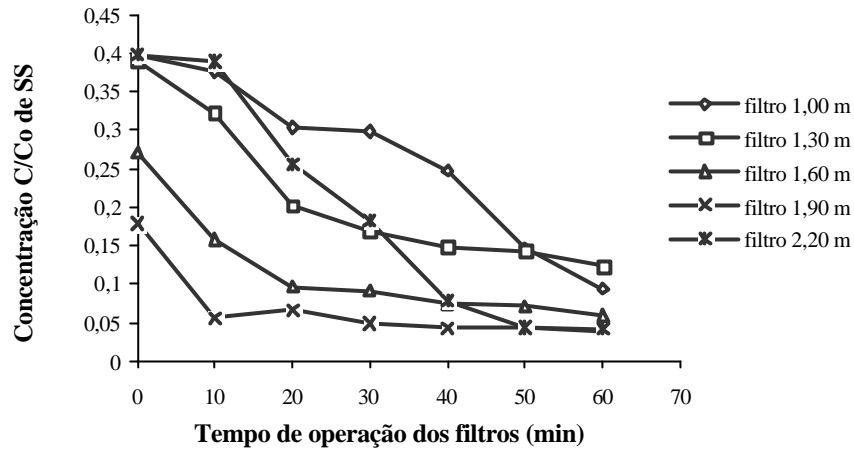


Figura 19: Concentração relativa de SS em função do tempo de operação dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar

A eficiência de remoção de SS da ARS nos filtros de bagaço de cana-de-açúcar triturado ficou entre 81 a 96 % da concentração relativa no efluente.

Comparativamente, verificou-se maior eficiência na remoção de SS em filtros de serragem de madeira do que nos de bagaço de cana-de-açúcar triturado. A maior porosidade dos filtros de serragem de madeira (Quadro 2) pode ser fator de maior importância para a obtenção desses resultados.

Comparando-se as eficiências obtidas na remoção SS nos filtros experimentais e as obtidas nos corpos de prova (Quadros 4 e 5) pode-se verificar que melhores resultados foram obtidos com o uso dos filtros experimentais, mesmo sob as mais altas taxas de compressão do material filtrante. Atribui-se esses resultados ao fato de apresentar a coluna filtrante no corpo de prova apenas 17,9 cm de altura, condição que proporcionou menor volume poroso capaz de reter material em suspensão na ARS.

3.2.4 Remoção de Sólidos Totais (ST)

Os resultados de concentração de ST no afluente (C_0) e efluente (C) estão apresentados no Apêndice, tanto para os filtros de serragem de madeira (Quadros A11, A12, A13, A14 e A15), como para os filtros de bagaço de cana-de-açúcar (Quadros A16, A17, A18, A19 E A20), enquanto as concentrações relativas (C/C_0) estão apresentadas nos Quadros 8 e 9.

Quadro 8: Concentrações relativas (C/C_0) de ST no efluente das colunas filtrantes de serragem de madeira, em função do tempo de operação dos filtros

Tempo de operação (min)	Concentrações relativas de ST no efluente das colunas filtrantes				
	filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0,8636	0,8521	0,8768	0,8042	0,8375
10	0,8489	0,8501	0,8306	0,7855	0,8307
20	0,8442	0,8432	0,8217	0,7531	0,8213
30	0,7821	0,7593	0,7857	0,7201	0,7410
40	0,6109	0,5509	0,5537	0,6558	0,4969
50	0,5775	0,5089	0,5755	0,6110	0,4969
60	0,5648	0,4711	0,5612	0,5792	0,4888
70	0,5548	0,4264	0,6095	0,5586	0,4340
80	0,5481	0,4209	0,5591	0,5124	0,4349
90	0,5421	0,4037	0,5687	0,5212	0,4342
100	0,5374	0,3858	0,5870	0,4620	0,4228

Na Figura 20 estão apresentados os dados obtidos na forma de curvas de C/C_0 de ST como função do tempo de operação do filtro de serragem de madeira.

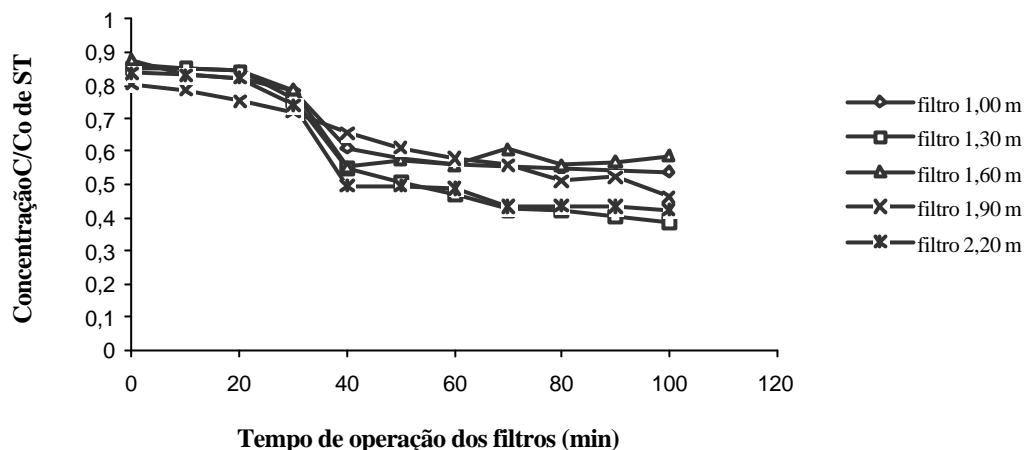


Figura 20: Concentração relativa C/C_0 de ST dos efluentes, em função do tempo de operação dos filtros de serragem de madeira

A eficiência de remoção de ST da ARS nos filtros de serragem de madeira, após 60 minutos de operação, ficou entre 43 a 57 % da concentração relativa no efluente.

Quadro 9: Concentrações relativas (C/C_0) de ST no efluente das colunas filtrantes de bagaço de cana-de-açúcar, em função do tempo de operação dos filtros

Tempo de operação (min)	Concentração relativa de ST no efluente das colunas filtrantes				
	filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0,6245	0,5244	0,8768	0,5914	0,7557
10	0,577	0,5156	0,8306	0,5979	0,7378
20	0,4787	0,518	0,7217	0,4994	0,6975
30	0,4953	0,499	0,6857	0,4811	0,5218
40	0,5277	0,4949	0,4737	0,4502	0,5119
50	0,4919	0,4853	0,4555	0,4437	0,5063
60	0,4866	0,4820	0,4509	0,4383	0,5065

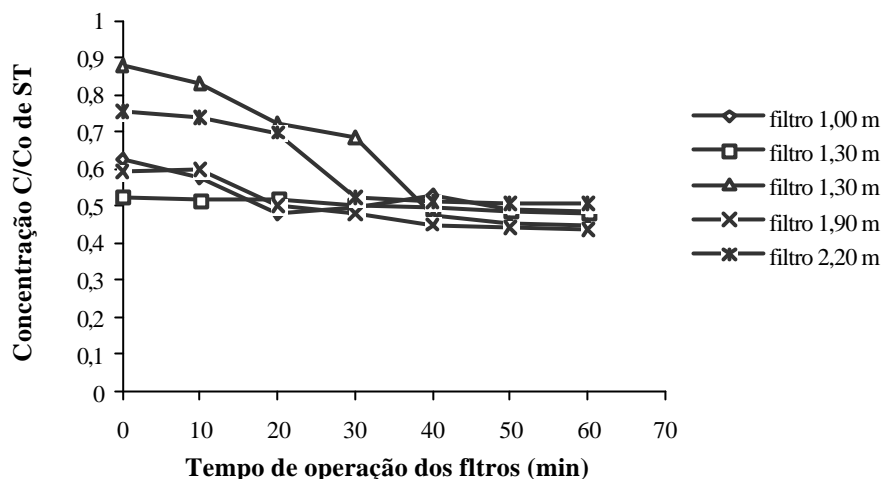


Figura 21: Concentração relativa (C/C_0) de ST dos efluentes, de acordo com o tempo de operação dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar

A eficiência de remoção de ST de ARS, nos filtros de bagaço de cana-de-açúcar, após 30 minutos de operação ficou entre 31 a 56 % da concentração relativa no efluente.

As elevadas concentrações de ST na ARS, verificadas quando da operação dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar (Quadros A16 a A20) podem ter sido a razão para a obtenção de altas relações C/C_0 de ST no efluente desses filtros, divergindo do padrão normal apresentado nos outros filtros. A solubilização de açúcares, de outras substâncias e, principalmente, potássio do bagaço da cana-de-açúcar pode, também, ter contribuído para esses resultados.

Os valores de eficiência de remoção de ST obtidos podem ser considerados altos, tendo em vista que a separação física não é eficiente na remoção de sólidos dissolvidos. Parte dos sólidos dissolvidos pode ter sido retidos, por capilaridade, na massa do material filtrante, no fenômeno de absorção. Outra parte dos sólidos dissolvidos (íons) pode ter sido retida por adsorção, por forças eletrostáticas, junto às partículas dos materiais filtrantes, conforme observou BRANDÃO et al. (2000).

Nos Quadros 10 e 11 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas para concentração relativa (C/C_0) de SS e ST como variável dependente do tempo de operação dos filtros, respectivamente para a serragem de madeira e para o bagaço de cana-de-açúcar.

Quadro 10: Equações de regressão ajustadas para concentração relativa (C/C_0) de SS e ST como variáveis dependentes do tempo de operação dos filtros de serragem de madeira

Filtro	Equação	Tempo para máxima eficiência ⁽¹⁾ (min)	Relação C/C_0 ⁽²⁾	Tempo de operação do filtro ⁽³⁾ (min)
variável SS				
1,00 m	$Y^{(4)} = 0,291108 - 0,003011 X$	73,1714	0,0708	70,00
1,30 m	$Y = 0,239033 - 0,002792 X$	73,3211	0,0343	90,00
1,60 m	$Y = 0,315643 - 0,003842 X$	57,2658	0,0571	57,00
1,90 m	$Y = 0,158986 - 0,002055 X$	73,3014	0,0083	46,00
2,20 m	$Y = 0,283300 - 0,005870 X$	32,3120	0,0936	150,00
variável ST				
1,00 m	$Y^{(5)} = 0,904380 - 0,005722 X$	61,2134	0,5541	70,00
1,30 m	$Y = 0,917696 - 0,007563 X$	57,2328	0,4992	90,00
1,60 m	$Y = 0,911920 - 0,005911 X$	48,4856	0,5768	57,00
1,90 m	$Y = 0,810984 - 0,003574 X$	97,6186	0,4620	46,00
2,20 m	$Y = 0,891658 - 0,007278 X$	63,2226	0,4315	150,00

(1) tempo em que o filtro alcança a máxima eficiência de filtração

(2) relação C/C_0 mínima, ou seja, máxima eficiência de filtração da coluna filtrante

(3) tempo gasto com alimentação do filtro com ARS até a perda de carga máxima

$Y^{(4)}$ = concentrações relativas estimadas de SS

$Y^{(5)}$ concentrações relativas estimadas de ST

X = tempo de operação do filtro

Quadro 11: Equações de regressão ajustadas para concentração relativa (C/C_0) de SS e ST como variáveis dependentes do tempo de operação dos filtros de bagaço de cana

Filtro	Equação	Tempo para máxima eficiência ⁽¹⁾ (min)	Relação C/C_0 ⁽²⁾	Tempo de operação do filtro ⁽³⁾ (min)
variável SS				
1,00 m	$Y^{(3)} = 0,404900 - 0,004600 X$	45,3261	0,1964	120,00
1,30 m	$Y = 0,398500 - 0,009400 X$	26,8910	0,1457	65,00
1,60 m	$Y = 0,270700 - 0,001130 X$	17,0604	0,0786	50,00
1,90 m	$Y = 0,178800 - 0,001240 X$	10,5273	0,0473	50,00
2,20 m	$Y = 0,429560 - 0,008455 X$	45,6716	0,0430	65,00
variável ST				
1,00 m	$Y^{(4)} = 0,624500 - 0,004800 X$	27,0442	0,4960	120,00
1,30 m	$Y = 0,525957 - 0,000790 X$	55,6219	0,4820	65,00
1,60 m	$Y = 0,907920 - 0,009511 X$	47,8099	0,4532	50,00
1,90 m	$Y = 0,606860 - 0,004294 X$	37,9118	0,4441	50,00
2,20 m	$Y = 0,789500 - 0,007420 X$	37,9066	0,5082	65,00

(1) tempo em que o filtro alcança a máxima eficiência de filtração

(2) relação C/C_0 mínima, ou seja, máxima eficiência de filtração da coluna filtrante

(3) tempo gasto com alimentação do filtro com ARS até a perda de carga máxima

$Y^{(4)}$ = concentrações relativas estimadas de SS

$Y^{(5)}$ concentrações relativas estimadas de ST

X = tempo de operação do filtro

De acordo com os resultados obtidos com o uso de filtros de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar (Quadros 10 e 11), verificou-se alta eficiência do sistema proposto para o tratamento primário das ARS, permitindo que o efluente do processo possa ser usado em fertirrigação, sem maiores riscos de entupimento dos gotejadores, uma vez que as concentrações de SS estão bem abaixo dos níveis de 50 mg L^{-1} (conferir nos Quadros A1 até A10), sugerido por LEON e CAVALLINI (1999) como concentração máxima de SS para que não haja obstrução dos emissores.

Conforme citado na revisão bibliográfica, há dados variados em relação à quantidade de água gasta na atividade suinícola, quer seja para dessedentação dos animais, quer seja na higienização das baias.

