

**VALDEMAR SANCHES CROZARIOLLO NETO**

**REMOÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE  
SUINOCULTURA EM COLUNAS DE SOLO E DE FIBRA DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
JULHO – 2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**VALDEMAR SANCHES CROZARIOLLO NETO**

**REMOÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE  
SUINOCULTURA EM COLUNAS DE SOLO E DE FIBRA DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
JULHO – 2007**

Dedico este trabalho

À minha esposa, Giselle Ivone Mattge, minha linda que me ajuda e dá-me força em todas as fases da minha vida.

Minha companheira, amiga e, principalmente, uma esposa exemplar, te amo!

“Amo-te tanto, meu amor... Não cante

O humano coração com mais verdade....

Amo-te como amigo e como amante

Numa sempre diversa realidade.

Amo-te afim de um calmo amor prestante

E te amo além, presente da saudade.

Amo-te enfim com grande liberdade

Dentro da eternidade a cada instante”

(Vinícius de Moraes)

Aos meus pais, Júlio e Ligia, à minha irmã Ayeda, por serem as pessoas que me deram muito suporte no meu caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho, pela maestria na transferência dos conhecimentos e pelo exemplo de profissionalismo.

À minha esposa Giselle Ivone Mattge, companheira, amiga, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, dando-me conforto, paz, tranquilidade, para sempre seguir em frente.

Aos meus amigos, em especial, Rosilaine Araldi e Ricardo Oliveira, que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, pela dedicação, incentivo e que muito me ajudaram nos momentos difíceis. Pelo convívio agradável e pelos momentos de descontração.

Ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (Campus-sede), pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Aos Técnicos do Laboratório de Análise Química de Solo do Departamento de Agronomia, em especial ao Ivan, pelas análises laboratoriais e auxílio na obtenção dos resultados.

## **BIOGRAFIA**

VALDEMAR SANCHES CROZARIOLLO NETO, filho de Rosa Lígia Hortolani Pereira Sanches e de Julio César Sanches Gomes, nasceu em 23 de setembro de 1981, em Tupã, Estado de São Paulo.

Bacharel em Química, em 18 de março de 2005, pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá – Paraná.

Em março de 2005, iniciou o curso de mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia, na Universidade Estadual de Maringá – Campus-sede.

O único homem que nunca comete erros é aquele que nunca faz alguma coisa. Não tenha medo de errar, pois você aprenderá a não cometer duas vezes o mesmo erro.

(Roosevelt)

## ÍNDICE

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	3
2.1 Problemas causados pelo lançamento de águas residuárias de suinocultura no meio ambiente .....	3
2.2 Alternativas de tratamento de dejetos líquidos de suíno .....	5
2.3 Eficiência de tratamento .....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1 Obtenção da água residuária e material filtrante .....	11
3.2 Características do material filtrante .....	12
3.3 Preparo das colunas de filtração .....	12
3.4 Tratamentos .....	14
3.5 Caracterização química da água residuária .....	14
3.6 Avaliação das alterações químicas ocorrida no material filtrante .....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1 Caracterização química da água residuária .....	17
4.1.1 Caracterização dos elementos da água residuária percolada, após a passagem pela coluna composta de bagaço de cana-de-açúcar .....	17
4.1.2 Caracterização do percolado pela coluna composta de solo .....	20
4.1.3 Análise da DBO e DQO, após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	22
4.1.4 Eficiência dos filtros .....	25
4.2 Avaliação das alterações químicas ocorridas nos materiais filtrantes .....	31
5 CONCLUSÃO .....	35
REFERÊNCIAS .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultado de análise química do bagaço de cana de açúcar, antes da aplicação do efluente. UEM, Maringá – PR .....	12
Tabela 2	Resultado de análise química do solo, antes da aplicação do efluente. UEM, Maringá, PR .....	12
Tabela 3	Massa e densidade do bagaço de cana-de-açúcar e solo depositada nas colunas para a realização dos experimentos .....	13
Tabela 4	Caracterização química da água residuária de suinocultura coletadas na região de noroeste do Estado do Paraná .....	15
Tabela 5	Caracterização química do percolado pela coluna de bagaço de cana-de-açúcar .....	18
Tabela 6	Caracterização química do percolado pela coluna de solo .....	21
Tabela 7	Demanda bioquímica e Química de oxigênio, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	23
Tabela 8	Demanda bioquímica e química de oxigênio da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama .....	25
Tabela 9	Fósforo (P), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Nitrogênio Total ( $N_{Total}$ ) da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama .....	26

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Remoção dos nutrientes do percolado pela coluna de bagaço de cana-de-açúcar .....	17
Figura 2	Remoção dos nutrientes do percolado, após a passagem pela coluna de solo .....	20
Figura 3	Demanda bioquímica e Química de oxigênio, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	23
Figura 4	Demanda bioquímica e química de oxigênio da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama .....	24
Figura 5	Cobre e Zinco da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama .....	26
Figura 6	Fósforo e Nitrogênio total da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama ...	27
Figura 7	Comportamento do Ca, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	28
Figura 8	Comportamento do Mg, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	28
Figura 9	Comportamento do Na, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	28
Figura 10	Comportamento do K, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	29
Figura 11	Comportamento do P, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	30
Figura 12	Comportamento do N, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	30
Figura 13	Comportamento do Cu, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo .....	31

Figura 14 Comportamento do Zn, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo ..... 31

## RESUMO

CROZARIOLLO, Valdemar Sanches, MS., Universidade Estadual de Maringá, julho de 2007. **Remoção de elementos químicos da água residuária de suinocultura em colunas de solo e de fibra de cana-de-açúcar.** Professor Orientador: Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas. Professor Co-orientador: Dr. Altair Bertonha

A atual expansão da suinocultura brasileira tem como característica a produção de animais em confinamento e a utilização de água para a limpeza dos animais, resfriamento e limpeza das baias, gerando águas residuárias com fezes e urina. Os processos físicos, como a filtração, podem ser utilizados como alternativa de grande eficiência na remoção de sólidos em suspensão. A utilização de materiais que sejam subproduto de atividades industriais é interessante, considerando-se a sua disponibilidade, as dificuldades para sua disposição no ambiente e o seu baixo custo de aquisição. Com o objetivo de avaliar as alterações químicas ocorridas tanto no material filtrante quanto na água residuária, bem como determinar a eficiência de remoção de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ,  $\text{N}_{\text{total}}$ ,  $\text{DBO}_5$  e  $\text{DQO}$  da água residuária de suinocultura, conduziu-se um experimento no qual se utilizou como material filtrante para o tratamento de água residuária o bagaço de cana-de-açúcar e Solo (Nitossolo Vermelho Distrófico), caracterizados pela densidade e composição química, este material foi acondicionado em colunas de (poli cloreto de vinila) PVC de 100 mm de diâmetro e comprimento de 1 m. O material foi condicionado nas colunas até atingir a altura de 0,90 m, sofrendo compressão. O experimento foi arranjado em blocos inteiramente casualizados (DIC), com oito tratamentos, sendo as colunas preenchidas com dois materiais filtrantes e quatro volumes aplicados (3,9 L; 7,8 L; 11,7 L; 15,6 L) de água residuária, com três repetições por tratamento. As análises químicas foram realizadas antes e após a passagem da água residuária pelas colunas, coletadas em recipiente plástico de 20 L. O filtro composto de bagaço de cana-de-açúcar teve uma eficiência na remoção de Ca e Mg comparada com o solo. Porém, como o bagaço de cana-de-açúcar é constituído basicamente de matéria orgânica, observou-se um

aumento de três a 11 vezes os níveis de DBO e DQO. O solo apresentou ótima retenção chegando a reter 100% para o cobre e 83% para o Zn chegando a níveis aceitáveis para o posterior descarte destes nutrientes em cursos d'água. Já, as colunas de bagaço de cana-de-açúcar mostraram eficiência na remoção do  $Zn^{2+}$  logo para o  $Cu^{2+}$ , permaneceu acima dos limites para descarte em efluentes, segundo Resolução do Conama nº357/2005.

**Palavras-chave:** água residuária, colunas de solo, filtros de cana de açúcar.

## ABSTRACT

CROZARIOLLO, Valdemar Sanches, MS., Universidade Estadual de Maringá, July 2007. **Removing of chemical elements from residual water used in pig breeding by soil and sugar-cane-pulp fiber columns.** Advisor: Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas. Co-advisor: Dr. Altair Bertonha.

Current expansion of pig breeding in Brazil is characterized by the production of confined animals. The use of water for the cleaning of animals and the cooling and cleaning of pens produces residual water mixed with feces and urine. Physical processes, such as filtering, may be used as highly efficient alternatives in the removal of suspended solids. The use of materials which, in their turn, are sub-products of industrial activities is of great importance due to their availability, difficulties in their disposal in the environment and low acquisition costs. Assay evaluated the chemical changes which occurred in the filtrating material and in residual water and determined the removal efficiency of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ,  $\text{N}_{\text{total}}$ ,  $\text{DBO}_5$  and  $\text{DQO}$  of residual water in pig breeding. Sugar-cane-pulp and soil (red dystrophic nitosol), characterized by density and chemical composition, were used as filtrating material for residual water treatment. Material was conditioned in 1 m long by 100mm-diameter PVC columns till it reached 0.90m by compression. Experiment was designed in totally randomized blocks, with eight treatments. Columns were filled with two filtrating materials and four different volumes (3.9 L; 7.8 L; 11.7 L; 15.6 L) of residual water, with three repetitions per treatment. Chemical analyses were provided before and after the flow of residual water through the columns and collected in 20 L plastic bags. Sugar-cane-pulp filter was efficient in the removal of Ca and Mg when compared to that by soil. Since sugar-cane-pulp is basically made up of organic matter, an increase by 3 to 11 times in  $\text{DBO}$  and  $\text{DQO}$  levels has been reported. Soil had 100% retention of copper and 83% retention of zinc, with acceptable levels for posterior disposal of these nutrients in water courses. Sugar-cane-pulp columns were efficient in  $\text{Zn}^{2+}$  removal;  $\text{Cu}^{2+}$ , however, remained above acceptable levels in effluents, following Conama nº357/2005 resolution.

**Key words:** residuary water; soil columns; sugar-cane filters

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, até a década de 70, os dejetos de suínos não constituíam fator de preocupação, pois a concentração de animais por unidade de área era pequena. O sistema confinado de produção, a partir dos anos 80, aumentou consideravelmente a produção de dejetos, que lançados nos mananciais de água, passaram a gerar desequilíbrios ecológicos, por causa da alta demanda bioquímica de oxigênio, que é cerca de 260 vezes superior à do esgoto doméstico (OLIVEIRA, 1993).

A criação de suínos, no Brasil, é uma atividade predominantemente de pequenos produtores e, aproximadamente, 80% dos suinocultores possuem propriedades de até 100 hectares. Essa atividade encontra-se presente em 46,5% das 5,8 milhões de propriedades existentes no Brasil, empregando, principalmente, mão-de-obra familiar, tornando-se uma importante fonte de renda e de estabilidade social (IBGE, 1999).

Segundo Bohley (1990), o aumento do processo de integração, como são chamados os contratos entre produtores e os frigoríficos, elevou a concentração de animais por unidade de área, o que tem levado a uma produção de grandes quantidades de resíduo. De acordo com Matos et al. (1997), a suinocultura é uma atividade concentradora de dejetos com alta carga poluidora para o solo, água e ar. Por isso, muitos estudos têm sido desenvolvidos para viabilizar a utilização desses dejetos, minimizando seu impacto no ambiente.

Nos últimos 15 anos, tem-se dado maior atenção à necessidade de desenvolvimento tecnológico, com vistas à disposição dos resíduos gerados por animais, de forma a causar o mínimo impacto sobre o ambiente.

A legislação ambiental vigente determina que, no caso de lançamento de efluente em cursos d'água, a DBO<sub>5</sub> a 20°C deve ser no máximo de 60 mg L<sup>-1</sup>, cujo limite somente poderá ser atingido, ou mesmo ultrapassado, caso a eficiência do sistema de tratamento seja maior que 85% em termos de redução de DBO e, ainda, quando o efluente lançado não altere os padrões de

qualidade ou classificação em que o curso d'água esteja enquadrado (VON SPERLING et al., 1995).

