



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

TRATAMENTO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS POR MEIO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO VISANDO USO AGRÍCOLA

Cássio V. Souza; Alessandro T. Campos; Francine A. Sousa¹; Enilson Silva

RESUMO

A tecnologia de tratamento de águas residuárias por meio de lagoas de estabilização em série é amplamente difundida. Porém trabalhos com vistas à redução do potencial poluidor e reutilização do efluente tratado são escassos na literatura. Sendo assim, o trabalho objetivou-se por avaliar a eficiência do sistema de lagoas de estabilização na redução do potencial poluidor dos dejetos líquidos de suínos em uma granja comercial em ciclo completo com 500 animais, visando seu reaproveitamento como biofertilizante. Para isso, foram coletadas amostras em diferentes pontos do sistema e efetuadas as análises dos seguintes parâmetros: pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Nitrogênio Total (N-Total), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). A remoção da carga orgânica foi de 84,38% da DBO e 85,27% da DQO. A série de sólidos apresentou comportamento semelhante e os nutrientes N-Total, P, K, Ca e Mg foram removidos em 28,30; 63,46; 12,24; 42,84 e 74,95% respectivamente. O sistema foi eficiente na remoção da carga orgânica e o efluente tratado demonstrou características favoráveis ao seu reaproveitamento como biofertilizante.

Palavras-chave: suinocultura, dejetos, impactos ambientais, sistema de tratamento, reaproveitamento.

SWINE LIQUID WASTE TREATMENT IN STABILIZATION PONDS AIMING AGRICULTURAL REUSE

ABSTRACT

Wastewater treatment by stabilization ponds in series is widespread. However, researches to reduce the pollution potential and reuse of treated effluent are scarce in the literature. Therefore, the objective of this study was to evaluate the efficiency of stabilization ponds in series to reduce the pollution potential of liquid manure from swines with 500 animals, aiming its reuse as biofertilizer. For that, samples were collected at different points in the system and was performed the analysis of the following parameters: pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solids (TS), Total Solid Fixed (TSF), Total Volatile Solids (TVS), Total Suspended Solids (TSS), Suspended Solids Fixed (SSF), Volatile Suspended Solids (VSS), Total Nitrogen (Total-N), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca) and Magnesium (Mg). The removal of the organic load was 84.38% of BOD and 85.27% of COD, the series of solids showed similar behavior and nutrients Total-N, P, K, Ca and Mg were removed in 28.30, 63.46, 12.24, 42.84 and 74.95% respectively. The system was efficient in removing the organic load and the treated effluent showed favorable characteristics to its reuse as biofertilizer.

Keywords: swine, manure, environmental impacts, treatment systems, reuse.

¹ Engenheira Agrônoma e Dr. em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras – UFLA, MG. Gerente de Limpeza Pública, Aracruz - ES. E-mail: francine.sousa@ymail.com

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura nacional vem passando por profundas transformações de natureza tecnológica em busca do aumento de produtividade e, como decorrência, produzindo grandes quantidades de dejetos. Simultaneamente, ocorrem problemas relacionados com o destino desses efluentes, gerando uma preocupação com a poluição ambiental, considerada uma ameaça à sobrevivência dessa atividade (ZORDAN et al., 2008).

Juntamente com a expansão da atividade suinícola no país e o incremento tecnológico nos sistemas de produção, houve um aumento da geração de dejetos os quais são, muitas vezes, lançados nas coleções de água (ANGONESE et al., 2006; FERNANDES & OLIVEIRA, 2006). Os dejetos diluídos, a água desperdiçada em bebedouros e a água de lavagem de instalações para criação em regime de confinamento, geram grandes volumes de águas residuárias, as quais são fontes significativas de poluição ambiental (GOMES FILHO et al., 2001) devido às altas concentrações de matéria orgânica, sólidos, nutrientes, metais pesados e patógenos presentes (FERNANDES & OLIVEIRA, 2006).

Na maioria dos casos, o destino final dos efluentes é a simples disposição no solo. Esta prática faz com que, em muitas

situações, se tenha um excesso de carga no solo (nutrientes, metais, patógenos entre outros), tornando difícil sua absorção, à mesma taxa em que é aplicada (QUEIROZ et al., 2004; SEGANFREDO, 1999).