Nas condições em que o experimento foi conduzido, o volume de ARS filtrada nos filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar triturado, variou entre 3.600 a 5.500 L filtro⁻¹, até que ocorresse obstrução total dos poros e, portanto, perda de carga da coluna filtrante, o que corresponde à capacidade de filtração de água residuária gerada por lotes de 180 a 275 suínos, admitindo-se que o gasto médio de água para higienização das baias de 20 L suíno⁻¹ dia⁻¹.

Para dimensionamento de um sistema de filtração, considerando a taxa de filtração média como sendo equivalente a 0,5 m² s⁻¹ ou 43.200 L m² d⁻¹, obtida após estabilização da taxa de filtração, conforme pode-se observar nas Figuras 16 e 17 e admitindo-se a geração 20 L suíno⁻¹ dia⁻¹ de ARS, pode-se estimar que, operando o filtro por cerca de 2 h é possível promover o tratamento de ARS gerado por 180 animais em cada metro quadrado de área superficial de filtro.

Para que se possa fazer o sistema de filtração operar por maiores períodos de tempo e, com isso, possibilitar o tratamento de maior volume de ARS, pode-se instalar outros filtros para operação em paralelo, mas não simultaneamente, dessa forma, assim que a perda de carga máxima em um filtro for alcançada, a água residuária passaria a ser direcionada a outro filtro e, assim sucessivamente, possibilitando nessa ocasião a troca de material filtrante.

Entretanto, para facilitar a operação e manejo dos filtros, é de fundamental importância que seja contemplado no projeto de uma planta de suinocultura, a construção de um tanque de sedimentação para armazenamento da água residuária gerado diariamente, uma vez que possibilita o uso de filtros múltiplos em um único turno de trabalho, correspondente a 8 h.

Para se efetuar o dimensionamento dos filtros é importante considerar variáveis tais como: tamanho do plantel; da idade dos animais e tipo manejo utilizado na unidade produtiva. Essas variáveis são determinantes no consumo de água e, portanto na geração de resíduos líquidos.

Quando possível, sugere-se a construção dos filtros em anexo ao tanque de sedimentação, para racionalizar custos com a adução da água residuária.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos, foram utilizados resíduos orgânicos (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar) como materiais filtrantes para águas residuárias da suinocultura (ARS). Para isto foi montado um experimento na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa.

Os resíduos orgânicos utilizados para o preenchimento das colunas filtrantes da ARS foram previamente triturados e peneirados, de forma a se obter duas faixas granulométricas: 5,0 - 8,0 mm e 2,5 - 3,0 mm.

Realizaram-se ensaios físicos nos materiais filtrantes para quantificar a variação do volume sob diferentes cargas de compressão. Os corpos de prova foram posteriormente avaliados no que se refere à eficiência de remoção de SS e taxa de filtração de ARS.

Para avaliação da operação dos filtros orgânicos foram constituídas 5 colunas de filtração em tonéis metálicos (0,58 m de diâmetro), e altura com 1,00; 1,30; 1,60; 1,90 e 2,20 m de altura. O material filtrante foi acondicionado nas colunas em camadas de 0,3 em 0,3 m, sofrendo compressão igual, de cerca $1,67 \text{ kgf cm}^{-2}$ ($163,5 \text{ kN m}^{-2}$).

Na extremidade inferior dos tonéis, foi feito um furo para adaptação, na parte externa, de registro, por onde foi coletado o efluente filtrado.

Os dados obtidos de SS e ST dos efluentes, em função da lâmina filtrada, foram submetidos a análises de regressão, para obtenção de equações matemáticas que possibilitassem a estimativa da concentração relativa do efluente dos filtros como

função do tempo de operação dos filtros. Com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

- Ao fazer uso de serragem de madeira e/ou do bagaço de cana-de-açúcar triturado como materiais filtrantes, a redução de volume não deve ser superior a 10 – 20% e 10 – 30%, respectivamente, uma vez que valores superiores aos citados provocam grande redução na porosidade e, por consequência, na permeabilidade desses materiais;
- A eficiência de retenção de sólidos em suspensão pelo material filtrante aumentou com o tempo de uso, o que foi ocasionado pela obstrução gradativa dos poros proporcionada pela percolação de ARS pelas colunas filtrantes;
- Apesar dos resíduos orgânicos avaliados apresentarem comportamento semelhantes quanto à capacidade de remover sólidos em suspensão e sólidos totais da ARS, de um modo geral, os filtros de serragem de madeira mostraram-se mais eficientes na remoção de sólidos em suspensão e os filtros de bagaço de cana-de-açúcar foram ligeiramente superiores quanto à remoção de sólidos totais. Os filtros de serragem de madeira alcançaram taxas de remoção de 90 a 99% de sólidos em suspensão e de 43 a 57 % para sólidos totais e os filtros de bagaço de cana-de-açúcar de 81 a 96 % para sólidos em suspensão e de 50 a 56 % para sólidos totais;
- Os filtros utilizando materiais orgânicos como serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar permitiram o tratamento primário de água residuária de suinocultura, na medida em que retiveram parte dos sólidos em suspensão e dos sólidos dissolvidos dessa água, possibilitando a obtenção de um efluente com qualidade compatível para o uso em fertirrigação. A concentração de sólidos em suspensão nos efluentes dos filtros ficou abaixo do valor de 50 mg.L^{-1} , considerado máximo para se ter bom funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento.
- Considerando-se a obstrução gradativa dos poros, para as condições em que foi conduzido o experimento, os filtros montados com materiais orgânicos para efetuar

a filtragem de águas residuárias de suinocultura, operaram entre 60 a 100 minutos, período que correspondente ao tempo médio de utilização.

- Para a atividade suinícola em regiões com topografias acidentadas e que apresentam restrições para a implantação de lagoas para a disposição e tratamento das águas residuárias, ou mesmo em propriedades com áreas limitadas, o uso dos filtros orgânicos constitui-se em alternativa factível para a gestão das águas residuárias, considerando a eficiência em remover sólidos totais e em suspensão, possibilitando o uso dessas águas em projetos de fertirrigação, sem riscos de entupimento dos equipamentos, ou mesmo, constituir-se numa etapa prévia de tratamento das águas residuárias, para posterior disposição em lagoas, que nesta situação necessitará de menores áreas para as suas implantações.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADACHI, S., FUCHU, Y. Reclamation and use of wastewater by biological aerated filter process. **Water Science Technology**, v. 24, n 9, p. 195-204, 1991.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: APHA, WWA, WPCR, 19a. ed., 1995.
- AVNIMELECH, Y. **Organic residues in modern agriculture**. In: CHEN, Y., AVNIMELECH, Y. (Ed.) *The role of organic matter in modern agriculture*. Netherlands: Martinus Nijhoff, p. 1-9, 1988.
- BEAVER, T. **Pilot study of coal ash compost**. *Compost Science & Utilization*, 2(3):18-21. 1994.
- 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.
- BRANDÃO, V. S.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M. A & FONTES, M. P. P. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 4, n. 3, p. 327-333, 2000.

- BRITO, L. M. C. M. Taxa de mineralização da matéria orgânica nos resíduos sólidos urbanos: efeitos agronômicos e ambientais. In: SEMINÁRIO – PRODUÇÃO DE CORRETIVOS ORGÂNICOS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: SUA IMPORTÂNCIA PARA A AGRICULTURA NACIONAL E AMBIENTE, 1, 1997, Matosinhos. [Anais...]. Porto: Lipor. Paginação irregular, 1997.
- CHATEAUBRIAND, A. D. **Efeito de dejetos de suínos, aplicados em irrigação para sulco, na cultura de milho (Zea mays L.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 61p. 1988.
- CHECK, G. G., WALLER, D. H., LEE, S. A., PASK, D. A. MOORES, J. D. Lateral-flow sand filter system for septic-tank effluent treatment. **Water Environmental Research**, v. 66, n. 7, p. 919-928, 1994.
- CONRAD, J. H., MAYROSE, V. B. Animal waste handling and disposal in confinement production of swine. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 32, n. 4, p. 811 –815, 1971.
- ELLIS, K. V. Slow sand filtration as a technique for the tertiary treatment of municipal sewage. **Journal Water Research**, v. 21, p. 403-410, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS – EMBRAPA/CNPS. **Manual de método de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ: EMBRAPA, 212 p. 1997.
- FEBRER, M. C. A, **Aproveitamento agrícola de material orgânico utilizado como filtro no tratamento de águas residuárias da suinocultura**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 130p. 2000.
- GOLD, A. J., LAMB, B. E., LOOMIS, G. W., BOYD, J. R., CABELLI, V. J., MCKIEL, C. G. Wastewater renovation in buried and recirculation sand filter. **Journal Environmental Quality**, v. 21, p. 720-725, 1992

- GREBUS, M. E.; WATSON, M. E.; HOITINK, H. A. J. **Biological, chemical and physical properties of composted yard trimmings as indicators of maturity and plant disease suppression**. *Compost Science & Utilization*, v. 2, n. 2, p 57-71, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**, Rio de Janeiro – RJ: IBGE, 1998.
- JOWETT, E. C., Mc MASTER, M. L. On-site wastewater treatment using unsaturated absorbent biofilters. **Journal Environmental Quality**, v. 24, p. 86-95, 1995.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 492p. 1985.
- KOZEN, E. S., PEREIRA FILHO, I. A., BAHIA FILHO, A. F. C., PEREIRA, F. A. **Manejo de esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA - CNPMS, 31p. (Circular Técnica, 25). 1997.
- LEON, S. G., CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**; tradução de: *Treatment and use of wastewater*. Campina Grande, UFPB, 110p. 1999.
- LIMA, L. M. Q. **Tratamento de lixo**. São Paulo: Hemus, 240p. 1991.
- LOEHR, R. C. **Pollution control for agriculture**. New York: Academic Press, 1984. 467p.
- LO MONACO, P. A. **Influência da granulometria do Material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias**. Viçosa – MG: UFV, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- LOURES, E. G. Manejo de dejetos suínos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, Poços de Caldas – MG. **Separata**. 1998.

- MAYNARD, A. A. **Sustained vegetable production for three years using composted animal manures**. *Compost Science & Utilization*, v. 2, n. 1, p 88-96, 1994.
- MATOS, A.T., SEDIYAMA, M. A. N. Riscos Potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquido de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: I SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova – MG. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG/CRZM, p. 45-54, 1995.
- MATOS, A.T., SEDIYAMA, M. A.; FREITAS, S. P. VIDIGAL, S. M., GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido de suínos. **Revista Ceres**, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.
- MATOS, A.T., VIDIGAL, S. M., SEDIYAMA, M. A., GARCIA, N. C. P. C., RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.
- METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering Treatment Disposal, Reuse**. McGraw Hill, 3rd ed. 1991. P433-434.
- NIELSEN, J. N, LYNGGAARD - JENSEN, A., HASLING, A. Purification efficiency of Danish biological sand filter systems. **Water Science Technology**, v. 28, n. 10, p. 89-97, 1993.
- OLESZKIEWICZ, J. A., KOZIARSKI, S. **Management and treatment of wastes from large piggers**. *Agric. Wastes*, v. 3, n. 2, p. 123-144, 1981.
- PAVONI, J. L., HEER, J. E., HAGERKG, J. D. **Handbook of solid waste disposal: materials and energy recovery**. New York: Van Nostrand Reinhold, 549 p. 1975.

- PERDOMO, C. C. Uso racional da água no manejo de água de suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUINOCULTURA, 1, 1995, Ponte Nova – MG. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG/CRZM, p. 08-23, 1995.
- 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, p. 20. 1973.
- S.A.S. STATISTIC ANALYSIS SYSTEM. **Users's Guide Version 6**. 4. ed., volume 1. SAS Institute Inc., Carry, NC, USA, 890 p. 1990.
- 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, v.8, nº 2, p.40 - 43, 1995.
- SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., VIDIGAL, S. M., MATOS, A. T., RIBEIRO, M. F. Utilização de dejetos líquidos de suínos na produção de compostos orgânicos In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova – MG. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG/CRZM, p. 24-34. 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, 18 p. 1973.
- STEEL, E. W., MCGHEE, T., **Water supply and sewerage**. 5.ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 665 p. 1979.
- STENTIFORD, E. I.; MARA, D. D.; TAYLOR, P. L. Forced aeration composting of domestic refuse and sewage sludge. **Journal of Water Pollution Control Federation**, [S. l], v.84, n.1, p. 23-32, 1985.

TAIGANIDES, Bioengineering properties of feedlot waste. In: ANIMAL WASTES. Essex, England Applied Science, p. 131 – 153. 1977.

von SPERLING, M.; NASCIMENTO, L. V. A. A resolução do CONAMA 20/86 e as legislações estaduais de classificação das águas e lançamento de efluentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** ABES, 1999, p. 2413 - 2419. 1999.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DOS MATERIAIS RETIRADOS DOS FILTROS E DA QUALIDADE DO COMPOSTO PRODUZIDO

1. INTRODUÇÃO

Encerrado o tratamento primário da ARS, mediante filtração, é de fundamental importância que seja feito o tratamento dos resíduos sólidos, gerados com o descarte dos filtros, já que eles, após perderem a sua capacidade filtrante, devem ser removidos das colunas e tratados, pelo processo de compostagem.

Dessa forma, os materiais orgânicos descartados dos filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar, foram conduzidos a um pátio pavimentado e coberto, localizado no interior da instalação do antigo Estábulo da UFV, dispostos em 10 pilhas individuais (5 pilhas de serragem de madeira e 5 pilhas de bagaço de cana-de-açúcar triturado).

Para a compostagem dos materiais (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar) foi adotado o processo Windrow, considerado simples e eficiente na estabilização da matéria orgânica.