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

A filtragem da água residuária da suinocultura, como etapa de tratamento do líquido antes de seu bombeamento no solo, é uma alternativa que pode tornar menos problemática a aplicação e a distribuição dessas águas na cultura agrícola. A ação mecânica de eliminação dos sólidos em suspensão por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores 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.

Portanto, o objetivo deste trabalho é de avaliar as alterações químicas ocorridas tanto no material filtrante quanto na água residuária, bem como determinar a eficiência de remoção de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ,  $\text{N}_{\text{total}}$ ,  $\text{DBO}_5$  e  $\text{DQO}$  da água residuária de suinocultura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A suinocultura, no Brasil, caracteriza-se como uma atividade predominante de pequenas propriedades rurais, e apresenta diferenças nos sistemas de produção decorrentes da coexistência de diferentes níveis tecnológicos e gerenciais (TAKITANE; SOUZA, 2000). A atividade encontra-se distribuída da seguinte forma nas regiões brasileiras produtoras: de um total de rebanho de 38 milhões de cabeças de suíno, no Brasil, totalizando 100%; o Sul tem um rebanho de 13 milhões de cabeças (34,21%), o Nordeste com 8,75 milhões de cabeças (8,75%), o Sudeste 7,20 milhões de cabeças (7,20%), o Centro-oeste 6,15 milhões de cabeças (6,15%) e o Norte 2,90 milhões de cabeças (2,90%). Os Estados do Sul, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul são os maiores produtores seguidos de Minas Gerais, Bahia e São Paulo (IBGE, 2002).

Os dejetos de suínos, até a década de 70, não constituíam fator preocupante com relação à sua disposição no meio ambiente, pois estes eram criados extensivamente, o que favorecia sua automática distribuição no campo ou, eram utilizados como adubo orgânico (OLIVEIRA, 1993; PERDOMO, 1995). Conseqüentemente ocorreu aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área devido à intensificação da produção suinícola, o que ocasionou problemas de manejo, armazenamento, distribuição, tratamento ou disposição no solo, com isso aumentando os custos operacionais da atividade.

### **2.1 Problemas causados pelo lançamento de águas residuárias de suinocultura no meio ambiente**

A suinocultura é considerada, pelos órgãos de controle ambiental, como atividade potencialmente causadora de degradação ambiental. Isso se deve ao lançamento direto de águas residuárias sem tratamento prévio nos cursos d'água, transformando-se em fonte poluidora dos mananciais de água, fator de risco para a saúde animal e a humana e obstáculo da suinocultura como atividade econômica (PERDOMO, 1995; OLIVEIRA, 1994).

Segundo (MATOS; SEDIYAMA, 1995), além da poluição das águas superficiais e subterrâneas, outros riscos potenciais para o ambiente, pela aplicação de doses inadequadas de resíduos orgânicos são: salinização do solo, poluição do solo e plantas com metais pesados, efeitos os quais prejudicam a estrutura e macroporosidade do solo e auxiliam a contaminação de homens e animais por agentes patogênicos provenientes dos dejetos.

A taxa de aplicação de águas residuárias de suinocultura, usadas para produção agrícola, deve ser suficiente para suprimento adequado de nutrientes, mas não deve provocar riscos de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Com o aumento dos teores de NPK, nas águas superficiais, podem ocorrer o crescimento de plantas aquáticas e algas, ocorrendo o fenômeno da eutrofização, processo pelo qual as águas de um rio ou de um lago se enriquecem de nutrientes minerais e orgânicos, provocando excesso de vida vegetal e, por falta de oxigênio, dificultando a vida animal (WELLER; WILLETTS apud MATOS; SEDIYAMA, 1995).

A utilização de águas residuárias de suinocultura, como fertilizante agrícola, exige cuidados, principalmente com relação ao elemento nitrogênio, por este estar sujeito à maior lixiviação no solo (SCHERER; BALDISSERA, 1994). Enquanto o nitrogênio estiver na forma de cátion amônio, a possibilidade de sua perda por lixiviação é baixa. Entretanto, em condições normais de solo cultivado, o amônio é oxidado a nitrato, íon de carga negativa, que se move mais livremente com a água do solo. A lixiviação pode ocorrer se o nitrato estiver presente em grandes quantidades, no solo, antes do plantio, quando a cultura não estiver utilizando esse nutriente com rapidez ou, ainda, quando a irrigação ou a chuva exceder a capacidade de retenção do solo e o requerimento de água pela cultura (LOEHR, 1984; OLIVEIRA, 1993).

Oliveira (1993), analisando águas subterrâneas de solos que foram tratados muitos anos com aplicação de água residuária de suíno, detectou que os teores de nitrato foram 10 vezes maiores do que os encontrados em solos não-tratados.

Segundo Gianelo e Ernani (apud MATOS; SEDIYAMA, 1995; SUTTON et al., 1986), a fertirrigação do solo, com águas residuárias de suinocultura, pode fazer com que os teores de sais, principalmente de Na, K e bicarbonatos,

umentem já que as fezes e a urina são ricas em sais, tornando prejudicial o desenvolvimento das plantas.

O cobre e o zinco são os metais pesados de maior importância, mas são importantes componentes do suplemento dietético da ração para porcas lactantes e de formulação de antibióticos, aumentando os riscos de contaminação ambiental (SCHERER; BALDISSERA, 1994).

O transporte de poluentes, por escoamento superficial, depende de fatores como taxa de aplicação, intervalo de tempo entre a aplicação e a primeira precipitação e intensidade da chuva, bem como de outros fatores como condições do solo e de cobertura vegetal. Geralmente, concentração e transporte por escoamento superficial de nitrogênio, fósforo, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos em suspensão (SS) e condutividade elétrica (CE) estão diretamente correlacionados com as taxas de aplicação das águas residuárias. Ao contrário, intensidades de chuva maiores tendem a diminuir a concentração desses constituintes das águas residuárias, indicando diluição dos constituintes suspensos ou dissolvidos (EDWARDS; DANIEL, 1993).

Matos et al. (1997), irrigando o solo com água residuária de suíno  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , não verificaram diferença significativas nos perfis de solo entre as concentrações de N, K e Na, e o solo-testemunha, verificando que a vegetação foi capaz de absorver grandes quantidades desses nutrientes, imobilizando-os na forma de biomassa e por consequência, tornando-os pouco suscetíveis à lixiviação do solo.

## **2.2 Alternativas de tratamento de dejetos líquido de suíno**

O tratamento de dejetos de suínos reagrupa um conjunto de ações de transformação por diferentes meios (físico, químico e biológico) com a finalidade de modificar sua composição química. A modificação da composição química do substrato tratado é realizada pela eliminação ou transformação de certos elementos (N orgânico é transformado em N amoniacal) e a modificação da consistência física na prática consiste em aumentar a concentração em elementos nutritivos (NPK) de tratamento de dejetos (PERDOMO, 1999; LUCAS et al., 1999). Uma técnica muito utilizada, pelos pequenos proprietários que utilizam a suinocultura como uma fonte de renda, é a utilização de tanques

que são chamados esterqueira, que consiste em um depósito retangular ou circular que tem por objetivo captar o volume de dejetos líquidos produzidos num sistema de criação, durante um determinado período de tempo, normalmente, entre quatro e seis meses, para que ocorra a fermentação anaeróbica da matéria orgânica (BERLLI FILHO et al., 2001; GOSMANN, 1998; FERNANDES; OLIVEIRA, 1995). A carga de abastecimento é diária, permanecendo o material em fermentação até a retirada (DIESEL et al., 2002). A esterqueira não tem separação da fase líquida e sólida, e necessita de maior área para sua aplicação, pois os resíduos ficam mais concentrados, e permanece quantidade considerável de nutrientes, a aplicação, no solo, parece ser o destino mais adequado a este resíduo da suinocultura.

Biodigestores, segundo (DIESEL et al., 2002), são câmaras que realizam a fermentação anaeróbia da matéria orgânica, produzem biogás e biofertilizante. Os dejetos de suínos possuem bom potencial energético em termos de produção de biogás, tendo em vista, que mais de 70% dos sólidos totais são constituídos por sólidos voláteis, que são o substrato dos microrganismos produtores de biogás.

No tratamento físico, o dejetos passa por um ou mais processos físicos, em que ocorre a separação das fases sólida e líquida. Como tratamento físico, tem-se a separação de fases, que pode ser efetuada por processo de decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, e a desidratação da parte líquida por vento, ar forçado ou ar aquecido. A separação entre as fases sólidas e líquidas poderá minimizar os custos de implantação de possíveis técnicas de tratamento (DIESEL et al., 2002).

O tratamento biológico consiste na degradação biológica do dejetos por microrganismos aeróbios e anaeróbios, resultando em um material estável e isento de organismos patogênicos. Nos dejetos, com características sólidas, é possível fazer o tratamento biológico por meio dos processos de compostagem, enquanto que, em dejetos fluídos, pode-se executar os processos de lagoas de estabilização (PERDOMO, 2002).

Um sistema de tratamento, desenvolvido pela Embrapa-SC e UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), consiste em um decantador seguido de lagoas anaeróbias. O tratamento é realizado por meio de quatro tipos de lagoas, ligadas em série. Destas, duas são anaeróbias, uma facultativa e a

outra de aguapé. As lagoas têm o objetivo de remover a carga orgânica, nutrientes e os patógenos e, permite que o efluente líquido fique de acordo com a legislação ambiental (PERDOMO, 2002). O processo de separação de fases remove aproximadamente 50% do material sólido dos dejetos, representando um volume de cerca de 10 a 15% do total de líquidos produzidos na granja.

O uso da cama sobreposta para criação de suínos, nas fases de crescimento e terminação, foi introduzido no Brasil, em 1993, pela Embrapa Suínos e Aves, pelos pesquisadores Paulo Armando de Oliveira e Juri Sobestiansky (MORÉS, 2000). Constitui-se num sistema de produção de suínos, em leito, formado por maravalha ou outro material semelhante (serragem, palha, casca de arroz, sabugo triturado de milho) onde os dejetos são misturados a esse leito, que é submetido ao processo de compostagem (OLIVEIRA, 2000).

Uma técnica alternativa que está em fase experimental e foi estudada por Brandão et al. (2003) é a utilização e confecção de filtros orgânicos.

A filtração é um tratamento primário que pode ser utilizado sedimentadores ou filtros. A ação mecânica de eliminação dos sólidos nos filtros está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores que os poros da camada filtrante. Ao entrar em operação, as partículas são retidas nos poros do meio filtrante, proporcionando seu acúmulo e, com isso, perda de carga. À proporção que se desenvolve a filtração, os vazios são obstruídos pelas partículas, reduzindo o diâmetro dos poros e passando, por conseguinte, a eliminar partículas de diâmetros cada vez menores (POVINELLI; MARTINS, 1973). No processo de filtração, além da remoção de sólidos, em suspensão, podem-se remover cor, gosto, odor, ferro e manganês (STEEL; MCGHEE, 1979).

A filtragem da água residuária da suinocultura, como etapa de tratamento do líquido, pode tornar menos problemática a aplicação e a distribuição dessas águas na cultura agrícola. A ação mecânica de eliminação dos sólidos em suspensão por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores 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, dada a sua rápida colmatação superficial e o impedimento ao fluxo normal da água residuária, razão por que se torna necessário o uso de materiais filtrantes alternativos (BRANDÃO et al., 2003). A utilização de materiais orgânicos, com capacidade para absorver/adsorver solutos, reter sólidos em suspensão e que sejam subprodutos de atividades agropecuárias e industriais, torna-se opção interessante, pela sua abundância, seu baixo custo de aquisição e o fato de serem resíduos que podem ser dispostos de forma harmônica no ambiente.

Resíduos orgânicos, 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 carvão vegetal, podem constituir importante opção de material filtrante para o uso no tratamento de águas residuárias de suinocultura (BRANDÃO et al., 2003). Após 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, ou seja, saturados de material absorvido, adsorvido ou simplesmente retido em seus poros, constituem lotes de material a ser compostado, podendo produzir, ao final do período de maturação, adubo orgânico de considerável valor fertilizante (BRANDÃO et al., 2003).