Portanto, a suinocultura, por ser uma atividade altamente poluidora, tem nos últimos anos demandado pesquisas com vistas ao desenvolvimento de tecnologias adequadas e de baixo custo para o tratamento das águas residuárias (QUEIROZ et al., 2004). Visto que, a maioria das alternativas de tratamento de efluentes gera custos adicionais para o produtor que, na maioria das vezes, é impossibilitado de arcar com este ônus, pois são, em sua maioria, pequenos produtores rurais, que já trabalham com estreita margem de lucro (RODRIGUES & BELLI FILHO, 2004).

O sistema de lagoas de estabilização é amplamente utilizado no tratamento de águas residuárias da suinocultura (COSTA & MEDRI, 2002). São eficientes na estabilização da matéria orgânica, reduzindo a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), sólidos e nutrientes (COSTA et al., 2000; HURSE & CONNOR, 1999). Esse sistema mostra-se bastante interessante para produtores que não apresentam restrição de área para implantação do mesmo (KUNZ et al., 2005). É um sistema de operação simples,

cujo principal modo de ação é a sedimentação da matéria orgânica e de sólidos e posterior degradação biológica promovida por microrganismos, semelhante aos processos naturais de purificação. Além disso, o sistema apresenta baixos custos de operação, e manutenção (a cada 3 ou 4 anos) (ALONSO et al., 2006). Segundo Medriet al. (2006), a eficiência, a simplicidade do processo, o reduzido custo de operação e as condições climáticas favoráveis, levaram o processo de depuração de águas residuárias por lagoas de estabilização à sua ampla aceitação no Brasil.

No Alto Jequitinhonha (MG) existem poucos relatos sobre a atividade suinícola, porém nota-se uma expansão do setor na região. Assim sendo, presume-se que o suinocultor ainda tem pouca informação sobre a questão ambiental e sobre a necessidade de um sistema de tratamento dos dejetos presente na cadeia produtiva. Diante disso e das condições econômicas dos produtores da região, se faz necessário que as metodologias de tratamento dos dejetos sejam de baixo custo e de simples operação e que o produtor possa agregar valor ao resíduo gerado.

Por razões como baixo custo, simplicidade de operação e manutenção e relativa eficiência no tratamento de águas residuárias, o sistema de lagoas de estabilização em série se adere às

condições da região, onde a suinocultura é uma atividade predominantemente conduzida por pequenos produtores.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do sistema de lagoas de estabilização em série na redução do potencial poluidor dos dejetos líquidos de suínos, com vistas ao seu reaproveitamento como biofertilizante.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um sistema de produção de suínos em ciclo completo, na Fazenda Campo Alegre localizada no município de Diamantina na região do Alto Vale do Jequitinhonha, MG, situada a uma latitude de 18° 15' Sul e uma longitude de 43° 36' Oeste, com altitude de 1250 metros. O clima é classificado como Cwb (Köppen), temperado úmido, com inverno seco e chuvas no verão, com precipitação média anual de 1.400 mm.

Sistema de Produção de Suínos

A unidade de produção de suínos é definida por galpões construídos em blocos de concreto pré-moldados, divididos de acordo com as fases de produção, Gestaçao e Pré-Gestaçao, Maternidade, Creche, Crescimento e Terminaçao, perfazendo um total de 1.200 m² de área interna das instalaçoes. O telhado é composto por

telhas de cimento amianto, suportada por pilares de concreto com estrutura de cobertura em tesouras de madeira e beiral de 0,7 m. A granja possui um plantel de 500 animais, dentre estes, estão 60 matrizes e 4 reprodutores.

Sistema de Manejo e Tratamento dos Dejetos Líquidos

A limpeza das instalações é realizada com jato de água sob alta pressão, através de um conjunto moto-bomba, totalizando uma vazão diária de 5,7 m³ de dejetos líquidos. Estes são conduzidos por gravidade em canaletas laterais cobertas por chapas de aço galvanizado, para não receber águas pluviais que promoveriam o aumento do volume, até as caixas de passagem a partir das quais os efluentes seguem até o sistema de tratamento por meio de tubulações de PVC.