Diante do exposto, os objetivos nessa etapa do trabalho foram:

- Avaliar e monitorar o processo de compostagem dos materiais orgânicos retirados dos filtros, com base nos seguintes parâmetros:
 1. Temperatura - efetuar controle de temperatura da massa de compostagem, mediante leituras diárias;
 2. Umidade - controle de umidade da massa de compostagem para evitar produção de lixiviados (chorume), mediante coleta de amostras para análise laboratorial;
 3. Coloração - observações gerais (acompanhamento visual) de mudanças na coloração do material ocorrido durante a compostagem, como indicativo da etapa ou estágio em que se encontra o processo;

4. Odor –efetuar ciclo de reviramento do composto para oxigenar o material orgânico e evitar a formação de odores;
 5. Efetuar inspeções diárias para observar a presença de insetos na massa de compostagem.
- Avaliar a qualidade do composto orgânico produzido, com base nos seguintes parâmetros:
 1. Avaliação da relação carbono/nitrogênio (C/N) no início e no final do processo de compostagem;
 2. Análise bacteriológica: avaliação da contaminação microbiológica dos *Streptococcus* fecais e Coliformes fecais, dos materiais orgânicos no início e no final do processo de compostagem;
 6. Avaliação dos teores de matéria orgânica (MO), cinzas e Carbono total;
 7. Avaliação da massa específica do composto;
 8. Avaliação do pH
 9. Análise química de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg;
 10. Análise química de micronutrientes: Fe, Zn, Mn, Cu;
 11. Análise química de metais pesados: Cd, Cr, Pb, Ni.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Os dejetos suínos, até a década de 70, não constituíam maiores problemas para os criadores, pois a concentração de animais nas propriedades era pequena. A intensificação da produção e o sistema de confinamento trouxeram, como consequência, o aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área. Para dar fim aos resíduos acumulados, os produtores passaram a lançá-los nos cursos d'água, sem tratamento prévio, poluindo mananciais de água, além de colocarem em risco a saúde animal e humana (PERDOMO, 1996).

Quando o esterco líquido é aplicado em grandes quantidades no solo ou armazenado em lagoas sem revestimento impermeabilizante durante vários anos, poderá ocorrer sobrecarga da capacidade de filtração do solo e retenção dos nutrientes do esterco. Quando isto acontece, alguns destes nutrientes podem atingir águas subterrâneas ou superficiais acarretando problemas de contaminação (OLIVEIRA, 1993).

Os dejetos animais, independentemente de suas qualidades e dos benefícios que podem trazer, estão sendo considerados substâncias indesejáveis e de difícil manejo (SUTTON, 1994).

Diante das dificuldades com questões relacionadas aos dejetos de animais, tem-se verificado crescente preocupação da sociedade, plenamente justificada ante a degradação dos recursos naturais do planeta, forçando os governantes a tomar atitudes disciplinadoras e fiscalizadoras para o exercício de atividades potencialmente poluidoras. Assim, nos últimos 15 anos, muita atenção passou a ser dada ao desenvolvimento tecnológico com vistas à disposição dos resíduos gerados por animais,

bem como pelas indústrias, de forma a causar o mínimo impacto sobre o meio ambiente (MATOS et al., 1997).

A utilização dos dejetos, na alimentação animal, na adubação e na produção de energia – biogás; bem como os tratamentos dos resíduos são as formas mais comumente empregadas para solucionar o problema de destinação dos resíduos gerados pelas atividades suinícolas (LOURES, 1998).

Neste aspecto, dentre as alternativas para a utilização desses resíduos, a compostagem apresenta-se como método seguro de tratamento de dejetos, com potencial para contribuir nas resoluções dos problemas de destinação dos dejetos gerados pelas atividades suinícolas.

Os materiais orgânicos utilizados como materiais filtrantes de águas residuárias de suinocultura, quando retirados dos filtros, constituem lotes de materiais que, quando decompostos aerobicamente, podem produzir, no final do período de estabilização, adubo orgânico, que se acredita ser de elevado valor fertilizante, para aproveitamento agrícola. Dessa forma, o maior custo operacional do sistema, decorrente da necessidade de substituição dos filtros periodicamente, pode ser compensado pela produção de adubos orgânicos (FEBRER, 2000).

O material orgânico pode ser decomposto aeróbica ou anaerobicamente. Nos processos aeróbicos, o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, ocasionando elevações de temperatura do material em decomposição, principalmente no início do processo, quando há aumento populacional. Nessa ocasião, há liberação de gases, predominantemente do gás carbônico. Nos anaeróbicos, a população microbiana é muito diferenciada e a temperatura pouco se eleva, embora o seu aumento acelere a decomposição; o meio é redutor, e os gases predominantemente emanados são o metano, o sulfídrico e os ácidos graxos voláteis e mercaptanos de cheiro desagradável. Esse processo de decomposição do material orgânico exige menor cuidado, porém a estabilização é mais demorada (KIEHL, 1985; HARADA et al., 1993).

A decomposição aeróbica de resíduos orgânicos e de resíduos sólidos municipais por compostagem tem sido prática comumente empregada para reciclar matéria orgânica e retorná-lo ao solo, proporcionando, com isso, a sua manutenção e até o aumento de sua fertilidade (MAYNARD, 1994).

O crescimento do interesse pela compostagem surgiu, recentemente, devido à necessidade de tecnologias de baixo custo para o tratamento de resíduos orgânicos. Trata-se de um processo biológico, aeróbico, no qual são utilizados microrganismos de

ocorrência natural para converter matéria orgânica biodegradável em material humificado. Nesse processo, agentes patogênicos são eliminados, há a conversão de N da forma instável para algumas formas orgânicas estáveis, além de redução do volume e melhoria nas características físicas e físico-químicas dos resíduos. Essa conversão da matéria orgânica torna o resíduo animal mais facilmente manipulável e transportável, permitindo que altas taxas desse material possam ser aplicadas no solo, por causa da liberação lenta e mais estável do nitrogênio presente no composto (IMBEAH, 1998).

Nos últimos anos, a preocupação pelo uso e pela reciclagem de resíduos orgânicos para a produção de biomassa e energia tem crescido a nível mundial, razão por que surgiram inúmeros estudos sobre o assunto. Os defensores da chamada agricultura “orgânica”, “biológica” ou “ecológica” vêm crescendo no país e no mundo (FEBRER, 2000).

2.1. Compostagem de Resíduos Agrícolas

A maior parte dos resíduos descartados em atividades agroindustriais (incluindo-se aí atividades agropecuárias) é orgânico e podem ser tratados por compostagem. A reciclagem dos resíduos orgânicos é uma das mais antigas práticas utilizadas por agricultores para favorecer o desenvolvimento das suas plantações, objetivando o aumento da produção agrícola. Foi, provavelmente por meio da observação da degradação biológica da matéria orgânica que ocorre espontaneamente na natureza, que a compostagem surgiu como uma alternativa de produção de fertilizantes orgânicos para o solo.

Define-se compostagem como sendo um processo biológico, aeróbio, controlado, por meio do qual consegue-se a humificação do material orgânico, e obtém-se, como produto final, o “composto orgânico”. O processo de compostagem é desenvolvido em duas fases distintas: na primeira ocorre a degradação ativa e na segunda maturação (humificação) do material orgânico, ocasião em que é produzido o composto, propriamente dito.

Segundo PEIXOTO (1988) a compostagem é um processo de decomposição aeróbica onde a ação e a interação dos microrganismos também dependem da ocorrência de condições favoráveis, tais como: temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos existentes, concentração e tipos de nutrientes disponíveis. É importante ter em mente que estes fatores ocorrem simultaneamente e que a eficiência

da compostagem baseia-se na interdependência e no inter-relacionamento desses fatores.

Para preparar o composto são necessários dois tipos de materiais: os que se decompõem facilmente, como o esterco, e os materiais que se decompõem de forma mais lenta, como serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, folhas. Os microrganismos necessitam de uma mistura de material rico em nitrogênio (esterco) e matéria rica em carbono, ou seja, rica em energia (serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar, folhas).

O produto final da compostagem, ou seja, o composto orgânico, é reconhecidamente um excelente condicionador para o solo, podendo proporcionar melhorias em suas propriedades físicas, aumentando a capacidade de retenção de água e a macroporosidade; químicas, aumentando a disponibilidade de macro e micronutrientes, físico-químicas, aumentando a capacidade de troca catiônica e biológica do solo, estimulando a proliferação de microrganismos úteis e agindo no controle de fitopatógenos (FEBRER, 2000).

Por ser um processo necessariamente aeróbio, os resíduos orgânicos devem ser dispostos em montes de forma cônica, denominada “pilhas de compostagem”, ou em montes de forma prismática, com seção reta, aproximadamente triangular, denominados “leiras de compostagem”. A configuração geométrica dos resíduos a serem dispostos em montes, quer seja em forma de pilha ou leira, é definido de acordo com a quantidade de material a ser compostado.

2.1.1. Microbiologia da compostagem

Nos processos de compostagem, prevalecem os microrganismos aeróbios, facultativos, mesófilos e termófilos.

Segundo KIEHL (1985) dentre as espécies de microrganismos que participam dos processos de compostagem, transformando material orgânico em material humificado, destacam-se as bactérias, os fungos e os actinomicetos.

As bactérias são responsáveis pela “quebra” inicial da matéria orgânica, o que gera a liberação de energia na massa de compostagem.

Os fungos são microrganismos aeróbios obrigatórios. Preferem meios mais ácidos, apresentando também atividade em meio alcalino. São bastante eficientes na

faixa termofílica e na degradação de compostos carbonáceos, como a celulose e a lignina, entre outros.

Os actinomicetos, por sua vez, representam um grupo bem heterogêneo de microrganismos, com características de fungos e bactérias, têm habilidades para se reproduzirem em ambientes com baixos conteúdos de umidade e altas temperaturas. Desempenham função importante na degradação de substâncias normalmente não decompostas por bactérias e fungos. Suas colônias são visíveis a olho nu, apresentando cor esbranquiçada, que confere às partículas, situadas, aproximadamente a 15 cm de profundidade da superfície da leira (KIEHL, 1985).

2.1.2 Aspectos da degradação biológica dos resíduos orgânicos

Pode-se dizer que os organismos decompositores/mineralizados são oportunistas, ou seja, se o material for empilhado e houver condições ótimas de umidade, oxigenação (nutrientes) e temperatura, haverá uma rápida degradação da matéria orgânica. Esta velocidade de degradação, influenciada por vários fatores, decrescerá de ritmo com o tempo.

A avaliação da relação C/N dos materiais a serem tratados pelo processo de compostagem é de fundamental importância, pois o balanço equilibrado desta relação permite que o processo ocorra de forma mais acelerada. O carbono, dentre outras funções, é fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos. Por sua vez, o nitrogênio é a fonte básica para a reprodução protoplasmática dos microrganismos (KIEHL, 1985).

O ataque dos microrganismos à matéria orgânica resulta na liberação de elementos químicos importantes, como o nitrogênio, o fósforo, o cálcio e o magnésio, os quais deixam a forma dita imobilizada (organizada) para passarem à forma de nutrientes minerais (mineralizada), disponível às plantas e aos demais microrganismos. O tempo necessário para que se processe esta decomposição e a conseqüente mineralização é, em grande parte, determinado pela concentração original de nitrogênio da matéria orgânica, a qual determinará a relação carbono/nitrogênio da massa de compostagem.

Os resíduos animais e vegetais são igualmente atacados, onde seus vários constituintes são decompostos em vários estádios, com diferentes intensidades, por

populações distintas de microrganismos, que vão se alterando e predominando no meio (controlado), em função das características do substrato.

A decomposição do material orgânico é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas. Inicialmente, são atacados os compostos de mais fácil degradação, como os açúcares, os amidos e aminoácidos; a seguir, há decomposição de proteína bruta e da hemicelulose. Outros componentes, como a celulose, a lignina e as gorduras, são mais resistentes, por isso, decompostas mais vagarosamente, podendo, com o tempo, dar origem às substâncias orgânicas de estrutura química mais complexa, genericamente denominado húmus (IGUE, 1984; MATOS et al., 1998).

2.1.3 Importância da fase de maturação na compostagem

Enquanto a eliminação de patógenos da massa de compostagem é obtida durante a fase biooxidativa inicial do processo (fase termofílica), sua estabilização é atingida somente, por meio de um subseqüente estágio de maturação. Este exerce também grande influência na eliminação de algum patógeno remanescente, melhorando a qualidade do produto final. Para ser denominado composto a ser utilizado como fertilizante orgânico, a matéria orgânica deve ser estabilizada até atingir a humificação, permitindo a sua completa estabilização, condições nem sempre obtidas em processos de compostagem.

Considera-se composto, o material seguramente maturado e quando utilizado antes da maturação, ocasionará vários efeitos nocivos às plantas (KIEHL, 1985), como:

- a) amônia poderá ser liberada no solo e danificará raízes de culturas;
- b) alta relação carbono/nitrogênio (C/N), característica dos produtos não maturados, ocasionará redução bioquímica do nitrogênio do solo, em consequência do uso do carbono residual; e
- c) ocorrência de produção de toxinas inibidoras do metabolismo das plantas e da germinação de sementes.

2.1.4 Características e condições ideais para a ocorrência do processo de compostagem

De forma sucinta, as mudanças bioquímicas e microbiológicas ocorrentes em uma pilha de compostagem, podem ser monitoradas com o acompanhamento da temperatura da massa.

Segundo KIEHL (1985), logo que os resíduos são empilhados, a flora mesofílica inicia o processo degradativo dos compostos mais facilmente degradáveis, e a energia, liberada na forma de calor, fica retida na massa de compostagem, por causa das características térmicas do material. Como resultado dessas reações, ocorrerá o aumento de temperatura. Se as condições forem favoráveis quanto aos conteúdos de nutrientes, umidade, aeração, etc, a colônia mesofílica multiplica-se, aumentando a atividade de degradação, e a temperatura atinge, rapidamente, a faixa termofílica (45° C). Assim que a temperatura atingir valores acima de 40° C, a atividade microbiológica mesofílica começa a ser substituída pela termofílica. O pH que é, inicialmente, ácido (4,5 a 6,0), passa para a faixa alcalina (7,0 a 8,0).