### **2.3 Eficiência de tratamento**

Pesquisas mostraram que os sistemas de filtro de areia na Dinamarca removem de 90 a 95% de substâncias orgânicas, 30 a 45% de nitrogênio e 40 a 60% de fósforo de esgotos domésticos. Em geral, sistemas de filtro de areia indicaram alta capacidade de remoção de DBO. Eficiências de purificação são tipicamente superiores a 90%.

A remoção de fósforo é afetada pelas propriedades químicas da areia. Em areia enriquecida com ferro, é possível alcançar eficiência de remoção de

70 a 90% de P em afluente contendo de 10 a 15 mg L<sup>-1</sup> de fósforo (GOLD et al., 1992).

Utilizando materiais alternativos, Brandão et al. (2003) observaram aumento na concentração de P<sub>-total</sub> nos primeiros volumes de poros de efluente, quando o material orgânico, empregado como filtro, foi casca de arroz, casca de café e sabugo de milho. Observaram também uma importante redução de Cu em todos os materiais utilizados como filtros, atingindo-se eficiência de remoção de 43,6% quando o material foi a serragem de madeira.

Monaco et al. (2004), trabalhando com filtros operando com serragem de madeira, observaram a remoção de fósforo em cerca de 65% nas três faixas avaliadas.

Check et al. (1994), avaliando sistema de filtro de areia de fluxo lateral no tratamento de efluente de tanque séptico, verificaram que o grau de redução de DBO foi alto, sendo sempre superior a 99%, e a redução de carbono orgânico total variou entre 86 e 91%. Nesses modelos, a nitrificação pareceu desenvolver-se depois de um período de três meses. Depois desse período inicial de operação, houve redução na concentração de amônia superior a 99,9%. Contudo, esses autores atribuíram essas reduções na concentração de amônia às alterações nas formas de nitrogênio, uma vez que houve aumento proporcional na concentração de nitrato e nitrito em relação ao valor presente no efluente.

Farooq et al. (1994) verificaram que a remoção de DBO, DQO, nitrato, fosfato e sulfato variou de 79 a 92%, 40 a 60%, 17 a 30%, 8,3 a 84% e 5 a 10%, respectivamente, em várias profundidades e granulometrias de areia mantidas nos filtros.

Monaco et al. (2004), trabalhando com diferentes granulometria da serragem de madeira, verificaram que a granulométrica correspondente ao maior diâmetro do material foi mais eficiente na remoção da DBO e DQO, com 40 e 80%, respectivamente. No caso de sólidos totais (ST), a maior granulometria foi mais eficiente, obtendo-se remoções em torno de 70%. A menor granulometria mostrou-se mais eficiente na remoção de nitrogênio (N<sub>-total</sub>), obtendo-se valores em torno de 50%. Não houve influência da granulometria na remoção de fósforo total, embora se tenha conseguido remoções de até 65%. O sódio e o potássio não foram removidos pelo filtro.

Observou-se uma remoção superior a 95% para o cobre e o zinco, e foi obtida maior eficiência na remoção do cobre quando se utilizou o material com a menor granulometria.

Magalhães et al. (2005) utilizaram bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira como materiais filtrantes e, observaram que o material é eficiente para a filtração das águas residuárias, alcançando-se taxas de remoção de 90 a 99% de sólidos em suspensão e de 43 a 57% de sólidos totais, nos filtros de serragem de madeira, 81 a 96% de sólidos em suspensão e de 50 a 56% de sólidos totais, nos filtros de bagaço de cana-de-açúcar.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar a eficiência de remoção de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ,  $\text{N}_{\text{total}}$ ,  $\text{DBO}_5$  e DQO de águas residuárias provenientes da suinocultura na filtragem com material alternativo e solo, foi conduzido experimento, na área experimental do CTI (Centro Técnico de Irrigação, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá - PR), com colunas de filtragem constituídas de material orgânico e solo. Como materiais filtrantes, foram utilizados bagaço de cana-de-açúcar (material orgânico) e solo.

O experimento foi arranjado em um delineamento em blocos inteiramente casualizados (DIC), com oito tratamentos, sendo dois materiais filtrantes e quatro volumes diferentes de água residuária (dejetos de suínos), com três repetições por tratamento.

#### 3.1 Obtenção da água residuária e material filtrante

Coletou-se a água residuária, no último tanque de decantação em uma suinocultura de 170 matrizes, cujo plantel se encontra em diferentes estágios de produção, localizado em Iguatemi, município de Maringá - PR cujas coordenadas geográficas são: latitude de 23° 25' S, longitude 51° 57' O e altitude de 550 m. A partir desse tanque, a água residuária era descartada no meio ambiente na forma de irrigação. A água residuária foi acondicionada em galões de 250 L para o transporte e, 24 h após, foi utilizada nos experimentos. Neste período, os galões foram mantidos à sombra à temperatura ambiente.

O bagaço de cana-de-açúcar foi obtido junto à Usaciga (Usina de Álcool e Açúcar de Cidade Gaúcha), localizada na região noroeste do Estado do Paraná, no município de Cidade Gaúcha - PR. O solo utilizado foi coletado na área do Centro Técnico de Irrigação e classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico.

### 3.2 Características do material filtrante

As características químicas dos materiais filtrantes, antes da realização dos tratamentos (passagem da água residuária pelas colunas), estão descritas na Tabela 1 para o bagaço de cana-de-açúcar e Tabela 2 para o Solo.

Tabela 1 – Resultado de análise química do bagaço de cana de açúcar, antes da aplicação do efluente. UEM, Maringá - PR.

Identificação	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>total</sub>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>+2</sup>	N <sub>total</sub>
Bagaço Puro	590,47	214,16	754,65	466,15	256,46	10,30	21,42	3309,60

Tabela 2 – Resultado de análise química do solo, antes da aplicação do efluente. UEM, Maringá, PR.

Identificação	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC	P	C
Solo	5,0	0,00	3,97	2,43	1,91	0,13	4,47	8,44	2,10	3,16

### 3.3 Preparo das colunas de filtragem

As colunas constituíram-se de tubos de PVC (poli cloreto de vinila) branco de 100 mm de diâmetro com 1 m de altura. Na base das colunas, foi adaptado telas de nylon com malha de 1 mm, para evitar o transporte do material filtrante para fora da coluna. O material filtrante foi depositado até a altura de 90 cm na coluna.

Para o preparo das colunas com o bagaço de cana-de-açúcar, o material foi previamente triturado e o solo peneirado em peneira com malha de 2 mL para se obter uma granulometria uniforme e eliminar as sujeiras. Ambos os materiais foram mantidos à sombra durante 72 h, com o objetivo de se retirar o excesso de umidade. Decorrido este período, o material foi colocado dentro das colunas.

A deposição do bagaço de cana-de-açúcar, bem como o solo dentro das colunas de filtragem, foi realizada de forma gradual, em camadas de 10

cm. Ambos os materiais, utilizados para a composição das colunas, por onde passou a água residuária, foram pesados após o preenchimento para a determinação da densidade dos materiais filtrantes (bagaço de cana-de-açúcar e solo), após devidamente acondicionado e compactado dentro das colunas. Para isso, as colunas, antes e após terem sido preenchidas, foram pesadas, e, pela subtração da segunda massa (coluna preenchida até a altura de 0,90 m) da primeira (coluna vazia), foi obtida a massa do material filtrante antes de ser aplicada a água residuária (Tabela 3).

Tabela 3 – Massa e densidade do bagaço de cana-de-açúcar e solo depositada nas colunas para a realização dos experimentos.

Trat.	Bagaço de cana-de-açúcar			Solo			
	Massa Inicial (kg)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Massa Inicial (kg)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	
T1R1 <sup>1</sup>	1440,01	7868.6	0.1830	5464.30	7868.6	0.6944	
T1R2	1460,91	7868.6	0.1857	a <sup>2</sup> 5488.34	7868.6	0.6975	a
T1R3	1436,88	7868.6	0.1826	5448.95	7868.6	0.6925	
T2R1	1398,21	7868.6	0.1777	5450.76	7868.6	0.6927	
T2R2	1429,56	7868.6	0.1817	a 5486.32	7868.6	0.6972	a
T2R3	1375,22	7868.6	0.1748	5510.56	7868.6	0.7003	
T3R1	1415,98	7868.6	0.1800	5477.23	7868.6	0.6961	
T3R2	1411,80	7868.6	0.1794	a 5468.14	7868.6	0.6949	a
T3R3	1445,24	7868.6	0.1837	5443.90	7868.6	0.6919	
T4R1	1415,98	7868.6	0.1800	5440.87	7868.6	0.6915	
T4R2	1387,76	7868.6	0.1764	a 5432.79	7868.6	0.6904	a
T4R3	1409,71	7868.6	0.1792	5483.29	7868.6	0.6969	

<sup>1</sup> T1 = Tratamento com volume de 3,9 L; <sup>2</sup>T2 = Tratamento com volume de 7,8 L; <sup>3</sup>T3 = Tratamento com volume de 11,7 L; <sup>4</sup>T4 = Tratamento com volume de 15,6 L de água residuária de suinocultura.

<sup>2</sup> Para a variável densidade inicial (antes da passagem da água residuária), foi realizado análise estatística, aplicando-se o teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de significância, em que letras minúsculas iguais na vertical não diferem entre si.

Sob a superfície das paredes internas das colunas, foi aplicada cola de PVC (policloreto de vinila), pois esta não libera substâncias em contato com água, e ambos os materiais filtrantes (bagaço de cana-de-açúcar e solo) foram colados, para minimizar o fluxo preferencial do dejetos líquido. Após 24 h, período necessário para a completa secagem, as colunas foram então preenchidas.

Em função da heterogeneidade das partículas do bagaço de cana-de-açúcar, utilizadas no preenchimento das colunas a massa seca, foi diferente entre as colunas, isso foi também observado para o solo, no entanto, em menor proporção, de acordo com a Tabela 3.

### **3.4 Tratamentos**

Foram realizados quatro tratamentos, compreendidos em quatro diferentes volumes de água residuária aplicada sobre dois tipos colunas, sendo uma composta de bagaço de cana-de-açúcar e outra composta de solo (Tratamento 1 = 3,9 L; Tratamento 2 = 7,8 L; Tratamento 3 = 11,7 L; Tratamento 4 = 15,6 L de água residuária) originados de coletas realizadas, conforme descrito no item 3.1 e estes foram aplicados em colunas de PVC, montadas conforme o item anterior, com bagaço de cana-de-açúcar e solo. As colunas foram dispostas paralelamente, seguindo a ordem dos tratamentos, dependuradas em suporte de madeira com altura de 1,80 m, sustentadas com um arranjo de fio metálico, de modo que a extremidade inferior permanecesse igualmente para todos os tratamentos a altura de 40 cm, correspondente aos recipientes de coleta disposto logo abaixo. Os recipientes eram de material plástico com capacidade de 20 L.

Os volumes de água residuária foram aplicados nas colunas de forma gradual, sendo que inicialmente este foi aplicado até o material filtrante atingir a saturação, no intuito de manter o fluxo contínuo da água residuária no interior da coluna. Após a saturação das colunas, a água residuária foi repostada de forma gradual de modo que a superfície do material filtrante não ficasse exposta.

Os volumes da água residuária aplicada, no experimento (3,9 L; 7,8 L; 11,7 L; 15,6 L) em colunas de 7,86 L, representam a aplicação de 496,82; 993,63; 1490,45; 1987,26 mm m<sup>-2</sup>.

### **3.5. Caracterização química da água residuária**

Amostras da água residuária coletadas, conforme o item 3.1, antes e depois de terem sido submetidas aos tratamentos (colunas de bagaço de cana-

de-açúcar e solo), foram acondicionadas em garrafas de 500 mL, que encaminhadas ao Laboratório de Saneamento foram analisadas a DQO e a DBO e Laboratório de Solos, e processadas análises dos seguintes elementos:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ , e  $\text{N}_{\text{total}}$ .

Nas análises de DBO e de DQO, seguiu-se a metodologia descrita pela APHA (1995), sendo a DBO feita por determinação de oxigênio dissolvido pelo método iodométrico e a da DQO pelo método do refluxo aberto.