O sistema utilizado para o tratamento dos dejetos é composto por três lagoas de estabilização em série, sendo a primeira anaeróbia e as duas subsequentes facultativas. Foram dimensionadas em função da vazão diária de efluentes líquidos (5,7 m³) e do tempo de retenção hidráulica (TRH) das respectivas lagoas (MEDRI & MEDRI, 2004).

A lagoa anaeróbia possui um TRH de 45 dias, dimensões externas de 23,50 x 8,00 m, dimensões internas de 19,5 x 4,00 m, profundidade de 2 m e um volume de

156 m³. A primeira lagoa facultativa opera com TRH de 35 dias, dimensões externas de 18,5 x 8,5 m, dimensões internas de 15,5 x 5,5, profundidade de 1,5 m e volume de 127,9 m³. A segunda lagoa facultativa opera com TRH de 25 dias, dimensões externas de 13,00 x 8,5 m, dimensões internas de 10,00 x 5,5 m, profundidade de 1,5 m e volume de 82,5 m³. O TRH total do sistema é de 105 dias. As lagoas foram impermeabilizadas com lona plástica de 200 µm a fim de impedir a infiltração dos dejetos líquidos no solo e uma possível contaminação.

Coleta das Amostras e Análises

Coletou-se amostras de dejetos líquidos na saída das instalações e na saída de cada uma das três lagoas que compõem o sistema de tratamento. Avaliou-se os parâmetros: pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Nitrogênio Total (N-Total), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg).

Os procedimentos adotados nas práticas de coleta, transporte e análises das amostras foram de acordo com especificações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AP

HA, 1998). A partir dos parâmetros físico-químicos foram estabelecidas as eficiências de abatimento para os diferentes parâmetros nas diferentes fases do sistema de tratamento, seguindo a metodologia de Campos et al. (2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros avaliados no sistema de Lagoas de Estabilização em Série estão na Tabela 1 e suas respectivas eficiências de abatimento na Tabela 2.

Tabela 1. Dados referentes aos parâmetros avaliados nos quatro pontos de amostragem no sistema de tratamento de dejetos líquidos de suínos.

Parâmetro/ Unidade	Saída das Instalações	Lagoa Anaeróbia	1ª Lagoa Facultativa	2ª Lagoa Facultativa
pH	8,0	6,7	7,9	8,2
DBO mg L ⁻¹	1640,7	761,63	573,25	552,32
DQO mg L ⁻¹	2560,00	1086,50	707,80	377,00
DQO/DBO	1,14	1,35	1,04	1,08
ST mg L ⁻¹	4790,00	3210,00	2566,00	2468,00
STF mg L ⁻¹	1968,00	1900,00	1580,00	1518,00
STV mg L ⁻¹	2822,00	1310,00	986,00	950,00
SST mg L ⁻¹	296,00	236,00	220,00	172,00
SSF mg L ⁻¹	120,00	96,00	92,00	68,00
SSV mg L ⁻¹	176,00	140,00	128,00	104,00
N-Total mg L ⁻¹	1668,00	1456,00	1220,00	1196,00
P-Total mg L ⁻¹	228,80	195,58	105,94	83,60
K mg L ⁻¹	294,00	290,00	273,00	258,00
Ca mg L ⁻¹	285,50	244,70	204,00	163,20
Mg mg L ⁻¹	49,42	37,15	12,38	12,38

Tabela 2. Eficiência de abatimento total e por lagoa para cada parâmetro físico-químico e bioquímico avaliado, dados em porcentagem (%)

Parâmetros	Lagoa Anaeróbia	1ª Lagoa Facultativa	2ª Lagoa Facultativa	Eficiência Total (%)
DBO	64,19	15,51	48,36	84,38
DQO	57,56	34,86	46,74	85,27
ST	32,99	20,06	3,82	48,48
STF	3,46	16,84	3,92	22,87
STV	53,58	24,73	3,65	66,34
SST	20,27	6,78	21,82	41,89
SSF	20,00	4,17	26,09	43,33
SSV	20,45	8,57	18,75	40,91
N-Total	12,71	16,21	1,97	28,30
P	14,52	45,83	21,09	63,46
K	1,36	5,86	5,49	12,24
Ca	14,29	16,63	20,00	42,84
Mg	24,83	66,68	0,00	74,95

DBO, DQO, DQO/DBO e pH

A redução da DBO foi de 84,38%, sendo que a maior parte da matéria orgânica biodegradável foi removida na lagoa anaeróbia (64,19%), seguida pela segunda lagoa facultativa, com 48,36% de remoção desse parâmetro e pela primeira lagoa facultativa com 15,51%.