Bactérias termofílicas, fungos e actinomicetos multiplicam-se, tão logo a temperatura atinja a faixa de 55 à 60° C, e iniciam o ataque aos polissacarídeos, como amido, celulose e proteínas, transformando-os em subprodutos (açúcares simples e aminoácidos), que são utilizados, por várias outras espécies de microrganismos. Esta faixa de temperatura caracteriza a fase de degradação ativa e, dependendo do processo utilizado, constitui-se no principal mecanismo responsável pela eliminação de organismos patogênicos, bem como de larvas de insetos, ovo de helmintos, sementes de ervas daninhas, dentre outros (KIEHL, 1985).

Se não for controlada por algum fator externo, a temperatura da massa de compostagem atingirá, facilmente, a faixa de 80° C, o que será prejudicial ao processo, dada a extinção da flora mineralizadora, o que ocorre tão logo a temperatura se mantenha acima de 65° C.

Exauridas as fontes de carbono mais imediatas, a temperatura no interior da massa de compostagem começa a declinar para valores inferiores a 60° C e a leira começa a resfriar. Nesta fase, os microrganismos, mesofílicos, principalmente os fungos e os actinomicetos, situados nas zonas periféricas da leira, reinvadem a massa de compostagem, recomeçando um ataque aos compostos mais resistentes. Os

microrganismos mesofílicos tornam-se predominantes, embora a temperatura continue decrescendo até igualar-se à ambiente.

O tempo necessário para promover a compostagem de resíduos orgânicos depende da relação C/N, do teor de nitrogênio da matéria –prima, das dimensões das partículas, da aeração da meda e do número e frequência dos reviramentos (KIEHL, 1985).

Durante a maturação, os fungos e, principalmente, os actinomicetos tornam-se o grupo dominante, dando continuidade à degradação de substâncias mais resistentes, como a celulose e a lignina. Nesta fase, ocorrerão complexas reações enzimáticas, levando à produção de húmus, por meio, principalmente, de condensação entre ligninas e proteínas (KIEHL, 1985).

2.1.5 Considerações sobre Legislação para Fertilizantes Orgânicos

O Ministério da Agricultura é o órgão do Governo Federal responsável pela fiscalização, inspeção e autorização para comercialização da produção e o comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura e aprovam normas sobre especificações, garantias e tolerâncias, com base na Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterado pela Lei nº 6.934, de 13 de julho de 1981, regulamentado pelo Decreto Nº 86.955, de 18 de fevereiro 1982, a Portaria MA nº 84, de 29 de março de 1982 e a Portaria nº 1 da Secretaria de Fiscalização Agropecuária do Ministério da Agricultura, de 4 de março de 1983.

Essa Lei tem por objetivo coibir o comércio marginal desses produtos fora dos padrões de garantia e fraudados, em flagrante prejuízo à economia e à sociedade, essa última podendo ser prejudicada no abastecimento alimentar.

Os produtos fertilizantes orgânicos simples, complexos ou organo – minerais que utilizem esterco suíno como matéria-prima, deverão ser caracterizados com relação às concentrações presentes de nitrogênio total; cobre; zinco, contagem de coliformes fecais, além de exames parasitológicos.

O composto orgânico é enquadrado na lei como fertilizante orgânico ou mais especificamente como fertilizante composto.

A legislação para Fertilizantes Orgânicos, referente à regulamentação do uso de resíduos orgânicos, Fertilizante Orgânico Simples é definido como sendo “produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas” e

Fertilizante Composto como sendo o “fertilizante obtido por processo bioquímico, natural ou controlado com mistura de resíduos de origem vegetal ou animal”.

ALCARDE et al., (1989), relata que é muito importante distinguir-se bem a eficiência dos fertilizantes minerais e orgânicos. E comparando os conceitos de fertilizantes e condicionador verifica-se que os materiais orgânicos se enquadram muito melhor no segundo, pois sua ação é muito mais eficaz no aumento da porosidade, abrasão, retenção de água, atividade microbiana e capacidade de retenção de cátions, do que como fornecedor de nutrientes. Isto porque os materiais orgânicos contêm nutrientes vegetais em baixas concentrações, necessitando-se de grandes quantidades desses produtos para funcionarem como fertilizantes.

VAN RAIJ (1981), ratifica esta afirmação, o húmus ou a matéria orgânica do solo não é apenas uma fonte de nutrientes. Talvez tão ou mais importantes sejam as notáveis propriedades da natureza coloidal que apresenta decorrente de sua estrutura orgânica complexa aliada a uma fina subdivisão de partículas. A matéria orgânica atua na agregação de partículas, conferindo ao solo condições favoráveis de arejamento e friabilidade. Além disso, ele aumenta a retenção de água e é responsável em grande parte pela capacidade de troca de cátions.

Para as plantas utilizarem os nutrientes contidos no esterco é necessária a transformação das moléculas orgânicas através da decomposição biológica. A mineralização é o nome desse processo de transformação de um elemento que faz parte de um composto orgânico para elemento mineral simples que poderá ser útil para as plantas, já que estas, somente absorvem nutrientes sob esta forma (BALDISSERA, 1991).

Segundo SCHERER et al.,(1984), os adubos orgânicos apresentam, em geral, um maior efeito residual no solo que os de origem mineral. Isto é explicável pela lenta mineralização dos compostos orgânicos tornando os nutrientes disponíveis num maior espaço de tempo. Desta forma estes nutrientes ficam menos sujeitos às reações químicas do solo, ao contrário do que acontece com os adubos minerais. No caso específico do nitrogênio, o adubo orgânico tende a suprir este nutriente por mais tempo através da mineralização lenta dos compostos orgânicos, enquanto que o elemento mineral é perdido facilmente por lixiviação e volatilização.

A seguir, nos Quadros 1, 2 e 3 estão apresentados, respectivamente, os limites de elementos tóxicos presentes em fertilizantes orgânicos (complexos) para aplicação no solo (base seca); limites máximos para aplicação dos principais metais tóxicos em solos

estipulados pelo Conselho da Comunidade Económica Europeia e os Requisitos mínimos para que um composto orgânico maturado possa ser utilizado na agricultura.

Quadro 1: Limites de elementos tóxicos presentes em fertilizantes orgânico (complexos) para aplicação no solo (base seca), segundo o Ministério da Agricultura

Elemento	Ideal *	Limite máximo para uso agrícola
	----- mg kg ⁻¹ -----	
As	41	75
Cd	39	85
Cu	1500	4300
Pb	300	840
Hg	17	57
Ni	420	420
Se	100	100
Zn	2800	7500

* limites para um bio-sólido ser considerado de qualidade excepcional

Quadro 2: Limites máximos para aplicação dos principais metais tóxicos em solos, segundo o Conselho da Comunidade Económica Europeia

Metal	Limite no solo ⁽¹⁾	Limite no resíduo ⁽²⁾	Carga aplicada ⁽³⁾
	----- mg kg ⁻¹ de ms -----		--- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ---
Cd	1 - 3	20 - 40	0,15
Cu	50 - 140	1000 - 1750	12,00
Ni	30 - 75	300 - 400	3,00
Zn	150 - 300	2500 - 4000	30,00
Pb	50 - 300	750 - 1200	15,00
Hg	1 - 1,5	16 - 25	0,10

- (1) limites máximos que quando atingidos acarretarão cessação da aplicação do resíduo;
 (2) concentrações máximas aceitáveis no resíduo;
 (3) quantidades máximas que podem ser aplicadas de cada metal para que não sejam ultrapassados teores aceitáveis nas plantas cultivadas.

Quadro 3: Requisitos mínimos para que um composto orgânico maturado possa ser utilizado na agricultura, segundo GONÇALVES (1997)

Parâmetro	Requisito Mínimo
Umidade	< 40 dag kg ⁻¹
pH	6 a 8,6
Macronutrientes minerais (dag kg⁻¹)	
N	> 1,10
P	> 0,70
K	> 0,70
Ca	> 5,00
Mg	> 0,50
Metais Pesados (mg kg⁻¹)	
Zn	< 1.000
Cu	< 300
Cd	< 5
Cr	< 150
Pb	< 500
Ni	< 50

No Quadro 4 estão apresentados os limites aceitos para a presença de bactérias do grupo coliforme fecal em fertilizantes orgânicos (complexos).

Quadro 4: Limites de coliformes fecais presentes para classificação de fertilizantes orgânicos (complexos)

PATÓGENOS	CLASSE A (uso sem restrições)	CLASSE B (**) (uso com restrições)
Coliformes fecais	até 1.000 NMP g ⁻¹ ST (*)	até milhões NMP g ⁻¹ ST

(*) NMP g⁻¹ ST- Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais

(**) Acima dos limites de coliformes estabelecido para os fertilizantes de classe B o bio-sólido não poderá ser utilizado na agricultura

Classe 'A': produtor de fertilizante orgânico (complexo) a partir de restos da produção agrícola exclusivamente;

Classe 'B': produtor de fertilizante orgânico (complexo) a partir de materiais oriundos da agroindústria;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Preparo da matéria-prima para o processo de compostagem

As colunas de filtração, depois de esvaziadas, tiveram seu material filtrante retirado e transportado para um pátio, localizado no interior das instalações do antigo Estábulo da UFV. A massa removida de cada filtro foi utilizada individualmente para formar as pilhas compostagem, num total de 10 pilhas, sendo 5 pilhas constituídas por filtros de serragem de madeira e 5 por filtros de bagaço de cana-de-açúcar triturado.

O material filtrante encontrava-se impregnado de material orgânico retido nos seus interstícios, em razão do seu uso na filtração de ARS. Como a percolação destes sólidos não ocorreu de forma homogênea ao longo de toda a camada filtrante (Figura 1), para maior eficiência do processo, antes de montar as pilhas de compostagem, foi necessária a realização de uma homogeneização da mistura, com auxílio de pás e enxadas.



Figura 1: Detalhe da profundidade de penetração dos SS ao longo da camada filtrante à esquerda, filtro de serragem de madeira e à direita, filtro de bagaço de cana-de-açúcar.

3.1.1. Ajuste da relação C/N dos materiais orgânicos

Para ajuste da relação C/N dos materiais, tornou-se necessário à determinação dessa relação nutricional nos materiais retirados do filtro, estando os valores obtidos para o material filtrante serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, antes e depois de utilizados nos filtros, apresentados nos Quadros 5 e 6.

Com base nos valores apresentados de relação C/N do material retirado dos filtros pôde ser definida a quantidade, caso a caso, de dejetos frescos de suínos incorporadas (Figura 2), de forma a se ajustar, caso necessário, seu valor até 30:1. Com a incorporação de dejetos frescos de suínos procurou-se, além de corrigir o equilíbrio nutricional, proporcionar o desenvolvimento de flora microbológica diversificada na massa de material orgânico, de forma a imprimir maior eficiência ao processo.



Figura 2: Dejetos frescos de suínos sendo incorporados ao material orgânico retirado dos filtros de forma a se ajustar à relação C/N

As oscilações verificadas na relação C/N destes materiais, estão relacionadas ao tempo de operação de cada filtro, que variou em função da altura da coluna filtrante, e, portanto, variou também a quantidade de sólidos em suspensão retidos nessa massa filtrante.

Segundo MATOS et al., (1998) o uso de ARS como fonte de nitrogênio para a compostagem de resíduos agrícolas mostrou-se altamente recomendável, considerando-se o excelente aspecto (avaliação tátil e visual) dos compostos orgânicos produzidos e por ser uma forma de destinação final que proporciona o reaproveitamento de resíduos.

Quadro 5: Quantidade de dejetos fresco incorporado a cada um dos filtros de serragem de madeira, após o descarte da coluna filtrante

Altura do Filtro (m)	Relação C/N do material retirado do filtro	Vol filtro (m³)	Massa filtro (kg)	Demanda de N (kg) (*)	Qtde dejetos incorporado p/ suprir a demanda N (kg) (**)
h = 1,00	79 / 1	0,26	83,2	0,93	71,5
h = 1,30	106 / 1	0,34	108,8	1,39	106,2
h = 1,60	120 / 1	0,42	134,4	1,79	136,9
h = 1,90	145 / 1	0,50	160,0	2,25	171,6
h = 2,20	156 / 1	0,58	185,6	2,66	202,8

Relação C/N da serragem de madeira = 849/1

(*) Relação C/N = 30/1 (relação adotada no processo de compostagem)

(**) Relação C/N do esterco de suíno = 18/1

Quadro 6: Quantidade de dejetos fresco incorporado a cada um dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar, após o descarte da coluna filtrante

Altura do Filtro (m)	Relação C/N do material retirado do filtro	Vol filtro (m³)	Massa filtro (kg)	Demanda de N p/ obter a relação C/N 30/1 (kg)	Qtde dejetos incorporado p/ suprir a demanda N (kg)
h = 1,00	34 / 1	0,26	83,2	0,31	23,7
h = 1,30	37 / 1	0,34	108,8	0,56	42,8
h = 1,60	33 / 1	0,42	134,4	0,41	31,3
h = 1,90	36 / 1	0,50	160,0	0,75	56,9
h = 2,20	45 / 1	0,58	185,6	1,55	118,5

Relação C/N de bagaço de cana-de-açúcar = 196/1

(*) Relação C/N = 30/1 (relação adotada no processo de compostagem)

(**) Relação C/N do esterco de suíno = 18/1

3.1.2. Formação das pilhas de compostagem

As pilhas de material para compostagem foram dispostas em uma configuração geométrica cônica, de volume variável, tendo em vista que o volume de resíduo disponibilizado de cada filtro foi, também, diferente nas diferentes colunas de filtração (altura de 1,00 a 2,20 m). Dessa forma, as pilhas foram montadas apresentando altura de, aproximadamente, 1,6 m e largura da base variando entre 1,0 e 3,0 m.