Os macro e micronutrientes foram determinados conforme segue:  $\text{N}_{\text{total}}$ : para a determinação foi coletada uma alíquota de 3 mL pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1985). Para a determinação da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$ , foram coletadas alíquotas de 5 mL para a mineralização, via digestão nitro-perclórica (3 mL de ácido nítrico: 1 mL de ácido perclórico). As concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$  foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, sendo que a concentração de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  foi determinada por fotometria de emissão de chama e a de  $\text{P}_{\text{total}}$  por colorimetria pelo método de ácido ascórbico modificado por Braga e Defelipo (1974). As características da água residuária antes de serem submetidas aos tratamentos estão expressas no Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização química da água residuária de suinocultura coletadas na região de noroeste do Estado do Paraná.

Identificação <sup>1</sup>	Unid.	Água Residuária
$\text{Ca}^{2+}$		74,16
$\text{Mg}^{2+}$		33,53
$\text{K}^+$		117,57
$\text{Na}^+$	mg kg <sup>-1</sup>	46,37
$\text{P}_{\text{total}}$		47,17
$\text{Cu}^{2+}$		0,47
$\text{Zn}^{2+}$		0,80
$\text{N}_{\text{total}}$		333,62
DBO	mg L <sup>-1</sup>	336,33
DQO		674,67

<sup>1</sup> Caracterização da água residuária antes de ser submetidos aos tratamentos.

### **3.6 Avaliação das alterações químicas ocorrida no material filtrante**

Para esta avaliação, o bagaço de cana-de-açúcar e o solo utilizado para a composição das colunas, por onde passou a água residuária, foram coletados antes e depois da aplicação dos tratamentos. Ambos, bagaço de cana-de-açúcar e solo, após o tratamento, foram secos em estufa com circulação forçada de ar aquecida a 60°C por 48 h.

Para a análise química, amostras dos materiais filtrantes foram coletadas antes e após a água residuária passar pela coluna. Após a passagem da água residuária, os materiais foram secos, e o bagaço de cana-de-açúcar foi triturado em moinho de folha Haley. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Maringá, Campus-sede para serem realizadas as análises químicas dos materiais.

Amostras do bagaço de cana-de-açúcar de 0,5 g foram utilizadas para a determinação do  $N_{total}$ , pelo método Kjeldahl, e para a mineralização, via digestão nitro-perclórica (3 mL de ácido nítrico: 1 mL de ácido perclórico). No extrato, foram feitas as mesmas determinações citadas anteriormente para a água residuária. Para a análise química do solo, o Laboratório seguiu a metodologia, segundo a Embrapa (1997).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização química da água residuária

Após análises comparativas da água residuária, antes e após ter sido aplicada nas colunas, contendo como material filtrante, bagaço de cana-de-açúcar e solo, foi realizada a caracterização do mesmo, ressaltando as alterações ocorridas. As diferenças observadas foram analisadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de significância.

#### 4.1.1 Caracterização dos elementos da água residuária percolada, após a passagem pela coluna composta de bagaço de cana-de-açúcar

Alterações significativas puderam ser constatadas na água residuária, após ter passada pela coluna, contendo bagaço de cana-de-açúcar, cujas alterações podem ser observadas na Figura 1 e os dados estão expressos no Tabela 5.

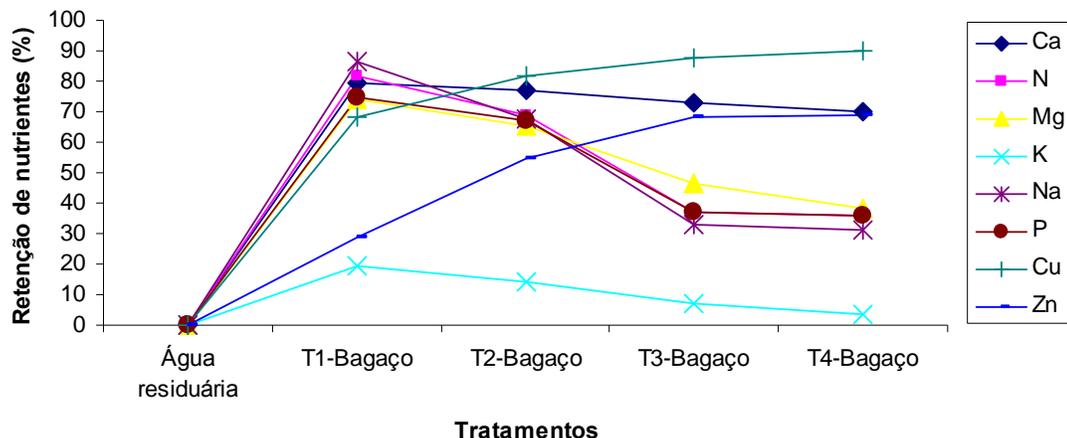


Figura 1 – Remoção dos nutrientes do percolado pela coluna de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 5 – Caracterização química do percolado pela coluna de bagaço de cana-de-açúcar.

Trat.	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	N (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %
água residuária	75,16e <sup>2</sup>	--- ---	333,62d	--- ---	33,54c	--- ---	47,17c	--- ---
T1 <sup>1</sup>	15,45 <sup>a</sup>	79,44	60,68a	81,81	8,63a	74,27	11,97a	74,62
T2	17,37b	76,89	104,80b	68,59	11,55a	65,56	15,40a	67,35
T3	20,44c	72,80	210,53c	36,90	17,86b	46,75	29,64b	37,16
T4	22,56d	69,98	213,29c	36,07	20,74b	38,16	30,17b	36,04

Trat. <sup>1</sup>	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %
água residuária	117,57 <sup>a</sup>	--- ---	46,37d	--- ---	0,47c	--- ---	0,80c	--- ---
T1	94,63 <sup>a</sup>	19,51	6,34a	86,33	0,15b	68,09	0,57b	28,75
T2	100,74 <sup>a</sup>	14,31	15,03b	67,59	0,09a	81,49	0,36a	54,58
T3	109,43 <sup>a</sup>	6,92	31,19c	32,74	0,06a	87,87	0,25a	68,33
T4	113,57 <sup>a</sup>	3,40	31,80c	31,42	0,05a	90,00	0,25a	68,75

<sup>1</sup> T1= Tratamento com volume de 3,9 L; <sup>2</sup>T2 = Tratamento com volume de 7,8 L; <sup>3</sup>T3 = Tratamento com volume de 11,7 L; <sup>4</sup>T4 = Tratamento com volume de 15,6 L de água residuária de suinocultura; Trat. = Água residuária (efluente puro-sem tratamento).

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Com exceção do Cu, os demais elementos, Ca, N<sub>total</sub>, Mg, K, Na, P<sub>total</sub> e Zn foram observados, em maiores quantidades na água residuária percolada analisada, após passagem pelas colunas à medida que o volume de água residuária aplicado aumentava (3,9-7,8-11,7-15,6 L). Isso pode ser explicado pela diminuição da capacidade da coluna em reter estes elementos com o aumento dos volumes aplicados.

Para o elemento Ca, a maior retenção foi observada para o Tratamento 1 (79,44%), em que foi aplicada a dose de 3,9 L. À medida que foram aumentadas as dosagens da água residuária, a coluna perdeu a eficiência para a retenção do Ca, 76,89, 72,80 e 69,98%, respectivamente. Ainda em relação ao Ca, o material orgânico (bagaço de cana-de-açúcar) reteve quantidades expressivas em relação ao solo independente do volume da água residuária aplicado.

Comportamento semelhante foi observado para o elemento N<sub>total</sub>, sendo o Tratamento 1 o mais eficiente quanto à retenção deste elemento

(81,81%), sendo seguido dos Tratamentos 2 (68,59%), 3 e 4 (36,90 e 36,07%) que não diferiram significativamente. Semelhantemente, elemento Mg foi retido de forma decrescente à medida que os volumes aplicados nas colunas aumentavam (74,27, 65,56, 46,75 e 38,16%).

O fósforo total (P) foi retido de forma eficiente nas colunas nos Tratamentos 1 e 2 (74,62 e 67,35%), que não diferiram estatisticamente, e de forma menos eficiente os Tratamentos 3 e 4 (37,16 e 36,04%, respectivamente), também não diferiram estatisticamente.

Segundo Kiehl (1985), o fósforo e o nitrogênio apresentam forte associação com material orgânico, Monaco (2004), trabalhando com a eficiência da granulometria de serragem de madeira, conseguiu remoção de 65% de fósforo nas três faixas avaliadas.

Segundo Brandão (1999), o cálcio e o magnésio foram retidos significativamente por filtros compostos de bagaço de cana-de-açúcar. Segundo a autora, o comportamento destes elementos foi semelhante, sendo retidos 80 e 76%, respectivamente.

A retenção de K foi baixa, quando comparada com a capacidade de retenção dos demais elementos. No entanto, o decréscimo na retenção também pôde ser observado na medida em que se aumentava o volume da água residuária aplicada (19,51, 14,31, 6,92 e 3,40%). Para esse elemento, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Para o Na, não diferente do K, a maior retenção também foi observada no Tratamento 1, onde foi aplicado o menor volume da água residuária entre os tratamentos. Esta retenção diminuía na medida em que se aumentava o volume da água residuária aplicada (67,59, 32,74 e 31,42%), não apresentando diferenças significativas entre os dois últimos tratamentos (T3 e T4).

Isto pode estar relacionado ao fato desses dois elementos (sódio e potássio) não estarem associados ao material orgânico (KIEHL, 1985). Segundo Scherer et al. (1994), tanto o potássio como o sódio se encontram quase que totalmente na forma mineral na água residuária.

Em relação ao Zn e ao Cu, uma relação inversa aos demais elementos pôde ser constatada. Para o Zn, os Tratamentos 4, 3 e 2 foram os mais eficientes de forma decrescente, porém não diferiram estatisticamente (68,75, 68,33 e 54,58%, respectivamente) quando comparados ao Tratamento 1

(28,75%). Igualmente para o Cu, os Tratamentos 4, 3 e 2 também foram os mais eficientes, não diferindo estatisticamente (90,0, 87,87 e 81,49%, respectivamente). Já, o Tratamento 1 foi o menos eficiente, 68,09%.

A retenção de metais pesados, em resíduos orgânicos (casca de arroz), foi verificada por Munaf e Zein (1997). Eles obtiveram retenção de até 85% dos metais pesados  $Zn^{2+}$  e  $Cu^{2+}$  em solução, dependendo do tamanho das partículas da casca do arroz. Brandão (1999), trabalhando com filtro orgânico (bagaço de cana-de-açúcar), observou que estes foram capazes de reter 69,21% para o  $Zn^{2+}$  e 94,50% para o  $Cu^{2+}$  no primeiro volume de poros coletados do percolado.

O material bagaço de cana-de-açúcar foi capaz de reter grandes quantidades de elementos que a partir de determinados níveis podem se tornar nocivos, segundo a Resolução do Conama nº 357/2005, no entanto, apesar de ter reduzido significativamente o potencial poluente da água residuária, os níveis obtidos foram ainda acima dos máximos permitidos pela Resolução acima citada.

#### 4.1.2 Caracterização do percolado pela coluna composta de solo

Alterações significativas também puderam ser observadas na água residuária, após a sua passagem, pelas colunas contendo solo; estas podem ser observadas na Figura 2 e os dados estão expressos no Quadro 6.

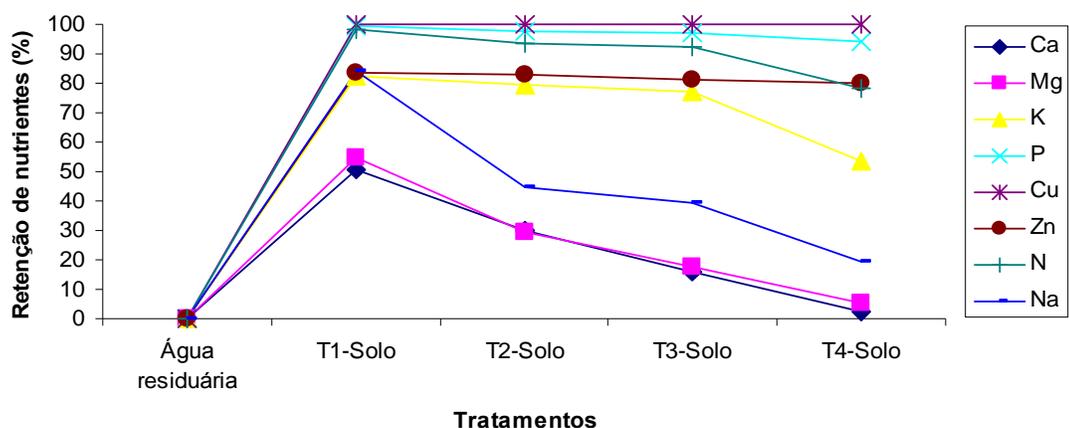


Figura 2 – Remoção dos nutrientes do percolado, após a passagem pela coluna de solo.