Para a DQO, o sistema apresentou 85,27% de eficiência no abatimento, desempenhando a lagoa anaeróbia, maior eficiência no abatimento (57,56%). A primeira e a segunda lagoa facultativa contribuíram com 34,86% e 46,74% respectivamente, corroborando com a afirmativa de que remoção da DBO e DQO é realizada basicamente nas lagoas anaeróbias, sendo o processo otimizado nas lagoas subsequentes (MEDRI et al., 2007; CAMPOS et al., 2006; MEDRI & MEDRI, 2004). Ao passo que Estrada & Hernández (2002) trabalhando com tratamento de dejetos suínos por meio de lagoas de estabilização observaram que a lagoa anaeróbia abateu 30% da DBO e 37% da DQO, e que a lagoa facultativa removeu 83% da DBO e 48% da DQO. A maior eficiência na redução da DQO em relação à DBO se deve pela maior facilidade que grande número de compostos podem ser oxidados por via química do que por via biológica (SILVA et al., 2003a).

Costa & Medri (2002), avaliando o sistema de lagoas de estabilização em série proposto pela EMBRAPA/CNPSA, que consiste em um tanque de homogeneização, decantador de fluxo ascendente, duas lagoas anaeróbias, uma lagoa facultativa e uma lagoa de aguapés, relataram 97% de abatimento na DBO e 87% na DQO. A melhor eficiência encontrada pelos autores se deveu em parte também ao tratamento preliminar realizado pelo decantador e ao tratamento terciário através da lagoa de aguapés. Entretanto, a finalidade do sistema de tratamento da EMBRAPA/CNPSA é possibilitar que o efluente tratado retorne ao meio ambiente através da sua disposição sobre os recursos hídricos, portanto a redução do potencial poluidor segue padrões mais rigorosos.

Apesar de o sistema ter se mostrado eficiente na remoção da carga orgânica, o efluente final apresentou um valor de DBO de 350,52 mg L⁻¹ e de DQO de 377,00 mg L⁻¹, não se apresentando dentro dos padrões para lançamento de efluentes nas coleções de água, no que tange a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que estabelece as condicionantes para o lançamento de efluentes em corpos hídricos. No presente trabalho esse fato não representa um problema uma vez que o efluente tratado é reaproveitado como biofertilizante.

A relação DQO/DBO do resíduo líquido submetido ao processo de tratamento biológico em lagoas de estabilização influencia diretamente no processo de tratamento (LEITE et al., 2005). Braile & Cavalcanti (1993) consideram um resíduo facilmente biodegradável, quando suas demandas química e bioquímica de oxigênio apresentam uma relação DQO/DBO menor que 2. Esta relação nos pontos amostrados neste trabalho variou de 1,04 a 1,35 indicando que o tratamento biológico é eficiente na remoção da carga orgânica. A relação DQO/DBO menor que 2 e o fato do valor de pH do efluente final (8,2) apresentar-se maior que 7, são indícios de umidificação da matéria orgânica, que constitui o estágio final desejado de tratamento biológico, para que o efluente seja reciclado, com características para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, conforme observado por Campos et al. (2002).

O efluente da saída das instalações apresentou pH igual a 8,0. O parâmetro para o efluente da lagoa anaeróbia apresentou um valor de 6,7; próximo à faixa ótima considerada para a ocorrência do processo de fermentação anaeróbia (7,0-7,2) (MIWA et al., 2007) e tendeu a aumentar nas lagoas subsequentes assumindo valores de 7,9 e 8,2 para os efluentes da primeira e segunda lagoas

facultativas, respectivamente. Para Mascarenhas et al. (2004) e Hurse&Connor (1999) isso se deve ao fato de que nas lagoas mais rasas a luz solar penetra em praticamente toda a massa de água, aumentando a presença de algas nessas lagoas acelerando a fotossíntese, o que resulta em maiores teores de O₂ dissolvido elevando o pH das lagoas.