As pilhas foram montadas manualmente e identificadas por placas (Figura 3). Esta indicação permitiu efetuar as anotações pertinentes a cada pilha e o planejamento do monitoramento, mediante as anotações em planilha informativa, do dia da montagem da pilha, origem do material, das leituras diárias de temperatura, dentre outras anotações.



Figura 3: Pilhas de compostagem com placas de identificação

3.2. Processo de compostagem

De acordo com TAIGANIDES (1977) a faixa de umidade ótima para se obter um máximo de decomposição está entre 40 a 60%, principalmente durante a fase inicial. Pois é necessário um adequado suprimento de água para promover o crescimento dos organismos biológicos envolvidos no processo para que as reações bioquímicas ocorram adequadamente durante a compostagem.

Para início do processo de compostagem, o material orgânico das pilhas teve sua umidade elevada para em torno de 55 dag kg^{-1} , conteúdo considerado ótimo para desenvolvimento mais rápido dos microrganismos.

O processo de compostagem utilizado no tratamento e a reciclagem de resíduos orgânicos foi o processo de compostagem por reviramento ou Windrow, considerado simples e eficiente para a estabilização do material orgânico.

Na primeira fase do processo, compreendida como fase de degradação ativa do material orgânico, o ciclo de reviramento foi feito manualmente a cada 3 dias durante os primeiros 30 dias, seguindo-se um reviramento a cada 6 dias por mais 30 dias, quando o material, então, apresentou temperaturas inferiores à 40°C.

Durante a fase de reviramento, foram introduzidas três sondas no interior de cada pilha, respectivamente na base, no centro e no topo (Figura 4), para possibilitar as determinações da temperatura da massa em compostagem. As determinações de temperaturas foram feitas, diariamente, com o uso de um termômetro digital (Figura 5). Como a temperatura do material não excedeu os 65°C durante o período de monitoramento, não houve necessidade da tomada de providências de reviramento das pilhas fora do período programado.

A umidade do material foi, também, monitorada com a retirada de amostras semanais, representativas da massa em compostagem. O método de determinação utilizado foi o de secagem em estufa a 65°C, por 48 h (KIEHL, 1985). Sempre que a umidade do material mostrou-se inferior a 40 dag kg⁻¹, foi incorporado água, com o uso de uma mangueira, à massa, sempre por ocasião do reviramento das pilhas. A umidade foi elevada a, no máximo, 55 dag kg⁻¹ já que maiores conteúdos de umidade poderiam causar anaerobiose (odores e atração de vetores), além da lixiviação de nutrientes do material da pilha.



Figura 4: Sondas introduzidas no interior de cada pilha (base, centro e topo) para determinação da temperatura



Figura 5: Termômetro digital utilizado para determinação da temperatura da massa

Na segunda fase do processo, denominada fase de maturação ou cura, o material orgânico permaneceu empilhado, não sendo mais necessário efetuar o seu reviramento. Esta fase durou, aproximadamente, 30 dias. Após a maturação, o material ficou pronto para o uso, não precisando ser peneirado, visto que o peneiramento do material foi feito quando da preparação do material para a montagem das colunas filtrantes.

3.3 Análise química e microbiológica dos materiais durante e após a sua compostagem

Amostras da massa orgânica foram coletadas durante o período de compostagem e conduzidas aos Laboratórios de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola e Laboratório de Análises de Resíduos Orgânicos, do Departamento de Solos da UFV, para determinação da concentração de N-total, pelo método Kjeldahl (EMBRAPA, 1997) e de carbono orgânico, pelo método da perda por ignição (KIEHL, 1985).

Ao final do período de compostagem, amostras do material orgânico foram coletadas para, após mineralização via digestão nítrico - perclórico, serem determinadas as concentrações de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu), macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e metais pesados (Ni, Cd, Cr, Pb) em espectrofotômetro por emissão de plasma.

A determinação da concentração de N foi feita pelo método Kjeldahl, via digestão sulfúrica e as concentrações de P e K foram determinadas via digestão nítrico perclórico, sendo o P determinado pelo método de colorimétrico e o K determinado em fotômetro de chama.

As amostras coletadas destinadas às análises bacteriológicas (determinação de *Streptococcus* fecais e Coliformes totais / *E. coli.*) seguiram um critério diferenciado, face ao maior rigor imposto à execução dessa avaliação. Dessa maneira, essas amostras foram coletadas separadamente, utilizando para isso material específico devidamente esterilizado. As amostras, cerca de 25g do material, foram coletadas aleatoriamente em vários pontos das pilhas de compostagem após a montagem dos experimentos, sendo acondicionadas de maneira adequada (frasco vedado) e imediatamente encaminhadas ao laboratório para a execução das análises.

Para as análises biológicas do composto maturado, foi usado o reagente Colilert como meio de cultura, utilizando a tecnologia chamada Defined Substrate Technology (DST) para se analisar simultaneamente Coliformes e *E. coli.* Dois nutrientes

indicadores, ONPG e MUG são as principais fontes de carbono no Colilert e são metabolizadas pelas enzimas β -D-Galactosidase e β -D-Glucuronidase, possibilitando a identificação das bactérias coliformes e E. coli. O meio de cultura foi adicionado à amostra, e a solução colocada nas cartelas Quanti-Tray, a qual, após ser selada, foi levada para a incubação sob temperatura de 35°C, por 24 horas, conforme Standard Methods for Water and Wastewater (APHA, 1995).

Para a determinação de *Streptococcus fecalis*, as amostras destinadas a análises bacteriológicas da massa de compostagem, optou-se pela determinação desses microrganismos como indicadores da contaminação bacteriológica. Esses organismos, que apresentam relativa facilidade de determinação, têm sido utilizado universalmente como indicadores da presença de patógenos.

Para a execução das análises, adotou-se o seguinte procedimento: em um bequer foi pesada 1g de amostra retirada na pilha de compostagem, utilizando balança de precisão (Mettler modelo PC440), à qual foram adicionados 99mL de solução de Ringer. Agitou-se vigorosamente o material por 3 minutos, sendo colocado em repouso por aproximadamente 10 minutos logo em seguida, constituindo assim o que chamaremos de amostra inicial. Após esse período foram feitas séries de diluições sucessivas da amostra inicial em solução de Ringer, através da transferência de 1mL desta para uma série de vidros universais contendo 9mL de solução de Ringer cada um, obtendo-se assim concentrações da ordem de 10^{-3} a 10^{-5} g mL⁻¹.

O método utilizado para avaliação dos indicadores foi o da membrana filtrante, técnica usada no Laboratório de Engenharia Sanitária (LESA), da Universidade Federal de Viçosa. Este consiste em passar um volume conhecido da amostra diluída, por aplicação de vácuo, através de uma membrana de filtração (Whatman) fina o bastante para reter os microrganismos. Essas membranas foram então colocadas em placas de petri devidamente identificadas e preparadas com meio de cultura seletivo (KF *Streptococcus* Agar). Essas placas foram colocadas em uma incubadora (Gallemkamp modelo 2380) a 37°C \pm 2°C, permanecendo nesta por 48 horas. Após esse período as placas foram retiradas, procedendo-se à contagem das colônias de bactérias que apresentaram coloração violeta escuro, sendo estas representativas da população de *Streptococcus fecalis*.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises da relação C/N das pilhas construídas com diferentes alturas, constituídas por filtros de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, antes e após seus usos como materiais filtrantes de ARS, estão apresentados, respectivamente, nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7: Avaliação da relação C/N do filtro de serragem de madeira, antes e após ter sido utilizada como material filtrante de ARS

Material Filtrante		Carbono	Nitrogênio	Relação C/N
		----- dag kg ⁻¹ -----		
Antes		93,45	0,11	849 / 1
Após operação do filtro	filtro1 (h=1,00 m)	54,87	0,69	79 / 1
	filtro2 (h=1,30 m)	56,12	0,53	106 / 1
	filtro3 (h=1,60 m)	56,53	0,47	120 / 1
	filtro4 (h=1,90 m)	56,45	0,39	145 / 1
	filtro5 (h=2,20 m)	56,29	0,36	156 / 1

Quadro 8 : Avaliação da relação C/N do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, antes e após ter sido utilizada como filtro material filtrante de ARS

Material Filtrante		Carbono	Nitrogênio	Relação C/N
		----- dag kg ⁻¹ -----		
Antes		23,52	0,12	196 / 1
Após operação do filtro	filtro1 (h=1,00 m)	10,15	0,30	34 / 1
	filtro2 (h=1,30 m)	9,96	0,27	37 / 1
	filtro3 (h=1,60 m)	10,40	0,31	33 / 1
	filtro4 (h=1,90 m)	9,67	0,27	36 / 1
	filtro5 (h=2,20 m)	9,49	0,21	45 / 1

Os resultados apresentados nos Quadros 7 e 8 indicam que, apesar da relação C/N ter caído após a incorporação de SS das ARS nos filtros, ainda assim esta relação não baixou o suficiente para deixá-la numa faixa considerada ótima para efetuar o processo de compostagem.

A atividade de degradação dos resíduos orgânicos na pilha de compostagem está diretamente relacionada à reprodução celular dos microrganismos. Na ausência de nitrogênio, não há reprodução celular dos microrganismos (KIEHL, 1985).

A relação C/N satisfatória para a obtenção de uma alta eficiência nos processos de tratamento biológico dos resíduos sólidos orgânicos deve situar-se em torno de 30:1 (KIEHL, 1985). Deste modo, em função do volume de material orgânico e da relação C/N, foi incorporado a cada lote descartado do filtro, esterco de suínos em quantidade capaz de possibilitar que fosse atingida a relação desejável, isto é, relação C/N em torno de 30:1.

Feito a correção da relação C/N para a faixa considerada ideal, as pilhas de compostagem foram montadas e diariamente foram efetuadas leituras da temperatura, sendo os valores obtidos apresentados no Apêndice (Quadros A25 e A26) com o objetivo de acompanhar o processo e avaliar a necessidade de qualquer medida corretiva de controle de temperatura. Nas Figuras 6 e 7 estão apresentadas as variações na temperatura das massas orgânicas durante o processo de compostagem.

Durante todo o processo de compostagem, as variações de temperaturas ocorridas em cada uma das pilhas montadas foram muito similares, tanto para as pilhas montadas com os filtros de serragem de madeira, quanto para as montadas com os

filtros de bagaço de cana-de-açúcar triturado. Os reviramentos das pilhas foram feitos de acordo com a dinâmica do processo e permitiram manter as temperaturas dentro das condições consideradas satisfatórias.

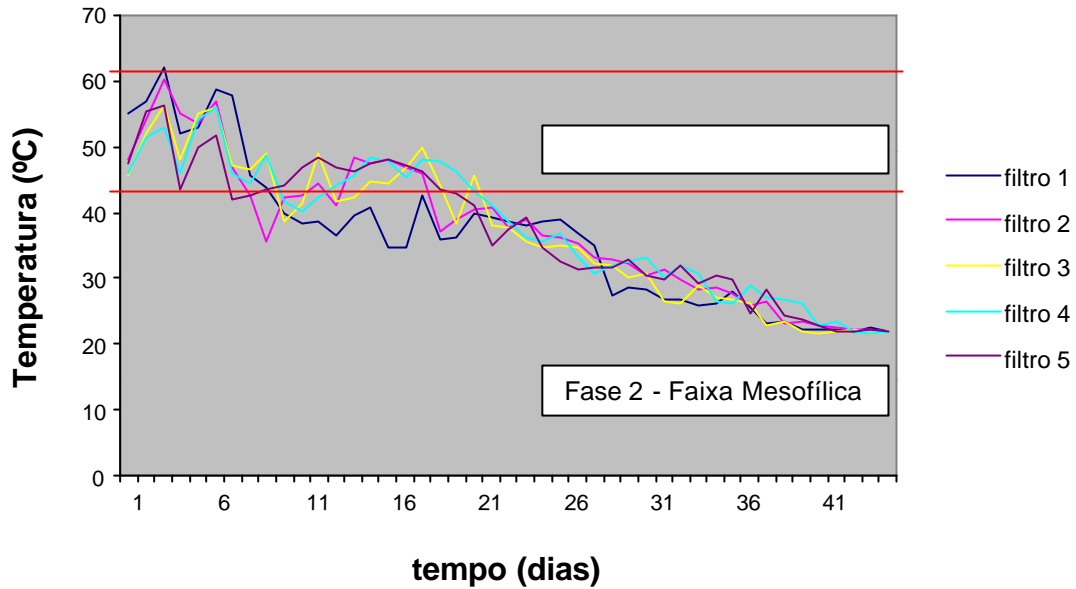


Figura 6: Variação da temperatura nas pilhas de compostagem de serragem de madeira, sendo filtro 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, referentes às alturas de 1,00; 1,30; 1,60; 1,90 e 2,20 m.