Tabela 6 – Caracterização química do percolado pela coluna de solo.

Trat.	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	N (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	P (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %
água residuária	75,16d <sup>2</sup>		333,62c		33,54d		47,17d	
T1 <sup>1</sup>	37,16a	50,56	5,52a	98,35	15,20a	54,68	0,40a	99,15
T2	52,53b	30,11	21,14a	93,66	23,76b	29,16	1,00b	97,88
T3	63,42c	15,62	24,82a	92,56	27,63c	17,62	1,40b	97,03
T4	73,60d	2,08	71,71b	78,51	31,79d	5,22	2,73c	94,21

Trat.	K (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Na (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Retenção %
água residuária	117,57c		46,37d		0,47b		0,80c	
T1	20,58a	82,50	7,26a	84,34	0,00a	100,00	0,13a	83,38
T2	24,07a	79,53	25,72b	44,53	0,00a	100,00	0,14a	83,00
T3	26,77a	77,23	28,13b	39,34	0,00a	100,00	0,15b	81,25
T4	54,53b	53,62	37,44c	19,26	0,00a	100,00	0,16b	80,00

<sup>1</sup> T1 = Tratamento com volume de 3,9 L; <sup>2</sup>T2 = Tratamento com volume de 7,8 L; <sup>3</sup>T3 = Tratamento com volume de 11,7 L; <sup>4</sup>T4 = Tratamento com volume de 15,6 L de água residuária de suinocultura; Test. = Água residuária (efluente puro-sem tratamento).

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Comportamento semelhante pôde ser observado para o Ca e o Mg quanto à capacidade do material em reter estes elementos. À medida que os níveis de água residuária aumentaram, a retenção destes dois elementos diminuiu. A quantidade de Ca e Mg retido, quando aplicado 3,9 L da água residuária, foi de 50,56 e 54,68%, respectivamente. A partir daí, a eficiência da coluna caiu bruscamente à medida que a quantidade da água residuária aplicada aumentou (30,11% Ca e 26,16% Mg para o volume de 7,8 L; 15,62% Ca e 17,62% Mg para o volume de 11,7 L; 2,08% Ca e 5,22% Mg para o volume de 15,6 L), mostrando saturação. Segundo Falade (1973), o comportamento do magnésio no solo foi similar ao do cálcio, sendo provavelmente influenciados pelos mesmos fatores químicos.

A remoção do Cu, P e Zn, pela coluna de solo, mostrou-se elevada, chegando a 100% de retenção do Cu em todos os tratamentos. Em relação ao P, mesmo que diferentes estatisticamente, todos os tratamentos se mostraram eficientes na retenção deste elemento, sendo de 94,5% quando aplicado 15,6 L da água residuária e 99,15% quando aplicado 3,5 L. O solo também apresentou alta retenção para o Zn, em todos os tratamentos, que embora diferissem estatisticamente, mostraram-se eficientes em todos os casos (83,38%-T1; 83%-T2; 81,25%-T3; 80%-T4).

Para o Na, a maior retenção foi observada no Tratamento 1 com 84,34%, em que foi aplicado o menor volume da água residuária entre os tratamentos. Esta retenção foi inversamente proporcional ao volume da água residuária aplicada (44,53%-T2, 39,34%-T3, 19,26%-T4) não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos (T2 e T3). O nitrogênio ( $N_{total}$ ) foi retido de forma eficiente nas colunas, nos Tratamentos 1, 2 e 3 (98,35, 93,66 e 92,56%, respectivamente), que não diferiram estatisticamente, e de forma menos eficiente no Tratamento 4 (78,51%). Comportamento semelhante foi observado para o elemento Na, sendo o Tratamento 1 o mais eficiente quanto à retenção deste elemento (82,50%), seguido dos Tratamentos 2 (79,53%), 3 e 4 (77,23 e 53,62%, respectivamente). O Tratamento 4 diferiu estatisticamente dos demais tratamentos.

#### 4.1.3 Análise da DBO e DQO, após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo

Qualitativamente, as características do percolado, quanto à DBO e DQO, após a passagem pelos filtros, mostraram-se similares, sendo o Tratamento 1 da coluna composta de solo, onde foi aplicado 3,9 L da água residuária, o que apresentou maior valor de redução para estas variáveis (96,93 e 94,86%, respectivamente). Ainda para a coluna composta de solo, essa redução decaiu na medida em que aumentaram os volumes aplicados (T2, T3 e T4) não apresentando diferenças significativas para ambos, DBO e DQO; tal redução, provavelmente, pode estar diretamente relacionada à retenção, praticamente de toda matéria orgânica retida nos primeiros centímetros das colunas de solo. Assim, o material percolado apresentou menor quantidade de matéria orgânica e, portanto, requer uma quantidade de oxigênio, seja via química e/ou biológica, muito menor do que a água residuária, antes de ser aplicada nas colunas. Fato contrário foi observado para a qualidade do percolado, após a passagem pela coluna composta de bagaço de cana-de-açúcar, em que o Tratamento 1 (3,9 L de água residuária) apresentou os maiores valores de DBO e DQO, 228,2 e 401,73%, respectivamente, superiores à água residuária, antes da passagem pelas colunas. Neste caso, o bagaço de cana-de-açúcar contribuiu para reduzir ainda mais a qualidade da água residuária, por meio do acréscimo de matéria orgânica.

À medida que os volumes aplicados, nas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar, aumentaram (T2, T3 e T4), ocorreu, tanto para a DBO como para a DQO, a redução da matéria orgânica no percolado, mesmo assim permaneceu acima dos valores obtidos para a água residuária (sem tratamento), isto pode ter ocorrido devido à água residuária ter solubilizado e transportado açúcares, carboidratos e outros compostos ou íons oxidáveis presentes no material filtrante. Isso pode ser observado na Figura 3 e Tabela 7.

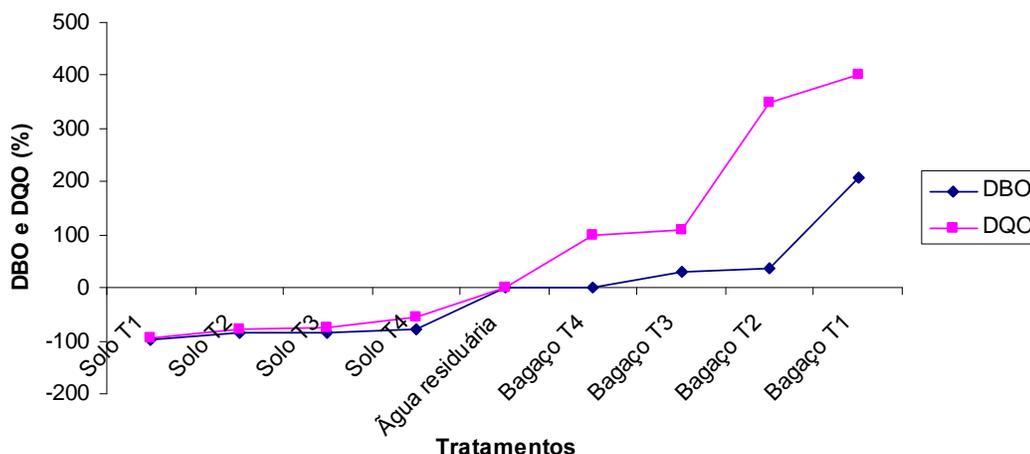


Figura 3 – Demanda bioquímica e Química de oxigênio, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

Tabela 7 – Demanda bioquímica e Química de oxigênio, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

Trat. <sup>1</sup>	DBO mg L <sup>-1</sup>	%		Trat.	DQO mg L <sup>-1</sup>	%	
SoloT1	10,33	96,93	a <sup>2</sup>	SoloT1	34,67	94,86	a
SoloT2	45,67	86,42	a	SoloT2	138,67	79,45	a
SoloT3	52,67	84,34	a	SoloT3	160,00	76,28	a
SoloT4	76,00	77,40	a	SoloT4	304,67	54,84	a
Testem.	336,33	0,00	b	Testem.	674,67	0,00	b
BagaçoT4	337,00	(-) 0,20	b	BagaçoT4	1339,00	(-) 98,47	c
BagaçoT3	442,67	(-) 31,62	c	BagaçoT3	1412,67	(-) 109,39	c
BagaçoT2	457,00	(-) 35,88	c	BagaçoT2	3021,67	(-) 347,88	d
BagaçoT1	1036,67	(-) 208,23	d	BagaçoT1	3385,00	(-) 401,73	e

<sup>1</sup> T1 = Tratamento com volume de 3,9 L; <sup>2</sup>T2 = Tratamento com volume de 7,8 L; <sup>3</sup>T3 = Tratamento com volume de 11,7 L; <sup>4</sup>T4 = Tratamento com volume de 15,6 L de água residuária de suinocultura; Trat. = Água residuária (efluente puro-sem tratamento).

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Quantitativamente, segundo a Figura 4 e Tabela 8, comparando as concentrações oxigênio exigidos na DBO e DQO, constatou-se decrescente demanda por este elemento, conforme diminuem-se os volumes aplicados sobre as colunas compostas de solo, relativo à água residuária, antes de passar pelas colunas. No entanto, estes valores permaneceram acima dos limites estabelecidos pelo Conama (DBO 10 mg L<sup>-1</sup> e DQO 4 mg L<sup>-1</sup>) para lançamentos de efluentes. Os filtros compostos de bagaço de cana-de-açúcar elevaram a DBO e a DQO na medida em que os volumes aplicados sobre as colunas aumentaram, sendo estes aumentos maiores que três e 11 vezes, respectivamente, quando comparado à água residuária, antes de passar pelas colunas.

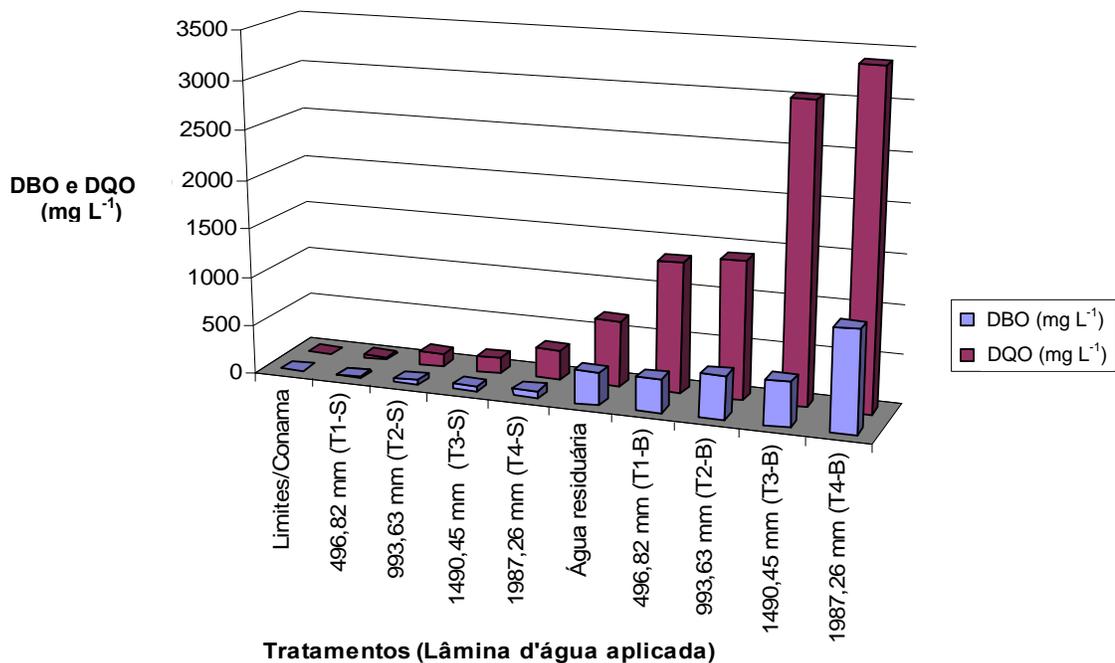


Figura 4 – Demanda bioquímica e química de oxigênio da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama.