Série de Sólidos (ST, STF, STV, SST, SSF e SSV)

O teor de sólidos no sistema avaliado, assim como observado por Campos et al. (2006), apresentou comportamento semelhante à concentração de DBO e DQO, ou seja, promovendo redução dos valores entre as fases do sistema de tratamento.

A remoção dos Sólidos Totais no sistema alcançou desempenho de 48,48%, sendo a maior parte removida na lagoa anaeróbia (32,99%), por sedimentação, resultados similares são observados em Zordanet al. (2008). Os Sólidos Totais Fixos, que estão relacionados à fração inorgânica dos Sólidos Totais, apresentaram redução de 22,87%, com maior abatimento na primeira lagoa facultativa (16,84%). A fração orgânica dos Sólidos Totais, representada pela concentração de Sólidos Totais Voláteis sofreu um abatimento de 66,34%. A maior remoção desse parâmetro se deu na lagoa

anaeróbia (53,58%), como esperado, pelo fato de ter ocorrido nessa etapa do tratamento a maior remoção da matéria orgânica na forma de DBO e DQO.

Os Sólidos Suspensos Totais sofreram abatimento total de 41,89%, sendo que a maior parte foi eliminada na segunda lagoa facultativa (21,82%). Os Sólidos Suspensos Fixos foram removidos na ordem de 43,33%. A maior parcela de abatimento foi proporcionada pela segunda lagoa facultativa (26,09%). Em relação ao teor de Sólidos Suspensos Voláteis, estes sofreram redução de 40,91% e foram removidos em maior proporção na Lagoa anaeróbia (20,45%), por, como os Sólidos Totais Voláteis, estarem intimamente ligados à presença de matéria orgânica conforme explanam Leite et al.(2005).

As eficiências encontradas para a remoção da Série de Sólidos, em especial os Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Sólidos Totais Voláteis, no sistema avaliado, estão abaixo das encontradas na literatura para o sistema de lagoas de estabilização (CAMPOS et al., 2006; LEITE et al., 2005; COSTA & MEDRI, 2002; ESTRADA & HERNÁNDEZ, 2002). No entanto, os sistemas observados na literatura apresentam dispositivos complementares que permitem um melhor abatimento na concentração dos parâmetros da série como: decantadores, lagoas de polimento, lagoas de maturação,

lagoas de aguapés, entre outros. Neste trabalho isso pode implicar em menores intervalos de tempo, pelo acúmulo de sólidos sedimentados no fundo das lagoas, principalmente na lagoa anaeróbia.

Remoção de Nutrientes (N-Total, P, K, Ca e Mg) e Relação C/N

Segundo Sezerino et al. (2007) e Whalen&Deberardinis (2007) a eliminação do nitrogênio via processos biológicos, é realizada em duas etapas: primeiramente, em presença de oxigênio, a amônia ionizada é oxidada a uma forma nitrogenada menos tóxica, o nitrato, pelo processo da nitrificação ($\text{NH}_4^+ + 2,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$). Posteriormente, em ausência de oxigênio, o nitrato é reduzido até nitrogênio gasoso tendo matéria orgânica como doador final de elétrons, processo este conhecido como desnitrificação ($5 \text{CH}_3\text{COOH} + 8 \text{NO}_3^- \rightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + 10 \text{CO}_2 + 8 \text{OH}^-$).