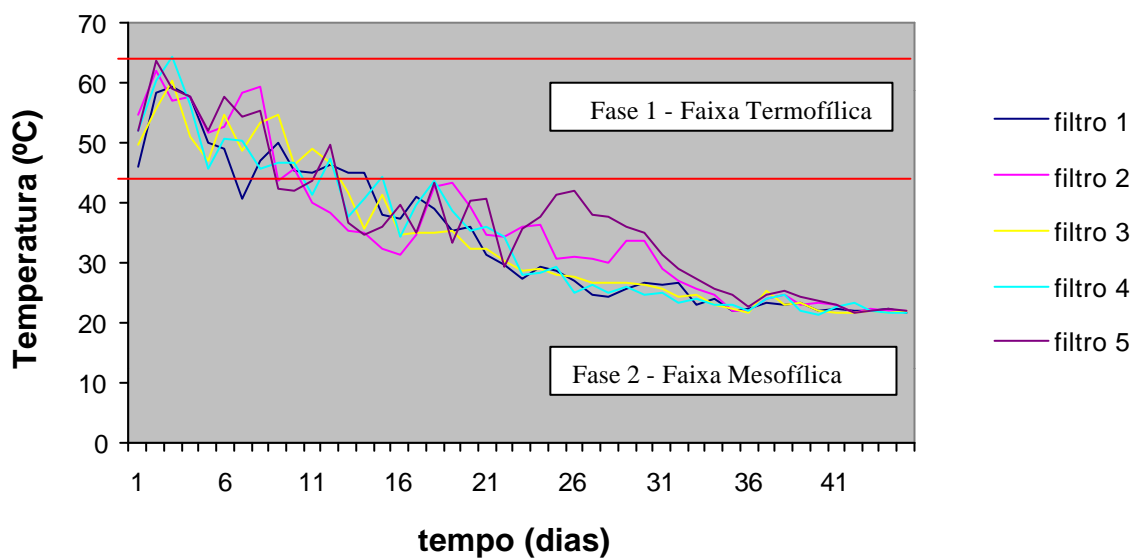


Figura 7: Variações da temperatura nas pilhas de compostagem de bagaço de cana triturado, sendo filtro 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, referentes às alturas de 1,00 ; 1,30; 1,60; 1,90 e 2,20 m.

De acordo com o que está apresentado nas Figuras 6 e 7, pode-se observar que o processo de compostagem ocorreu, na maior parte do tempo, na faixa de temperatura termofílica (entre 45 e 65° C). A ocorrência da fase termofílica é fundamental para possibilitar a eliminação de microrganismos patogênicos da massa do composto, aspecto fundamental para higienização do processo.

O processo de compostagem produziu um produto de boa qualidade, com características visuais compatíveis com um composto bem maturado (coloração escura), isento de cheiro desagradável, isto é, sem nenhum tipo de odor.

Nos Quadros 9 e 10, estão apresentados os resultados das análises químicas dos compostos orgânicos, produzidos nas pilhas de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar.

Quadro 9: Resultados das análises químicas do compostos orgânicos produzidos nas pilhas constituídas por serragem de madeira

Amostra	Umidade			Matéria seca a 110°C		Matéria seca a 65°C		
	65°C	110°C	Total	MO	Cinzas	C Total		
	----- dag kg ⁻¹ -----							
Pilha 1	46,66	3,21	49,87	85,00	15,00	49,30		
Pilha 2	40,86	3,50	44,36	88,53	11,47	51,35		
Pilha 3	46,43	3,65	50,08	83,58	16,42	48,48		
Pilha 4	42,00	4,00	46,00	89,07	10,93	51,66		
Pilha 5	49,19	3,75	52,94	82,93	17,09	48,10		
	Matéria seca a 65°C							
	ρ g cm ⁻³	pH	Ca	Mg	K	P	N	C/N
	----- dag kg ⁻¹ -----							
Pilha 1	0,343	7,73	1,28	0,25	0,82	1,04	1,96	25/1
Pilha 2	0,348	7,57	1,11	0,21	0,45	0,94	1,40	36/1
Pilha 3	0,333	7,53	1,05	0,18	0,45	2,02	1,20	40/1
Pilha 4	0,297	7,35	0,78	0,14	0,46	0,88	1,19	43/1
Pilha 5	0,281	7,58	0,59	0,10	0,33	0,83	1,18	41/1
	Matéria seca a 65°C							
	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
	----- mg kg ⁻¹ -----							
Pilha 1	39,38	803,12	100,18	3.945,64	0,32	5,14	7,69	12,18
Pilha 2	23,42	538,44	109,58	3.062,48	0,24	3,14	5,41	9,71
Pilha 3	18,67	677,21	88,37	2.685,57	0,25	3,03	2,17	8,81
Pilha 4	14,17	301,17	76,78	2.934,39	0,18	2,57	3,21	8,92
Pilha 5	11,76	231,33	51,57	1.981,98	0,13	2,10	2,23	4,48

Sendo: ρ - massa específica

Pilha 1, 2, 3, 4 e 5 representam, respectivamente, materiais retirados dos filtros de 1,00 m; 1,30 m; 1,60 m; 1,90 m e 2,20 m.

Quadro 10: Resultados das análises químicas dos compostos orgânicos produzidos nas pilhas constituídas por bagaço de cana-de-açúcar triturado

Amostra	Umidade			Matéria seca a 110°C		Matéria seca a 65°C		
	65°C	110°C	Total	MO	Cinzas	C Total		
	----- dag kg ⁻¹ -----							
Pilha 1	39,78	3,00	42,78	71,83	28,17	41,66		
Pilha 2	42,16	5,01	47,17	73,80	26,20	42,81		
Pilha 3	38,00	3,32	41,17	74,72	25,28	43,34		
Pilha 4	48,24	4,54	52,78	78,92	21,08	45,78		
Pilha 5	45,12	5,12	50,24	79,39	20,61	46,05		
	Matéria seca a 65°C							
	ρ g cm ⁻³	pH	Ca	Mg	K	P	N	C/N
	----- dag kg ⁻¹ -----							
Pilha 1	0,467	7,14	2,50	0,39	1,50	0,73	2,53	16/1
Pilha 2	0,444	7,36	2,40	0,36	1,45	0,79	2,65	16/1
Pilha 3	0,421	7,50	2,05	0,32	1,50	0,93	2,74	16/1
Pilha 4	0,363	7,40	1,87	0,27	1,08	0,66	2,73	17/1
Pilha 5	0,393	7,28	1,97	0,27	1,29	0,74	2,56	17/1
	Matéria seca a 65°C							
	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
	----- mg kg ⁻¹ -----							
Pilha 1	56,98	929,37	195,76	6.425,13	0,80	6,74	8,26	15,59
Pilha 2	46,56	853,13	165,09	6.657,07	0,72	6,12	7,94	14,92
Pilha 3	39,38	757,07	159,26	6.849,86	0,66	5,01	8,26	14,44
Pilha 4	44,56	972,38	161,94	6.026,65	0,68	6,42	6,68	16,48
Pilha 5	43,21	879,43	166,45	6.296,80	0,69	6,26	7,14	15,08

Sendo: ρ - massa específica

Pilha 1, 2, 3, 4 e 5 representam, respectivamente, materiais retirados dos filtros de 1,00 m; 1,30 m; 1,60 m; 1,90 m e 2,20 m.

Analisando-se os resultados apresentados nos Quadros 9 e 10 pode-se verificar que os compostos orgânicos produzidos com bagaço de cana-de-açúcar apresentaram, de forma geral, maiores concentrações de macro e micronutrientes, além de metais pesados, que os produzidos com serragem de madeira. Esses resultados podem estar associados às concentrações naturais no material, uma vez que o bagaço de cana-de-açúcar não foi mais eficiente na remoção de sólidos da ARS do que a serragem de madeira.

De acordo com os parâmetros avaliados do composto produzido a partir do aproveitamento dos filtros orgânicos descartados das colunas filtrantes (filtro de serragem de madeira + esterco de suínos e filtro de bagaço de cana-de-açúcar + esterco de suínos) e com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que os compostos estudados apresentaram boa qualidade quanto às concentrações de macro e micronutrientes, bem como no que se refere às concentrações de metais pesados. A presença de macro e micronutrientes e as baixas concentrações de metais pesados encontram-se abaixo dos limites considerados aceitáveis para elementos tóxicos em fertilizantes orgânicos para aplicação no solo, conforme apresentado no Quadro 7, conferem-lhes características de material de elevado valor fertilizante.

Os compostos produzidos encaixam-se, segundo a legislação, na condição de Fertilizante Composto, isto é, corresponde ao fertilizante obtido por processo bioquímico, natural ou controlado com mistura de resíduos de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas.

De acordo com os resultados das análises químicas das pilhas de composto orgânico de serragem de madeira + excremento de suínos e de bagaço de cana-de-açúcar + excremento de suínos, apresentados respectivamente, nos Quadros 9 e 10, pode-se afirmar que os parâmetros avaliados atendem aos limites apresentados nos Quadros 1 e 2 da Revisão de Literatura, respectivamente, quanto aos elementos tóxicos presentes em fertilizantes orgânicos (complexos) para aplicação no solo (base seca) e os Requisitos mínimos para que um composto orgânico maturado possa ser utilizado na agricultura.

A adição de ARS proporcionou aumento nas concentrações totais dos metais Zn e Cu em todos os compostos produzidos. Após a compostagem, as concentrações máximas encontradas para Cu nas pilhas de serragem de madeira variaram entre 11,76 a 39,38 mg.kg⁻¹ de matéria seca e de 39,38 a 56,98 mg.kg⁻¹ de matéria seca para bagaço de cana-de-açúcar.

As concentrações máximas encontradas para Zn nas pilhas de compostagem de serragem de madeira variaram entre 231,33 a 803,12 mg.kg⁻¹ de matéria seca e de 757,07 a 972,38 mg.kg⁻¹ de matéria seca para bagaço de cana-de-açúcar. Considerando que os limites máximos para a concentração desses metais em compostos orgânicos são de 750 mg.kg⁻¹ para cobre e de 1.400 mg.kg⁻¹ para zinco (WA DOE Interim Guidelines for Compost Quality, citado por Beaver, 1994), pode-se verificar que as concentrações desses metais situam-se dentro de padrões bastante seguros para utilização na agricultura.

No que se refere às análises microbiológicas, verificou-se que das 10 amostras avaliadas, (5 amostras retiradas nas pilhas de composto orgânico produzido com filtro de serragem de madeira e 5 pilhas de composto orgânico produzido com filtro de bagaço de cana-de-açúcar), apenas em uma amostra, coletada na pilha 5 de composto de bagaço de cana-de-açúcar, foi encontrada contaminação com coliformes fecais - *Scherichia coli*, apresentado o número mais provável (NMP) de 2 microrganismos.

Com base na contaminação dos compostos por patógenos, tomando-se por base limites apresentados no Quadro 4, pode se afirmar que os compostos orgânicos produzidos, sob o ponto de vista microbiológico pode ser utilizado sem restrições.

Nos Quadros 11 e 12 estão apresentados, respectivamente, os resultados da contagem de bactérias *Streptococcus* fecais em materiais coletados nas pilhas constituídas por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, durante o período de compostagem.

As pilha de compostagem n° 1, 2, 3, 4 e 5 citados nos Quadros 11 e 12 representam, respectivamente, materiais retirados dos filtros de 1,00; 1,30; 1,60; 1,90 e 2,20 m de altura.

Quadro 11: Avaliação da contaminação microbiológica (*Streptococcus fecalis*) do material orgânico durante o período de compostagem dos filtros de serragem de madeira

Material	Época	Diluição Amostra	NMP
Pilha 1	Início da compostagem	10 ³	24,0 x 10 ³
		10 ⁴	9,0 x 10 ⁴
		10 ⁵	1,0 x 10 ⁵
	Final da compostagem	10 ³	zero
		10 ⁴	zero
		10 ⁵	zero
Pilha 2	Início da compostagem	10 ³	22,5 x 10 ³
		10 ⁴	8,5 x 10 ⁴
		10 ⁵	0,5 x 10 ⁵
	Final da compostagem	10 ³	zero
		10 ⁴	zero
		10 ⁵	zero
Pilha 3	Início da compostagem	10 ³	22,0 x 10 ³
		10 ⁴	7,5 x 10 ⁴
		10 ⁵	0,5 x 10 ⁵
	Final da compostagem	10 ³	zero
		10 ⁴	zero
		10 ⁵	zero
Pilha 4	Início da compostagem	10 ³	23,0 x 10 ³
		10 ⁴	8,0 x 10 ⁴
		10 ⁵	0,5 x 10 ⁵
	Final da compostagem	10 ³	zero
		10 ⁴	zero
		10 ⁵	zero
Pilha 5	Início da compostagem	10 ³	24,0 x 10 ³
		10 ⁴	8,5 x 10 ⁴
		10 ⁵	0,6 x 10 ⁵
	Final da compostagem	10 ³	zero
		10 ⁴	zero
		10 ⁵	zero

Sendo: NMP - Número Mais Provável

Quadro 12: Avaliação da contaminação microbiológica (*Streptococcus fecalis*) do material orgânico durante o período de compostagem dos filtros de bagaço de cana-de-açúcar

Material	Época	Diluição Amostra	NMP
Pilha 1	Início da compostagem	10^3	$21,5 \times 10^3$
		10^4	$7,5 \times 10^4$
		10^5	$0,5 \times 10^5$
	Final da compostagem	10^3	zero
		10^4	zero
		10^5	zero
Pilha 2	Início da compostagem	10^3	$22,5 \times 10^3$
		10^4	$8,5 \times 10^4$
		10^5	$0,5 \times 10^5$
	Final da compostagem	10^3	zero
		10^4	zero
		10^5	zero
Pilha 3	Início da compostagem	10^3	$21,0 \times 10^3$
		10^4	$7,0 \times 10^4$
		10^5	$0,5 \times 10^5$
	Final da compostagem	10^3	zero
		10^4	zero
		10^5	zero
Pilha 4	Início da compostagem	10^3	$22,0 \times 10^3$
		10^4	$7,5 \times 10^4$
		10^5	$0,6 \times 10^5$
	Final da compostagem	10^3	zero
		10^4	zero
		10^5	zero
Pilha 5	Início da compostagem	10^3	$23,0 \times 10^3$
		10^4	$8,0 \times 10^4$
		10^5	$0,7 \times 10^5$
	Final da compostagem	10^3	zero
		10^4	zero
		10^5	zero

Sendo: NMP - Número Mais Provável

De acordo com os resultados da avaliação de contaminação do composto orgânico com *Streptococcus fecalis* (Quadros 11 e 12), a partir do aproveitamento dos materiais descartados dos filtros de serragem de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar triturado, foram observados, no início do processo contaminações em todas as pilhas de compostagem. No final do processo, entretanto, foram obtidos valores (médios) de número mais provável (NMP) de microrganismos iguais a zero, o que implica que o tratamento foi eficiente na eliminação desses microrganismos.