Tabela 8 – Demanda bioquímica e química de oxigênio da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama.

Tratamentos	DBO (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )
Limites do Conama	10.00	4.00
496,82 mm (T1-Solo)	10.33	34.67
993,63 mm (T2-Solo)	45.67	138.67
1490,45 mm (T3-Solo)	52.67	160.00
1987,26 mm (T4-Solo)	76.00	304.67
Água residuária	336.33	674.67
496,82 mm (T1-Bagaço)	337.00	1339.00
993,63 mm (T2-Bagaço)	442.67	1412.67
1490,45 mm (T3-Bagaço)	457.00	3021.67
1987,26 mm (T4-Bagaço)	1036.67	3385.00

#### 4.1.4 Eficiência dos filtros

A eficiência dos filtros (compostos de bagaço de cana-de-açúcar e solo), quanto à remoção de elementos químicos presentes na água residuária, pode ser comparada de modo a se ressaltar as melhores características de cada filtro.

Segundo a Resolução do Conama nº 357/2005, que estabelece limites, condições e padrões de lançamento de qualquer tipo de efluentes,, destacamos o Cu, Zn, N<sub>Total</sub> e P, cujos limites de concentração estão estabelecidos em 0,013 mg L<sup>-1</sup>, 5 mg L<sup>-1</sup>, 13,3 mg L<sup>-1</sup> e 0,05 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. A coluna composta de solo mostrou-se eficiente para a remoção do Cu e Zn, reduzindo a concentração desses elementos a níveis permitidos, segundo a Resolução acima citada. No entanto, a coluna composta de bagaço de cana-de-açúcar mostrou-se eficiente apenas na remoção de Zn, para o elemento Cu que não atingiu os limites estabelecidos pelo Conama, permanecendo acima dos padrões de lançamentos de efluentes (Figura 5 e Tabela 9).

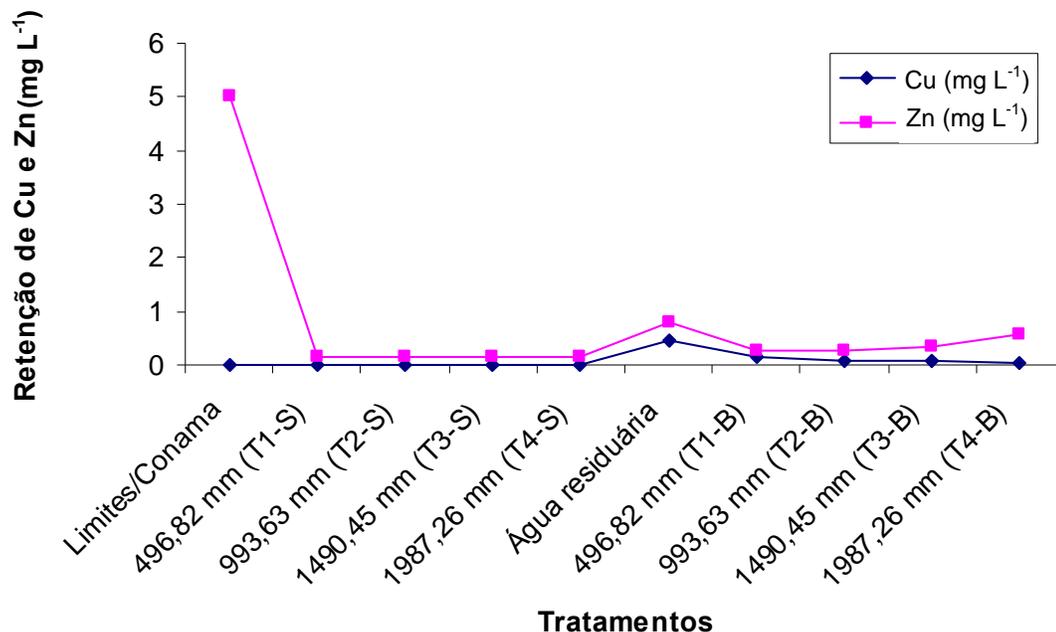


Figura 5 – Cobre e Zinco da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama.

Tabela 9 – Fósforo (P), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Nitrogênio Total (N<sub>Total</sub>) da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama.

Tratamento	P (mg L <sup>-1</sup> )	Cu (mg L <sup>-1</sup> )	Zn (mg L <sup>-1</sup> )	N (mg L <sup>-1</sup> )
Limites do Conama	0,05	0,013	5,00	13,30
496,82 mm (T1-Solo)	0,40	0,00	0,13	5,52
993,63 mm (T2-Solo)	1,00	0,00	0,14	21,14
1490,45 mm (T3-Solo)	1,40	0,00	0,15	24,82
1987,26 mm (T4-Solo)	2,73	0,00	0,16	71,71
Água residuária	47,17	0,47	0,80	333,62
496,82 mm (T1-Bagaço)	11,97	0,15	0,25	60,68
993,63 mm (T2-Bagaço)	15,40	0,087	0,25	104,80
1490,45 mm (T3-Bagaço)	29,64	0,057	0,36	210,53
1987,26 mm (T4-Bagaço)	30,17	0,047	0,57	213,29

Os limites para P e N, estabelecidos pelo Conama, são 0,05 mg L<sup>-1</sup> e 13,3 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Ambos os filtros reduziram significativamente a presença destes elementos na água residuária, no entanto, estes permaneceram em níveis fora dos padrões estabelecidos como permitidos para lançamentos de efluentes (Figura 6 e Tabela 9), a exceção do primeiro

tratamento com o filtro composto de solo, que reduziu os níveis de nitrogênio para 5,52 mg L<sup>-1</sup>, registrando os limites estabelecidos pelo Conama.

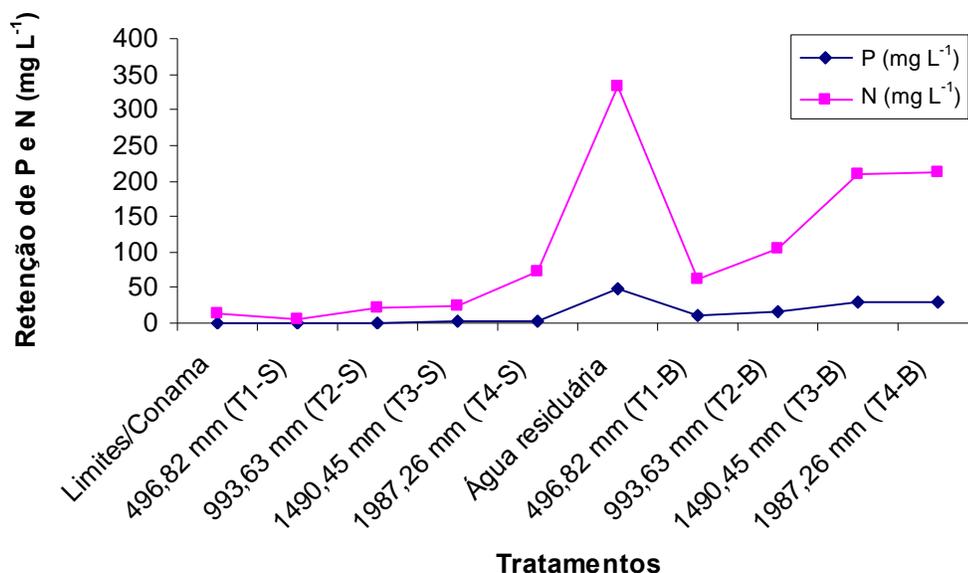


Figura 6 – Fósforo e Nitrogênio total da água residuária, antes e após a passagem pelas colunas compostas de bagaço de cana-de-açúcar e solo, bem como o limite estabelecido pelo Conama.

O filtro composto de bagaço de cana-de-açúcar mostrou-se mais eficiente apenas na remoção de Ca (79,44 e 50,56%, respectivamente, para o Tratamento 1) e Mg (74,27 e 54,68%, respectivamente, para o Tratamento 1), quando comparado ao filtro composto de solo (aplicação de 3,9 L de água residuária). À medida que os volumes aumentaram, observou-se decréscimo na capacidade de ambos os filtros em reterem estes elementos (Figuras 7 e 8). Quanto à remoção de Na, tanto o filtro composto de bagaço de cana-de-açúcar quanto o filtro composto de solo mostraram-se equivalentes, sendo esta, máxima para o Tratamento 1 (86,33 e 84,34%, respectivamente) e decrescendo nos Tratamentos 2 (67,59 e 44,53%, respectivamente), 3 (32,74 e 39,34%, respectivamente) e 4 (31,42 e 19,26%, respectivamente) (Figura 9).

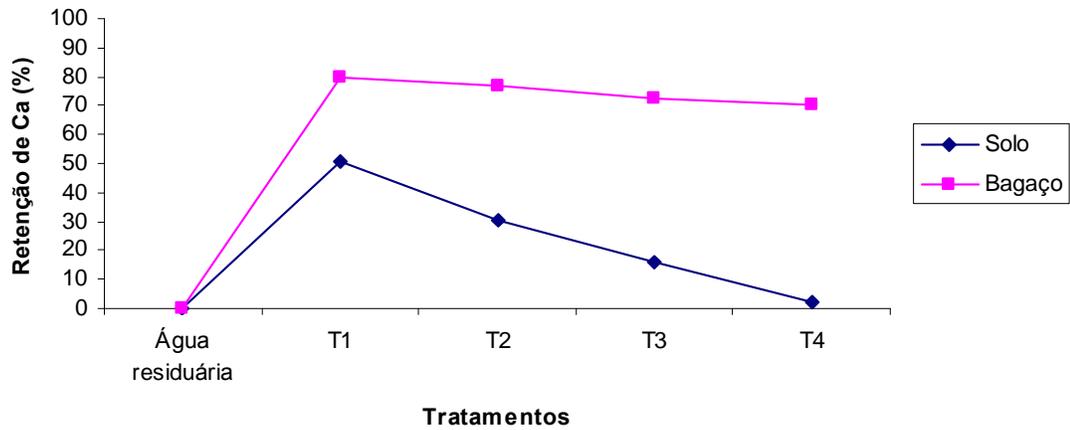


Figura 7 – Comportamento do Ca, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

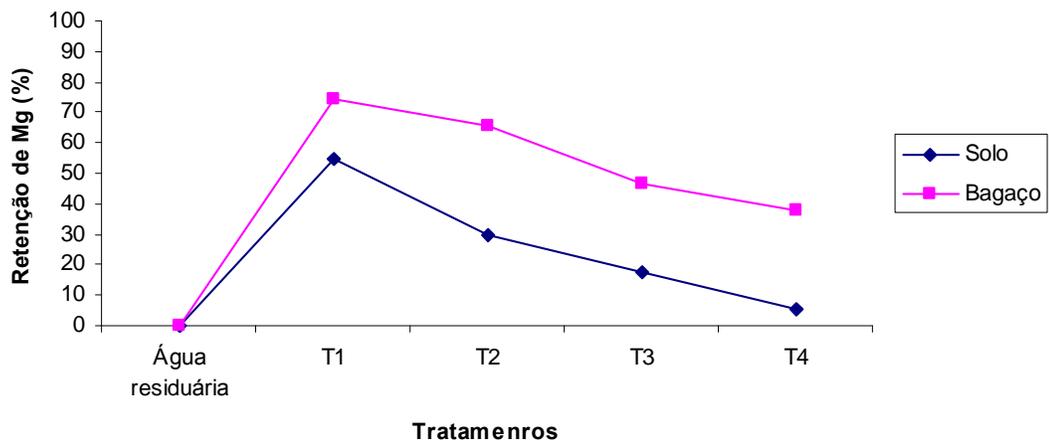


Figura 8 – Comportamento do Mg, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