Durante a estocagem e distribuição dos dejetos líquidos de suínos ocorre a liberação de vários gases que poluem o meio ambiente (gás sulfídrico, amônia, óxido nitroso, gás carbônico, metano, etc) (AITA et al., 2007). Atualmente, o óxido nitroso (N_2O) tem recebido maior atenção, principalmente por contribuir para o efeito estufa e para a destruição da camada de ozônio (GIACOMINI et al., 2006). O óxido nitroso do manejo de dejetos é

produzido da combinação do processo de nitrificação e desnitrificação que ocorre no nitrogênio presente no efluente. A nitrificação acontece aerobicamente e converte a amônia em nitrato, enquanto a desnitrificação ocorre anaerobicamente, e converte o nitrato em óxido nitroso (ANGONESE et al., 2007). A emissão desse gás referente à produção de suínos representa parcela significativa da emissão total atribuída à agricultura nos grandes centros produtores. O potencial de aquecimento global do óxido nitroso é 310 vezes maior que o do CO₂ (IPCC, 1997). Nesse aspecto, o sistema de lagoas de estabilização em série não é eficiente, uma vez que os gases oriundos dos processos que nelas ocorrem são lançados diretamente na atmosfera, o que contribui diretamente para o aquecimento global.

Para o Nitrogênio Total a eficiência total de abatimento foi de 28,30%. A maior parte foi removida na primeira lagoa facultativa contribuindo com 16,21% e na segunda lagoa facultativa, com 1,97%. O efluente da lagoa anaeróbia apresentou maior quantidade de Nitrogênio total (1.456 mL⁻¹). Por se tratar de um ambiente basicamente anaeróbio se enquadra na afirmativa de Santos et al. (2007) de que a remoção biológica do Nitrogênio nessas condições, torna-se difícil e além disso, o eventual oxigênio disponível no meio é preferencialmente utilizado pelas bactérias

heterotróficas facultativas para a oxidação da matéria orgânica como a DQO. Ainda de acordo com os autores, a remoção de N-Total no caso da lagoa anaeróbia (12,71%) se deve a processos como a volatilização da amônia e/ou a sedimentação do amônio com a fração particulada dos dejetos.

Contudo, Basso et al. (2004) observaram que valores de pH próximos de 6,6 desfavorecem as perdas de nitrogênio via volatilização da amônia. Portanto esse meio de eliminação do nitrogênio na lagoa anaeróbia ficou comprometido devido ao pH do efluente desta (6,7). O Nitrogênio Total presente nos dejetos líquidos está na forma de amônio (NH₄⁺) e esse se transforma facilmente em amônia (NH₃) (ZORDAN et al., 2008). No entanto o mecanismo de remoção do amônio e transformação em amônia é dependente da temperatura, ou seja, em temperaturas mais baixas o processo também é comprometido (MASCARENHAS et al., 2004). Uma vez que o trabalho foi realizado em uma região de clima temperado, presume-se essa explicação para os teores de Nitrogênio total presente no efluente tratado.

Segundo Basso et al. (2004), o pH do dejetos é responsável pelo equilíbrio NH₄⁺/NH₃ e quando NH₃ é perdida por volatilização, irá ocorrer uma dissociação do íon NH₄⁺ (NH₃ + H⁺) diminuindo o pH e conseqüentemente a volatilização. Contudo, após sua aplicação no campo, o

pH do solo será o fator mais importante nesta relação, porque o NH_4^+ predomina em solos de menor pH, enquanto que é maior a quantidade de NH_3 em meio com pH mais elevado, apresentando maiores perdas por volatilização.

A sedimentação dos fosfatos no sistema de lagoas de estabilização sofre influência significativa do pH. Unidades de pH entre 7 e 8 são ideais para que essa sedimentação ocorra. Ao passo que valores de pH mais baixos desfavorecem o processo (PENG et al., 2007). O Fósforo sofreu remoção de 63,46% pelo sistema estudado. As lagoas anaeróbia, primeira facultativa e segunda facultativa, apresentaram respectivamente 14,53; 45,83 e 21,09% de eficiência na remoção desse nutriente. O melhor desempenho da primeira lagoa facultativa se deu em função do maior valor de pH(7,9) e maior presença de algas em relação à lagoa anaeróbia. Barthelet al. (2008) e Powell et al. (2008) afirmam que a remoção do fósforo também se dá por via biológica, a quantidade do elemento presente no efluente em tratamento é acumulada pelas algas, as quais estão presentes em maiores quantidades nas lagoas de menor profundidade.