Apesar de ter sido usado material fecal (excremento de suínos) na mistura com a serragem de madeira e com bagaço de cana-de-açúcar, o reviramento das pilhas de compostagem e o rigoroso controle de temperatura e da umidade, permitiu que, no final do processo, fosse produzido composto higienizado, sem risco de manuseio por parte do usuário.

De acordo com os resultados das análises químicas do composto orgânico (Quadros 8 e 9), quanto à avaliação da relação C/N, podemos afirmar que o composto produzido com bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerado material orgânico de mais rápida degradabilidade que comparativamente à serragem de madeira.

Numa avaliação geral, o composto produzido apresentou um conjunto de características desejáveis para este tipo de produto, tais como: coloração do material; cheiro; teor de umidade; pH; composição de macro e micronutrientes; níveis de metais pesados; concentração de microrganismos que não comprometa a saúde humana, atendendo as exigências da legislação brasileira para Fertilizantes Orgânicos, permitindo classifica-lo como adubo orgânico.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os materiais orgânicos utilizados para filtragem de águas residuária de suinocultura, após perderem a sua capacidade filtrante, foram descartados dos filtros e tratados pelo processo de compostagem.

O processo de compostagem foi conduzidos no pátio pavimentado e coberto, localizado no interior da instalação do antigo Estábulo da UFV, onde foram dispostos 10 pilhas individuais (5 pilhas de serragem de madeira e 5 pilhas de bagaço de cana-de-açúcar).

Para a compostagem do material utilizou-se o processo Windrow, considerado simples e eficiente na estabilização da matéria orgânica. Durante todo o processo de compostagem do material orgânico foi feito monitoramento das pilhas, controlando a temperatura, a aeração e o teor de umidade.

Os compostos foram considerados prontos quando as temperaturas das pilhas entraram em equilíbrio como a do meio ambiente, apresentando característica de material humificado. Em todas as pilhas de composto orgânico foram feitas avaliações químicas, físicas e biológicas.

Com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

1. Os materiais orgânicos utilizados como filtro (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar), após terem sido retirados das colunas filtrantes, podem ser tratados pelo processo de compostagem;
2. Materiais de alta relação C/N, a exemplo serragem de madeira e do bagaço de cana-de-açúcar, tem essa relação diminuída quando são utilizados como filtros de ARS;

3. Bagaço de cana-de-açúcar utilizado como filtro de ARS pode ser considerado de maior degradabilidade que a serragem de madeira quando utilizada para o mesmo fim;
4. Pelos resultados obtidos, na avaliação da composição química do composto maturado, as pilhas de bagaço de cana-de-açúcar + dejetos de suínos apresentaram concentrações mais elevadas de N, Mg, Ca, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, Ni, Pb e Cr que o composto das pilhas de serragem de madeira + dejetos de suínos, sendo, contudo, inferiores quanto aos teores de P e K;
5. A utilização do dejetos líquidos de suínos na compostagem de resíduos orgânicos proporcionou a produção de adubos orgânicos de elevado valor fertilizante que, quando aplicados ao solo em taxas adequadas, pode tornar-se excelente opção para a disposição harmônica desses resíduos no ambiente;
6. Os parâmetros avaliados permitiram concluir que tanto o composto de serragem de madeira + dejetos líquidos de suínos, como o de bagaço de cana-de-açúcar + dejetos líquidos de suínos, apresentaram características físicas, químicas e biológicas que atendem a legislação e, portanto, apresentam requisitos desejáveis para que o composto orgânico possa ser utilizado na agricultura;
7. A concentração total de macro e micronutrientes são indicativas de serem os compostos produzidos de alto valor fertilizante para uso em culturas agrícolas;
8. A concentração total de metais pesados nos compostos produzidos pode ser considerada segura sob o ponto de vista de uso na adubação de culturas agrícolas;
9. Com base nas análises biológicas quanto ao número mais provável (NMP) de microorganismos presentes nos compostos produzidos, pode-se afirmar que esses, sob o ponto de vista microbiológico, podem ser utilizados sem restrições.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C., GUIDOLIN, J. A. LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: ANDA, 1989. 35 p. (ANDA/SP. Boletim Técnico, 3).

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: APHA, WWA, WPCR, 19a. ed., 1995.

BALDISSERA, I. T. **Utilização do esterco de suínos como fertilizante**. Chapecó: EMPASC, 1991, 5p. (apostila).

BEAVER, T. **Pilot study of coal ash compost**. Compost Science & Utilization, 2(3):18-21. 1994.

BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A & FONTES, M. P. P. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 4, n. 3, p. 327-333, 2000

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Legislação sobre fertilizantes, corretivos e inoculantes**. Brasília, DF: MARA, [19--]. 143p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS – EMBRAPA/ CNPS. **Manual de método de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ: EMBRAPA, 212 p. 1997.

- FEBRER, M. C. A, **Aproveitamento agrícola de material orgânico utilizado como filtro no tratamento de águas residuárias da suinocultura**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 130p. 2000.
- HARADA, Y., HAGA, K., OSADA, T., KOSHINO, M. **Quality of compost from animal waste**. Soil Sci. Plant Nutr., v26, n.4, p.238-246, 1993.
- IGUE, K; PAVAN, M. A. Uso eficiente de adubos orgânicos In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB, 1984. P.383-418.
- INBEAH, M **Composting piggery waste: a review**. Bioresource Technology, v.63, n.3, p.197-203, 1998.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 492p. 1985.
- LOURES, E. G. Manejo de dejetos suínos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, Poços de Caldas – MG:[s.n.], Separata. 1998.
- MAYNARD, A. A. **Sustained vegetable production for three years using composted animal manures**. Compost Science & Utilization, v. 2, n. 1, p 88-96, 1994.
- MATOS, A.T., SEDIYAMA, M. A.; FREITAS, S. P. VIDIGAL, S. M., GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Ceres**, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.
- MATOS, A.T., VIDIGAL, S. M., SEDIYAMA, M. A., GARCIA, N. C. P. C., RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 199-203, 1998.

- OLIVEIRA, P. A. V. (coord.) **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA; CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA – CNPS, documentos, 27).
- PEIXOTO, R. T. G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo.** Londrina: IAPAR, 1988. 48p. (IAPAR. Circular, 57).
- PERDOMO, C. C. Uso racional da água no manejo de água de suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUINOCULTURA, 1, 1995, Ponte Nova – MG. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG/CRZM, p. 08-23, 1995.
- TAIGANIDES, E. P. **Bio-engineering properties of feedlot wastes.** In: ANIMAL WASTES. Essex, England Applied Science, p. 131 – 153. 1977.
- SCHERER, E.E.; CASTILHOS, E. G., JUCKSCH, I., NADAL, R. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho.** Florianópolis: EMPASC, 1984. 26p. (EMPASC. Boletim Técnico, 24).
- SUTTON, A. L. Proper animal manure utilization. **Journal of soil and water conservation**, v.49, n.2, p.65-70, 1994.
- VAN, R. B. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

APÊNDICE

Quadro A1: Concentração de sólidos em suspensão (SS) no afluente (C_0) e no efluente (C) do filtro de serragem de madeira, de 2,20 m de altura, em função do tempo de operação.

Amostra ARS	Tempo da coleta (min)	SS (mg L^{-1})	Relação C/ C_0
C_0		84,5 (*)	-
Efluente C	0	24,7	0,292
	10	18,0	0,213
	20	13,7	0,162
	30	9,6	0,114
	40	9,0	0,106
	50	8,9	0,105
	60	8,2	0,097
	70	8,2	0,097
	80	5,9	0,070
	90	7,8	0,092
	100	7,4	0,087

(*) Concentração média

Quadro A2: Concentração de sólidos em suspensão (SS) no afluente (C_0) e no efluente (C) do filtro de serragem de madeira, de 1,90 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra ARS	Tempo da coleta (min)	SS (mg L^{-1})	Relação C/C_0
C_0		108,7 (*)	-
Efluente C	0	17,8	0,164
	10	15,1	0,139
	20	13,1	0,120
	30	8,8	0,081
	40	8,3	0,076
	50	7,1	0,065
	60	1,1	0,010
	70	1,0	0,009
	80	0,9	0,008
	90	0,8	0,008
	100	0,7	0,006

(*) concentração média

Quadro A3: Concentração de sólidos em suspensão (SS) no afluente (C_0) e no efluente (C) do filtro de serragem de madeira, de 1,60 m de altura, em função do tempo de operação.

Amostra ARS	Tempo da coleta (min)	SS (mg L^{-1})	Relação C/C_0
C_0		98,8 (*)	-
Efluente C	0	36,3	0,367
	10	24,4	0,247
	20	21,8	0,221
	30	18,7	0,189
	40	13,5	0,137
	50	12,0	0,121
	60	11,9	0,120
	70	7,2	0,073
	80	5,9	0,060
	90	5,2	0,053
	100	4,3	0,043

(*) concentração média

Quadro A4: Concentração de sólidos em suspensão (SS) no afluente (C_0) e no efluente (C) do filtro de serragem de madeira, de 1,30 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra ARS	Tempo da coleta (min)	SS (mg L^{-1})	Relação C/ C_0
C_0		122,4 (*)	-
Efluente C	0	36,3	0,296
	10	24,4	0,199
	20	18,7	0,153
	30	14,4	0,118
	40	13,5	0,110
	50	12,0	0,098
	60	11,9	0,097
	70	7,2	0,059
	80	5,2	0,042
	90	4,3	0,035
	100	3,1	0,025

(*) concentração média

Quadro A5: Concentração de sólidos em suspensão (SS) no afluente (C_0) e no efluente (C) do filtro de serragem de madeira, de 1,00 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra ARS	Tempo da coleta (min)	SS (mg L^{-1})	Relação C/ C_0
C_0		133,2 (*)	-
Efluente C	0	40,4	0,303
	10	35,9	0,269
	20	29,6	0,222
	30	24,9	0,187
	40	21,4	0,161
	50	18,4	0,138
	60	14,3	0,107
	70	13,0	0,098
	80	11,0	0,082
	90	10,0	0,075
	100	7,3	0,055

(*) concentração média,

Quadro A6: Concentração de SS no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 2,20 m de altura, em função do tempo de operação.

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L^{-1})	Relação C/ C_0
C_0		131,4 (*)	-
efluente C	0	52,3	0,398
	10	51,1	0,389
	20	33,5	0,255
	30	23,8	0,181
	40	10,3	0,078
	50	5,8	0,044
	60	5,5	0,042

(*) concentração média

Quadro A7: Concentração de SS no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,90 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		125,3 (*)	-
Efluente C	0	22,4	0,179
	10	6,9	0,055
	20	8,2	0,065
	30	6,0	0,048
	40	5,3	0,042
	50	5,3	0,042
	60	4,9	0,039

(*) concentração média

Quadro A8: Concentração de SS no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,60 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		85,6 (*)	-
Efluente C	0	23,2	0,271
	10	13,5	0,158
	20	8,2	0,097
	30	7,8	0,091
	40	6,4	0,075
	50	6,1	0,071
	60	5,1	0,059

(*) concentração média

Quadro A9: Concentração de SS no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,30 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		72,9 (*)	-
Efluente C	0	28,4	0,390
	10	23,5	0,322
	20	14,7	0,202
	30	12,3	0,169
	40	10,8	0,148
	50	10,4	0,143
	60	9,0	0,123

(*) concentração média

Quadro A10: Concentração de SS no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,00 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		83,1 (*)	-
Efluente C	0	32,9	0,396
	10	31,3	0,376
	20	25,3	0,304
	30	24,8	0,298
	40	20,6	0,248
	50	12,1	0,146
	60	7,8	0,093

(*) concentração média

Quadro A11: Concentração a de ST no afluente e efluente do filtro de serragem de madeira, de 2,20 m de altura, em função do tempo de operação.