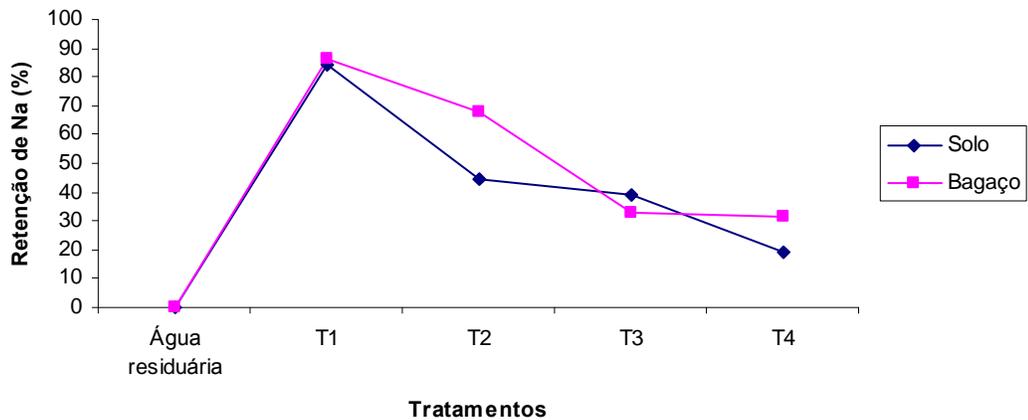


Figura 9 – Comportamento do Na, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

Nos demais tratamentos, a coluna composta de solo mostrou-se mais eficiente para a remoção dos demais elementos (N, K, P, Cu, Zn). Dentre estes elementos, as maiores diferenças entre os tratamentos, coluna composta de bagaço de cana-de-açúcar e solo, foram observadas, para o K que apresentou em ambas as colunas, as maiores taxas de remoção no Tratamento 1 (19,51 e 82,50%, respectivamente), decaindo com o acréscimo dos volumes aplicados (Figura 10). Entre as colunas de retenção, a coluna composta de solo reteve as maiores quantidades de P, sendo mais elevada no Tratamento 1 (99,15%). No entanto, também reteve quantidades expressivas deste elemento, nos demais tratamentos, pouco diferindo do melhor (T2-97,88%; T3-97,03%; T4-94,21%) (Figura 11). Semelhante ao ocorrido com o P, a coluna de retenção composta de solo apresentou os melhores valores de retenção para o N, sendo máxima no Tratamento 1 (98,35%), decaindo para 93,66, 92,56 e 78,51%, nos Tratamentos 2, 3 e 4, respectivamente (Figura 12).

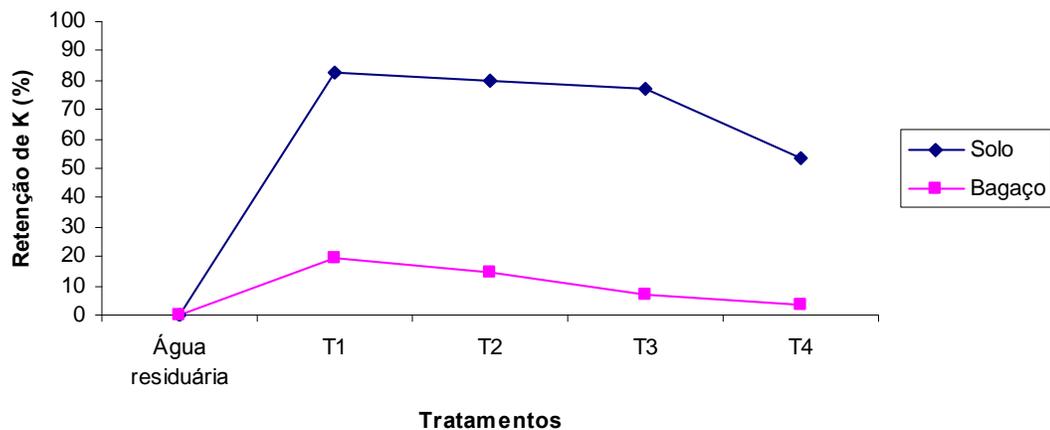


Figura 10 – Comportamento do K, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

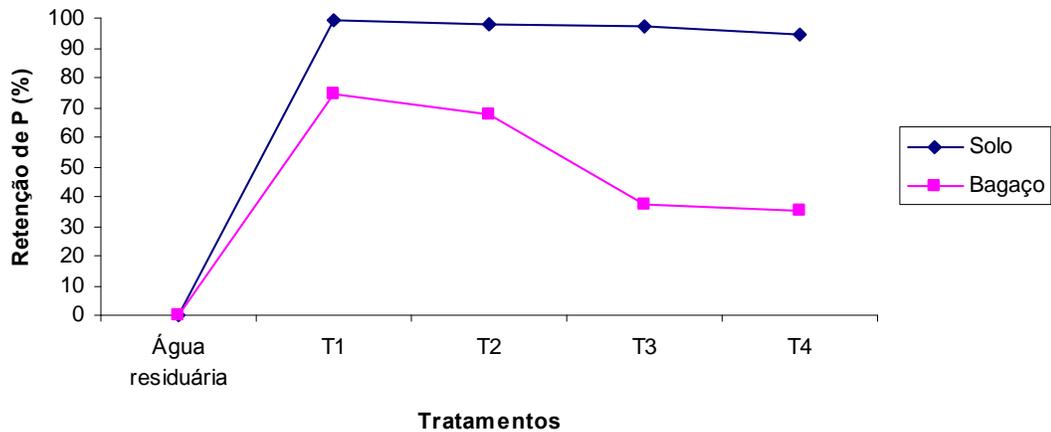


Figura 11 – Comportamento do P, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

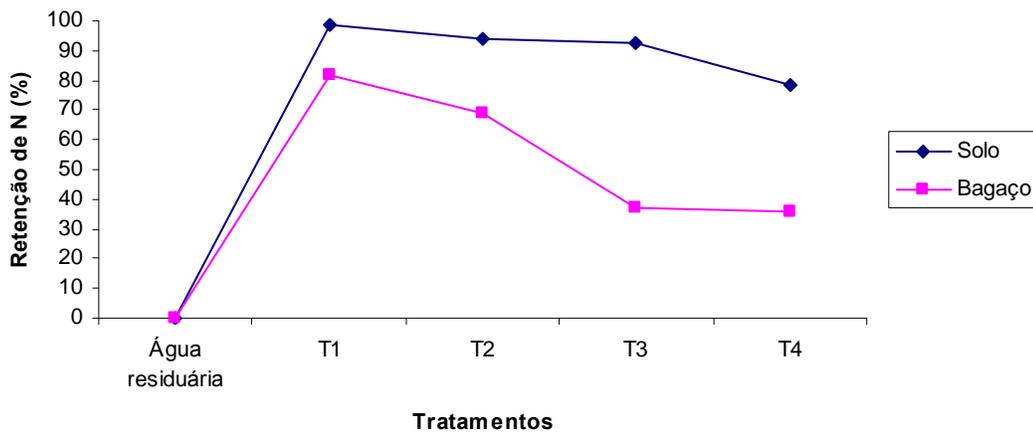


Figura 12 – Comportamento do N, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

Fato contrário foi observado para os elementos Zn e Cu. Este último contido na água residuária foi totalmente retido nas colunas compostas de solo, em todos os tratamentos. Este mesmo elemento, no filtro com bagaço de cana-de-açúcar, foi retido em 68,09% no Tratamento 1; 81,49% no Tratamento 2; 87,87% no Tratamento 3; e 90,0% no Tratamento 4 (Figura 13). Quanto ao Zn, uma retenção crescente desse elemento foi observada quando a água residuária foi aplicada na coluna composta de bagaço de cana-de-açúcar, com o aumento dos volumes aplicados (T1- 28,75%; T2- 55%; T3- 68,38%; T4- 68,75%), semelhante ao ocorrido com o Cu neste mesmo tipo de filtro. Já, o filtro composto de solo reteve quantidades semelhantes em todos os

tratamentos, no entanto diferiram significativamente, sendo a maior retenção constatada para o Tratamento 1 (83,75%) e a menor no Tratamento 4 (80%) (Figura 14).

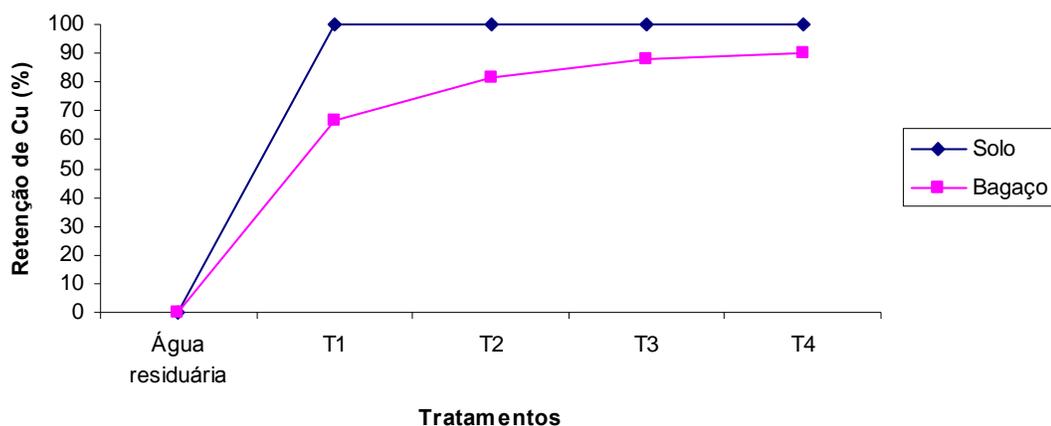


Figura 13 – Comportamento do Cu, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

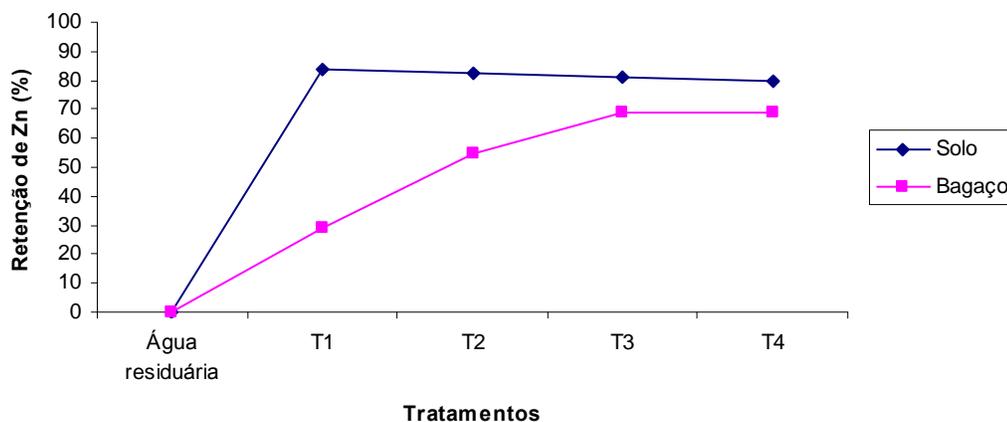


Figura 14 – Comportamento do Zn, após a passagem da água residuária pelas colunas de bagaço de cana-de-açúcar e solo.

#### 4.2 Avaliação das alterações químicas ocorridas nos materiais filtrantes

Com a aplicação da água residuária, alterações significativas nas características químicas do solo puderam ser encontradas. Os valores de pH tenderam a elevar com o aumento da aplicação da água residuária, no entanto esse aumento foi pequeno, mas significativo estatisticamente, onde o solo

antes da aplicação exibiu pH igual a 5,1, após a aplicação passou a exibir pH igual a 6,03 no Tratamento 4 onde foi aplicado o maior volume da água residuária. Concordando com os dados obtidos neste trabalho, Scherer et al. (1995) relataram que a possibilidade de alteração do pH no solo com a aplicação de esterco líquido de suínos é mínima, principalmente tratando-se de solos altamente tamponados, ainda que os teores de alumínio possam ser diminuídos, especialmente pelo incremento de compostos orgânicos de baixo peso molecular.

Os maiores valores médios de K foram constatados no Tratamento 4 no solo ( $1,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos; este apresentou quantidade superior a oito vezes ao tratamento-testemunha. No entanto, a maior retenção deste elemento, por volume de água residuária aplicada, foi observada no Tratamento 1 ( $0,64 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Mesmo que ocorra o aumento no teor de K, mediante a disposição de águas residuárias, oriundas da suinocultura, no solo, a quantidade desse nutriente exigida pelas plantas é tão elevada, que dificilmente a irrigação com efluente poderá suprir adequadamente as plantas (FEIGIN et al., 1991).