A remoção de potássio no sistema apresentou baixa eficiência (12,24%) corroborando com o observado por Zordanet al. (2008), que relatam baixa

eficiência do sistema de lagoas de estabilização na remoção de potássio. Este, por estar dissolvido na parte líquida, não é retido nas partículas orgânicas dos dejetos que sedimentam no fundo das lagoas, com isso, as concentrações deste elemento na massa líquida são altas, não ocorrendo uma remoção significativa. Entretanto, Silva et al. (2003b) afirmam que sob a ótica ambiental, o potássio não é poluente, razão pela qual se encontra isento nas exigências para as águas de classes 1 ou especial que são aquelas destinadas ao abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção, e/ou à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas. Assim, não se observa a condicionante do limite máximo para uso ou despejo, ficando isenta a sua variação, concentração ou flutuação.

O teor de cálcio foi abatido em 42,84%, sendo sua maior parte removida na segunda lagoa facultativa (20%). O sistema apresentou remoção de 74,95% do magnésio, a maior parte dessa remoção se deu na primeira lagoa facultativa. Para a remoção desse nutriente a segunda lagoa facultativa não apresentou funcionamento perceptível, uma vez que a sua remoção se deu apenas nas duas primeiras lagoas. Os resultados obtidos para remoção de cálcio e magnésio vão a encontro das observações de Zordanet al. (2008), que observaram relativa eficiência do sistema de lagoas de

estabilização na remoção desses nutrientes. Segundo Powell et al. (2008) e Peng et al. (2007) a remoção do cálcio e do magnésio, no sistema de lagoas de estabilização, pode estar associada à ligação e precipitação desses elementos com os fosfatos, em situações de valores de pH entre 7 e 8, o que explica a maior remoção desses nutrientes nas lagoas mais rasas (facultativas).

Assim como observado por vários autores (ESTRADA & HERNÁNDEZ, 2002; CAMPOS et al., 2006; MEDRI et al., 2006; MEDRI et al. 2007), o sistema de tratamento de águas residuárias por meio de lagoas de estabilização em série, além da simplicidade, mostra-se eficiente, sobretudo reduzindo a carga orgânica, uma vez que cada lagoa apresenta características e funções distintas, ou seja, cada lagoa apresenta diferentes desempenhos quanto à remoção de nutrientes, sólidos e abatimento de carga orgânica na forma de DBO e DQO, reduzindo o potencial poluidor dos dejetos.

Do ponto de vista agrônomico, o lançamento do efluente no curso de água seria uma incoerência em termos econômicos, pois o efluente poderia ser utilizado com fonte de nutrientes que poderiam ser adicionados ao solo para produção agrícola, assim como consideram Silva et al. (2003b). Quanto ao reaproveitamento do efluente, Gomes Filho

et al. (2001) afirmam que quase todo o potássio presente nos dejetos líquidos suínos está na forma prontamente disponível para as plantas e salientam que dois terços do nitrogênio e um terço do fósforo também estão nessa forma.

Ceretta et al. (2003) informam que o ambiente para o crescimento das plantas pode ser melhorado com uso de dejetos líquidos de suínos bruto (sem tratamento), pela redução da saturação por alumínio e aumento de nutrientes principalmente nos teores de P, Ca e Mg. Contudo a lixiviação do N e os elevados teores de P na camada mais superficial do solo mostram que estes elementos podem comprometer a qualidade do ambiente, especialmente como contaminantes da água.

A remoção do excesso de nutrientes alcançada pelo sistema de lagoas de estabilização do presente trabalho permite o reaproveitamento do efluente tratado oferecendo menor potencial poluidor sobre o solo e os recursos hídricos. Os teores dos nutrientes N-Total, P, K, Ca e Mg no efluente tratado foram 1196; 83,6; 258; 163,2 e 12,38 g.m^{-3} , respectivamente. Permitindo afirmar que o efluente tratado possui características favoráveis à sua reutilização como fertilizante orgânico, podendo substituir em partes, ou na totalidade, a adubação química (SEDIYAMA et al., 2008), além de benefícios que a matéria orgânica residual

presente no efluente tratado pode proporcionar como melhorias na estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção de umidade, infiltração da água da chuva, atividade microbiana, capacidade de troca de cátions (SCHEFFER-BASSO et al., 2008; QUEIROZ et al., 2004), entre outros benefícios que a matéria orgânica pode proporcionar aos sistemas agrícolas.