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		148,3 (*)	-
Efluente C	0	124,2	0,837
	10	123,2	0,831
	20	121,8	0,821
	30	109,9	0,741
	40	73,7	0,497
	50	73,0	0,497
	60	72,5	0,489
	70	64,5	0,434
	80	61,2	0,435
	90	64,4	0,434
	100	62,7	0,423

(*) concentração média

Quadro A12: Concentração de ST no afluente e efluente do filtro de serragem de madeira, de 1,90 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração SS (mg L ⁻¹)	Relação C/Co
C₀		160,4 (*)	-
Efluente C	0	129,0	0,804
	10	126,0	0,785
	20	120,8	0,753
	30	115,5	0,720
	40	105,2	0,656
	50	98,0	0,611
	60	92,9	0,579
	70	89,6	0,559
	80	82,2	0,512
	90	83,6	0,521
	100	74,1	0,462

(*) concentração média

Quadro A13: Concentração de ST no afluente e efluente do filtro de serragem de madeira, de 1,60 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		147,0 (*)	
Efluente C	0	128,9	0,877
	10	122,1	0,831
	20	120,8	0,822
	30	115,5	0,786
	40	81,4	0,554
	50	84,6	0,575
	60	82,5	0,561
	70	89,6	0,609
	80	82,2	0,559
	90	83,6	0,569
	100	86,3	0,587

(*) concentração média

Quadro A14: Concentração de ST no afluente e efluente do filtro de serragem de madeira, de 1,30 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L ⁻¹)	Relação C/Co
C₀		145,4 (*)	-
Efluente C	0	123,9	0,852
	10	123,6	0,850
	20	122,6	0,843
	30	110,4	0,759
	40	80,1	0,551
	50	74,0	0,509
	60	68,5	0,471
	70	62,0	0,426
	80	61,2	0,421
	90	58,7	0,404
	100	56,1	0,386

(*) concentração média

Quadro A15: Concentração de ST no afluente e efluente do filtro de serragem de madeira, de 1,00 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L ⁻¹)	Relação C/Co
C₀		149,6 (*)	-
Efluente C	0	129,2	0,864
	10	127,0	0,849
	20	126,3	0,844
	30	117,0	0,782
	40	91,4	0,611
	50	86,4	0,577
	60	84,5	0,565
	70	83,0	0,555
	80	82,0	0,548
	90	81,1	0,542
	100	80,4	0,537

(*) concentração média

Quadro A16: Concentração de ST verificado no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 2,20 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L ⁻¹)	Relação C/Co
C₀		878,6 (*)	-
Efluente C	0	663,9	0,756
	10	648,2	0,738
	20	612,8	0,697
	30	458,4	0,522
	40	449,7	0,512
	50	444,8	0,506
	60	445,0	0,506

(*) concentração média

Quadro A17: Concentração de ST verificado no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,90 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L ⁻¹)	Relação C/Co
C₀		731,0 (*)	-
Efluente C	0	432,3	0,591
	10	437,1	0,598
	20	365,1	0,499
	30	351,7	0,481
	40	329,1	0,450
	50	324,3	0,444
	60	320,4	0,438

(*) concentração média

Quadro A18: Concentração de ST verificado no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,60 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L ⁻¹)	Relação C/Co
C₀		147,0 (*)	-
Efluente C	0	128,9	0,877
	10	122,1	0,831
	20	106,1	0,722
	30	100,8	0,686
	40	69,6	0,474
	50	66,9	0,455
	60	66,3	0,451

(*) concentração média

Quadro A19: Concentração de ST verificado no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,30 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		595,3 (*)	-
Efluente C	0	312,2	0,524
	10	306,9	0,516
	20	308,4	0,518
	30	297,0	0,499
	40	294,6	0,495
	50	288,9	0,485
	60	286,9	0,482

(*) concentração média

Quadro A20: Concentração de ST verificado no afluente e efluente do filtro de bagaço de cana-de-açúcar, de 1,00 m de altura, em função do tempo de operação

Amostra de ARS	Tempo da coleta (min)	Concentração ST (mg L⁻¹)	Relação C/Co
C₀		634,5 (*)	-
Efluente C	0	396,2	0,624
	10	366,1	0,577
	20	303,7	0,479
	30	314,3	0,495
	40	334,8	0,528
	50	312,1	0,492
	60	308,7	0,487

(*) concentração média

Quadro A21: Taxa de filtração média nos filtros de serragem de madeira

Tempo (min)	Taxa de filtração (mm.s ⁻¹)				
	Filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	1,908	1,961	1,858	2,063	1,654
10	1,571	1,624	1,522	1,726	1,317
20	1,223	1,200	1,173	1,223	1,124
30	1,003	1,041	0,984	0,924	1,048
40	0,844	0,761	0,746	0,488	0,999
45	0,787	0,734	0,738	0,477	0,988
46	0,780	0,730	0,730	0,473	0,988
50	0,746	0,689	0,632	0,462	0,977
57	0,625	0,651	0,390	0,439	0,916
60	0,575	0,632	0,375	0,413	0,871
70	0,409	0,560	0,348	0,382	0,594
80	0,378	0,477	0,326	0,356	0,700
90	0,352	0,431	0,307	0,326	0,594
100	0,318	0,405	0,295	0,303	0,549
110	-	-	-	-	0,549
120	-	-	-	-	0,507
130	-	-	-	-	0,397
140	-	-	-	-	0,378
150	-	-	-	-	0,310

Obs: os valores destacados em negrito representam a taxa de filtração no momento em que o piezômetro acusou perda total de carga

Quadro A22: Taxa de filtração média nos filtros de bagaço de cana-de-açúcar triturado

Tempo (min)	Taxa de filtração (mm.s ⁻¹)				
	Filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0,481	1,283	1,404	1,540	1,930
10	0,443	1,018	1,287	1,412	1,639
15	0,416	0,874	1,200	1,344	0,863
20	0,390	0,730	1,098	1,272	0,469
30	0,360	0,477	0,977	1,230	0,337
40	0,341	0,458	0,871	1,128	0,265
45	0,333	0,337	0,666	1,026	0,254
50	0,326	0,303	0,462	0,818	0,246
60	0,310	0,208	0,443	0,613	0,235
65	0,307	0,193	0,424	0,556	0,231
70	0,299	0,170	0,405	0,500	0,227
80	0,288	0,163	0,382	0,477	0,216
90	0,276	0,151	0,363	0,450	0,208
100	0,269	0,144	0,341	0,420	0,204
110	0,261	-	-	-	-
120	0,246	-	-	-	-
130	0,223	-	-	-	-

Obs: os valores destacados em negrito representam a taxa de filtração no momento em que o piezômetro acusou perda total de carga

Quadro A23: Variação da perda de carga durante a filtração de ARS nos filtros de serragem de madeira

Tempo (min)	Perda de carga (cm.c.a.)				
	Filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	4,8	5,0
10	0	0	0	15,3	20,0
15	0	0	0	25,6	35,0
20	0	0	1,0	31,2	50,0
22	1,0	0	1,5	38,0	52,0
25	2,1	0	2,0	48,7	55,8
30	5,0	3,0	4,5	129,0	59,0
35	12,0	8,6	8,5	145,3	63,9
40	20,8	12,7	33,6	155,0	65,5
43	27,0	17,6	62,0	165,0	62,3
46	32,2	23,1	66,0	170,0	66,5
50	44,0	34,2	88,5	-	72,2
57	49,0	49,3	140,0	-	81,8
60	51,8	62,9	-	-	85,5
70	80,0	70,4	-	-	111,0
80	-	77,2	-	-	134,5
90	-	110,0	-	-	151,0
100	-	-	-	-	151,4
110	-	-	-	-	155,0
120	-	-	-	-	157,0
130	-	-	-	-	175,4
140	-	-	-	-	182,0
150	-	-	-	-	190,0

Quadro A24: Variação da perda de carga durante a filtração de ARS nos filtros de bagaço de cana-de-açúcar

Tempo (min)	Perda de carga (cm.c.a.)				
	Filtro				
	1,00 m	1,30 m	1,60 m	1,90 m	2,20 m
0	0	0	0	0	0
10	0	7,0	6,0	41,0	10,0
15	0	9,0	17,0	70,0	20,0
20	0	11,0	32,0	100,0	35,0
25	0	14,0	45,0	112,0	73,0
30	1,0	15,0	55,0	123,0	117,0
35	1,8	16,0	75,0	133,0	132,0
40	2,5	18,0	92,5	143,5	148,0
45	3,9	26,0	118,0	158,0	168,0
50	5,0	31,0	140,0	170,0	176,0
60	7,5	92,0	-	-	183,0
65	9,0	110,0	-	-	190,0
70	16,5	-	-	-	-
80	23,0	-	-	-	-
90	35,0	-	-	-	-
100	40,0	-	-	-	-
110	46,0	-	-	-	-
120	80,0	-	-	-	-

Quadro A25: Variação da temperatura ocorrida nas pilhas de compostagem dos filtros de serragem de madeira

Dia	Temperatura média da pilha (°C)					Procedimentos executados Monitoramento da pilha
	Pilha 1	Pilha 2	Pilha 3	Pilha 4	Pilha 5	
1	54,9	48,1	45,7	46,0	47,4	Incorporação de esterco de suínos p/ correção relação C/N
2	57,0	54,2	52,1	51,3	55,2	
3	61,9	60,1	56,3	52,8	56,3	reviramento da pilha
4	51,9	55,1	48,1	46,0	43,5	
5	52,8	53,6	54,9	54,0	49,9	
6	58,7	57,0	56,0	56,0	51,6	reviramento da pilha
7	57,7	46,7	47,2	46,0	41,8	
8	45,7	42,5	46,4	44,4	42,7	
9	43,8	35,6	48,9	48,5	43,4	reviramento da pilha
10	39,9	42,3	38,5	41,5	44,1	
11	38,3	42,7	41,3	40,1	46,8	
12	38,5	44,3	48,9	42,4	48,4	reviramento da pilha
13	36,4	40,9	41,6	43,9	46,8	
14	39,5	48,4	42,3	45,6	46,1	
15	40,7	47,4	44,7	48,4	47,3	reviramento da pilha
16	34,8	47,9	44,3	47,8	48,0	
17	34,5	47,0	47,0	45,2	47,1	
18	42,7	46,0	49,9	47,9	46,1	reviramento da pilha
19	35,9	36,9	43,9	47,6	43,4	
20	36,3	38,8	38,3	46,3	42,8	
21	39,8	40,4	45,7	43,2	40,9	reviramento da pilha/ incorporação água (controle umidade)
22	39,2	40,8	38,1	40,9	34,9	
23	38,7	37,8	37,7	38,7	37,5	
24	38,1	39,0	35,6	36,3	39,3	reviramento da pilha
25	38,6	36,6	34,7	35,5	34,7	
26	38,8	36,1	35,1	36,8	32,6	
27	36,7	35,4	34,5	33,2	31,3	reviramento da pilha
28	35,1	33,2	32,4	30,7	31,6	
29	27,4	32,8	32,0	32,0	31,5	
30	28,6	32,3	30,2	32,6	33,0	reviramento da pilha
31	28,4	30,3	30,8	33,2	30,3	
32	26,8	31,3	26,3	30,2	29,7	
33	26,8	29,7	26,1	32,0	32,0	
34	26,0	28,2	29,0	30,8	29,2	
35	26,1	28,6	27,0	26,3	30,4	
36	28,1	27,7	26,8	26,1	29,8	reviramento da pilha controle temperatura e umidade
37	25,5	26,0	26,2	29,0	24,7	
38	23,0	26,5	22,8	27,0	28,3	
39	23,5	23,2	23,4	26,8	24,2	
40	22,1	23,3	21,9	26,2	23,6	
41	22,3	22,9	21,6	22,8	22,9	
42	22,1	22,6	21,9	23,4	21,8	reviramento da pilha
43	21,9	22,3	22,1	21,9	22,0	
44	22,4	22,1	21,7	21,6	22,2	
45	21,8	22,0	21,9	21,8	22,0	

Quadro A26: Variação da temperatura ocorrida nas pilhas de compostagem dos filtros de bagaço de cana triturado

Dia	Temperatura média da pilha (°C)					Procedimentos executados Monitoramento da pilha
	Pilha 1	Pilha 2	Pilha 3	Pilha 4	Pilha 5	
1	46,1	54,9	49,7	52,0	52,2	Incorporação de esterco de suínos p/ correção relação C/N
2	58,4	61,9	55,7	60,3	63,7	
3	59,2	57,0	60,5	64,3	58,9	reviramento da pilha
4	57,8	57,7	50,9	56,5	57,8	
5	49,9	51,9	47,2	45,7	52,2	
6	49,1	52,8	54,8	50,8	57,6	reviramento da pilha
7	40,5	58,4	48,7	50,4	54,4	
8	47,1	59,5	53,5	45,7	55,4	
9	50,0	43,8	54,9	46,7	42,3	reviramento da pilha
10	45,2	45,7	46,5	46,6	42,0	
11	44,9	39,9	48,9	41,4	43,6	
12	46,4	38,3	46,6	47,4	49,6	reviramento da pilha
13	45,1	35,3	41,8	37,7	36,7	
14	44,9	35,1	35,6	40,6	34,8	
15	38,1	32,4	41,3	44,5	36,0	reviramento da pilha
16	37,3	31,3	34,8	34,3	39,7	
17	40,9	34,7	34,9	39,7	35,1	
18	39,1	42,7	35,1	43,6	43,2	reviramento da pilha
19	35,4	43,3	35,2	38,6	33,3	
20	35,9	39,5	32,3	35,3	40,3	
21	31,3	34,8	32,2	35,9	40,8	reviramento da pilha/ incorporação água (controle umidade)
22	29,7	34,5	30,4	34,5	29,5	
23	27,4	35,9	28,7	28,1	35,7	
24	29,4	36,3	28,9	28,3	37,8	reviramento da pilha
25	28,7	30,8	28,1	29,3	41,5	
26	27,0	31,2	27,7	25,0	42,0	
27	24,8	30,7	26,8	26,5	38,1	reviramento da pilha
28	24,3	30,1	26,6	25,1	37,6	
29	25,8	33,6	26,7	26,1	36,1	
30	26,6	33,8	26,3	24,6	34,9	reviramento da pilha
31	26,3	28,9	25,5	24,9	31,3	
32	26,8	27,0	24,3	23,3	28,9	
33	23,2	25,6	24,8	23,9	27,3	
34	24,0	24,7	22,9	22,8	25,6	
35	21,9	22,0	22,2	22,9	24,7	
36	22,3	21,9	21,7	21,9	22,6	reviramento da pilha controle temperatura e umidade
37	23,5	24,0	25,2	24,0	24,7	
38	22,9	24,5	22,8	24,5	25,3	
39	23,5	23,2	23,4	22,1	24,2	
40	22,1	23,3	21,9	21,2	23,6	
41	22,3	22,9	21,6	22,7	22,9	
42	22,1	21,6	21,7	23,4	21,8	reviramento da pilha
43	21,9	22,3	22,1	21,9	22,0	
44	22,4	22,1	21,7	21,6	22,2	
45	21,8	22,0	21,9	21,8	22,0	