Comportamento semelhante ao do K foi observado para os elementos Ca, Zn e Cu. Quanto ao Ca, diferenças estatísticas apenas foram observadas entre a testemunha e os tratamentos. A água residuária apresentou, em média,  $2,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca, após a passagem. As quantidades deste elemento, no percolado, se elevaram nos Tratamentos 1, 2, 3 e 4 ( $3,67 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $3,73 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $4,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $4,47 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente), no entanto não diferindo estatisticamente. Costa (2004) relatou que a utilização de doses crescentes de efluente líquido de suínos promoveu um incremento na quantidade de cálcio acumulado, observado na produção de massa seca da parte aérea das plantas de milho. Para o Zn, o maior valor de retenção foi constatado nos Tratamentos 4 e 3 ( $6,18 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $4,29 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente) não diferindo estatisticamente. O Cu apresentou os maiores valores no Tratamento 4 ( $15,86 \text{ mg dm}^{-3}$ ), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Ainda para este elemento, os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas, mantendo-se os valores próximos ao melhor tratamento (1- $14,28 \text{ mg dm}^{-3}$ ; 2- $14,56 \text{ mg dm}^{-3}$ ; 3- $14,89 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

Segundo Scherer e Baldissera (1994), dentre os metais pesados, o cobre e o zinco apresentam maior perigo, pois são importantes componentes do suplemento mineral de rações e de formulações de antibióticos para a suinocultura. Segundo Wruck (1997), o cobre tem sido muito usado como suplemento mineral, em concentrações elevadas, na ração de aves e suínos. O perigo de poluição pelo cobre adicionado no solo por resíduos orgânicos depende, provavelmente, de suas transformações químicas para tornar-se mais ou menos móvel e biodisponível. O mesmo autor comenta que o cobre encontrado nos dejetos de suínos está na forma solúvel, mas a cinética do processo de decomposição e as rações inorgânicas, com adsorção e precipitação, determinam mudanças nas formas químicas aplicadas no solo, bem como a sua mobilidade.

Para o Mg, situação inversa aos demais elementos foi observada, em que a maior retenção, em média, deste elemento foi observada no Tratamento 1 ( $1.84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), onde foi aplicado um volume de 3,9 L, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Costa (2004) verificou que o acúmulo de magnésio, na parte aérea das plantas de milho cultivadas em solos adubados quimicamente, foi 196% superior ao tratamento adubado com  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de água residuária de suinocultura em Latossolo Vermelho eutroférico (LVef). No entanto, este resíduo forneceu quantidades significativas deste elemento, tornando-o economicamente viável.

Os maiores valores de fósforo retidos no solo foram observados para o Tratamento 4, tanto para a quantidade total retida ( $32,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) quanto para a quantidade retida por unidade de volume aplicado ( $2,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), constatando assim, aumento progressivo na adsorção desse elemento no solo com o aumento do volume da água residuária aplicada. A aplicação de efluente líquido de suínos em Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf) contribuiu positivamente para o aumento do teor de fósforo no solo, após o primeiro e segundo cultivo de milho; este último cultivo indicou efeito residual de fósforo quando a aplicação de dejetos foi realizada sucessivamente (COSTA, 2004), sendo constatado o aumento do teor de fósforo nos solos estudados, após os cultivos de milho. Em solos argilosos, o movimento vertical do fósforo orgânico é maior que o do fósforo mineral, não causando problemas de contaminação em águas subterrâneas profundas. Aproximadamente 2/3 do fósforo presente,

no esterco líquido de suínos, estão numa forma não-solúvel em água, que constituem parte de estruturas orgânicas, propiciando efeito residual (BARCELLOS, 1992).

Os dois maiores valores de soma de base (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC) foram constatados para os Tratamentos 3 e 4 (7,02 e 6,96  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e 10,95 e 10,53  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente), para o filtro composto de solo. Brandão et al. (1999) relatam que os valores de SB e acidez (H+Al) extraíveis indicam ser o material filtrante detentor de cátions removíveis com ácidos fracos, podendo estar ou não adsorvidos no complexo de troca. A soma dos cátions adsorvidos ao complexo de troca seria indicação do valor de CTC do material e, nesse aspecto, quanto maiores os valores de CTC, maior também será a capacidade do material filtrante em reter os cátions presentes nas águas residuárias de suinocultura.

## 5 CONCLUSÃO

Após a percolação da água residuária pela coluna de bagaço de cana-de-açúcar, observou-se que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$  e  $\text{N}_{\text{total}}$ , apresentaram-se em maiores quantidades à medida que o volume de água aplicada aumentava, a única exceção foi o  $\text{Cu}^{2+}$  que teve sua maior retenção no Tratamento 4 com 90%. O  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$  e  $\text{N}_{\text{total}}$ , após percolados nas colunas de solo, apresentaram maior eficiência no Tratamento 1, o  $\text{Cu}^{2+}$  teve retenção de 100%.

A coluna composta de solo mostrou-se eficiente para a remoção de  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  que conseguiu reduzir a concentração desses elementos a níveis aceitáveis, segundo Resolução do Conama, as colunas de bagaço de cana-de-açúcar mostraram eficiência na remoção do  $\text{Zn}^{2+}$ , logo para o  $\text{Cu}^{2+}$  não conseguiu permaneceu acima dos limites para descarte em efluentes.

As colunas constituídas de solo conseguiram reduzir a DBO em até 96,9% e DQO em 94,9% no primeiro tratamento diminuindo sua eficiência ao longo do tratamento; as colunas constituídas de bagaço de cana-de-açúcar tiveram aumento de 208,3% de DBO e 401,7% de DQO, contribuindo ainda mais para reduzir a qualidade da água residuária.

Mesmo a coluna de solo mostrou-se eficiente na remoção de DBO 10,33 mg L<sup>-1</sup> e DQO 34,67 mg L<sup>-1</sup>, as mesmas ficaram acima dos limites estabelecidos pelo Conama ficando impróprias para descarte em efluentes.

## REFERÊNCIAS

BARCELLOS, L.A.R. **Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1992. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

BERLLI FILHO, P.; CASTILHO JR, A.B.; COSTA, R.H.; SOARES, S.R.; PERDOMO, C.C. Tecnologia para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5(1): 166-170 2001.

BOHLEY, P.B. Pumps recycle animal wastes into profits. **Irrigation Journal**, 40(4): 12-18, 1990.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, 21:73-85, 1974.

BRANDÃO, V.S. **Tratamento de água residuárias de suinocultura utilizando-se filtros orgânicos**. Viçosa: UFV, 1999. 65p.

BRANDÃO, V.S.; MATOS, A.T.; FONTES, M.P.F.; MARTINEZ, M.A. Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia e Ambiental**, 7(2): 326-334, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre uma nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do território nacional**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 25 nov. 2006.

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**, 66(7):919-928, 1994.

COSTA, M.A.T. **Propriedades químicas de dois solos argilosos após a aplicação de dejetos líquidos de suínos e seus efeitos no desempenho agrônomo do milho (*Zea mays* L.)**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2004. 96p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. **Boletim Informativo BIPERS**, 10(14): 4-28, 2002.

EDWARDS, D.R.; DANIEL, T.C. Runoff quality impacts of swine manure applied to fescue plots. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**, 36(1): 81-86, 1993.

EMBRAPA. **Manual de metodologia de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

FALADE, J.A. Interrelationships between potassium, calcium and magnesium nutrition of *Zea mays* L. **Annals of Botany**, 37:345-353, 1973.

FAROOQ, S.; AL-YOUSEF, A.K.; AL-LAYLA, R.I.; ISHAQ, A.M. Tertiary treatment of sewage effluent via pilot scale slow sand filtration. **Environmental Technology**, 15(1):15-28, 1994.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHERT, J. **Irrigation with treated sewage effluent management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FERNANDES, C.O.M.; OLIVEIRA, P.A.V. Armazenagem de dejetos suínos. In: EPAGRI (Ed.). **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos**. Florianópolis: Epagri: Embrapa-CNPSA, 1995. p.35-40.

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**, 21:720-725, 1992.

GOSMANN, J.A. Bioesterqueira e esterqueira na armazenagem de dejetos de suíno. **Agropecuária Catarinense**, 11(3): 47-51, 1988.

IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1999. 76p.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal de 2002**. Comunicação social de 27 de novembro de 2003.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

LOEHR, R.C. **Pollution control for agriculture**. New York: Academic Press, 1984. 467p.

LUCAS, J.; SANTOS, T.M.B.; OLIVEIRA, R.A. Possibilidade de uso de dejetos no meio rural. In: WORKSHOP MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, 1., 1999, Campinas. **Memória...** Campinas: Embrapa Meio Ambiente, 1999. p.42.

MAGALHÃES, M.A.; MATOS, A.T.; DENICULI, W.; AZEVEDO, R.F. Influência da compressão no desempenho de filtros orgânicos para tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia na Agricultura**, 13(1):26-32 2005.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1., 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG, CRZM, 1995. p. 45-54.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N.; FREITAS, S.P. Características químicas e microbiológicas do solo, influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Ceres**, 44(254): 399-410, 1997

MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; JORDÃO, C.P.; CECON, P.R.; MARTINEZ, M.A. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, 8(1):116-119, 2004.

MORES, N. Produção de suínos em cama sobreposta (deep bedding): aspectos sanitários. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 5., 2000, São Paulo, SP. **Anais...** Concórdia: Embrapa-CNPSA, 2000. p.101-107.

MUNAF, E.; ZEIN, R. The use of rice husk for removal of toxic metal from waste water. **Environmental Technology**, 18:359-362, 1997.

OLIVEIRA, P.A.V. Manejo da água: influência no volume de dejetos produzido. In: EPAGRI. **Aspectos práticos do manejo dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1994. p.25-28. (Documentos, 32).

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1993. 188p. (Documentos, 27).

OLIVEIRA, P.A.V.; ROBIN, P. Produção de calor em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha. In: CONGRESSO MERCOSUL DE PRODUÇÃO SUÍNA, 2000, Buenos Aires. **Memória...** Buenos Aires: [s.n.], 2000. p. SP 8.

PERDOMO, C.C. Custos de dejetos suíno. **Suinocultura Industrial**, 24(163): 12-15, 2002.

PERDOMO, C.C. **Sugestões para o manejo, tratamento e armazenamento e utilização de dejetos suínos**: instrução técnica para o suinocultor. Concórdia: Embrapa-CNPSA,1999. 2p.

PERDOMO, C.C. Uso racional da água no manejo de dejetos de suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1., 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova: Epamig/CRZM, 1995. p.8-23.

POVINELLI, J.; MARTINS, F. Pesquisa sobre a eficiência de filtros lentos em unidades piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7., 1973, São Carlos. **Separata...** São Carlos: USP, EESC, 1973. 20p.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.I. **Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizantes**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1994. p.33-38. (Documentos; 32).

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**, 8(2):40-43, 1995.

STEEL, E.W.; MCGHEE, T.J. **Water supply and sewerage**. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979. 665 p.

SUTTON, A.L.; NELSON, D.W.; KELLY, D.T.; HILL, D.L. Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. **Journal Environmental Quality**, 15(4):370-375, 1986.

TAKITANE, I.C.; SOUZA, M.C.M. Produção de suínos no Brasil: impactos ambientais e sustentabilidade. In: CONGRESSO MUNDIAL DE SOCIOLOGIA RURAL, 10. e CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 37., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. CD-ROM.

TEDESCO, J.M.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 186p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. v. 2, 243p.

VON SPERLING, M.; COSTA, A.M.L.M.; CASTRO, A.A. Esgotos sanitários. In: BARROS, R.T.V.; CHERNICHARO, C.A.L.; HELLER, L.; VON SPERLING, M. (Ed.). **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**. Belo Horizonte: UFMG, 1995. v. 2, p.113-160.

WRUCK, J.F. **Mobilidade de nitrato, cobre e zinco provenientes do efluente líquido da granja suinícola, no solo.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 84p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia).

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)