4. CONCLUSÕES

O sistema avaliado demonstrou ser eficiente na redução do potencial poluidor dos dejetos líquidos de suínos, para o propósito em questão, ou seja, o reuso como biofertilizante. Caso o destino final do efluente tratado fosse a disposição em recursos hídricos, o sistema necessitaria de complementação com sistemas de separação de fases e sistemas para depuração final, de maneira que o efluente tratado atendesse as condicionantes para esse meio de disposição.

O efluente final apresentou características favoráveis à sua reutilização como fertilizante orgânico, possibilitando a utilização racional na agricultura, sem causar impactos sobre o meio ambiente.

5. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob

sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.1, p.95-102, 2007.

ALONSO, E.; VILLAR, P.; SANTOS, A.; APARICIO, I. Fractionation of heavy metals in sludge from anaerobic wastewater stabilization ponds in southern Spain. **Waste Management**, Oxford, v.26, n.11, p.1270-1276, 2006.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, M. S.; CUNHA, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento de resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.745-750, 2006.

ANGONESE, A.R.; CAMPOS, A.T.; WELTER, R.A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.648-657, 2007.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20.ed. Washington: APHA, 1998.

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; PAVINATO, P.S.; SILVEIRA, M.J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização da amônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.06, p.1773-1778, 2004.

BARTHEL, L.; OLIVEIRA, P.A.V.; COSTA, R.H.R. Plankton biomass in secondary ponds treating piggery waste. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.51, n.06, p.1287-1298, 2008.

BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764p.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

CAMPOS, A.T.; FERREIRA, W.A.; PACCOLA, A.A.; LUCAS JÚNIOR,

- J.;ULBANERE, R.C.; CARDOSO, R.M.; CAMPOS, A.T. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.2, p.426-438, 2002.
- CAMPOS, A.T.; DAGA, J.; RODRIGUES, E.E.; FRANZENER, G.; SUGUIY, M.M.T.; SYPERRECK. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.235-242, 2006.
- CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R.; VIEIRA, F.C.B. Características químicas do solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.06, p.729-735, 2003.
- COSTA, R.H.R.; MEDRI, W.; PERDOMO, C.C. High-rate pond treatment of piggery wastes. **Water Science and Technology**, London, v.42, n.10-11, p.357-362, 2000.
- COSTA, R.H.R. & MEDRI, W. Modelling and optimisation of stabilization ponds system for treatment of swine waste: organic matter evaluation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.45, n.3, p.385-392, 2002.
- ESTRADA, V.E.E. & HERNÁNDEZ, D.E.A. Treatment of piggery waste in waste stabilization ponds. **Water Science and Technology**, London, v.45, n.01, p.55-60, 2002.
- FERNANDES, G. F. R. & OLIVEIRA, R. A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (Reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.01, p.243-256, 2006.
- GIACOMINI, S.J.; JANTALIA, C.P.; AITA, C.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1653-1661, 2006.
- GOMES FILHO, R.R.; MATOS, A.T.; SILVA, D.D.; MARTINEZ, H.E.P. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.131-134, 2001.
- HURSE, T.J. & CONNOR, M.A. Nitrogen removal from wastewater treatment lagoons. **Water Science and Technology**, Oxford, v.39, n.6, p.191-198, 1999.
- IPCC.INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero**, versión revisada em 1996. Reino Unido: IPCC WGI Technical Support Unit, 1997.
- KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.22, n.3, p.651-665, 2005.
- LEITE, V.D.; ATHAYDE JÚNIOR, G.B.; SOUSA, J.T.; LOPES, W.S.; PRASAD, S.; SILVA, S.A. Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.71-75, 2005.
- MASCARENHAS, L.C.A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós tratamento de reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.45-54, 2004.
- MEDRI, W. & MEDRI, V. Otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.25, n.2, p.203-212, 2004.
- MEDRI, W.; COSTA, R.H.R.; MEDRI, V. Avaliação de dois sistemas de lagoas de estabilização do Samae de Ibiporã. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.24, n.24, p.38-45, 2006.

- MEDRI, W.; COSTA, R.H.R.; MEDRI, V.; BELLI FILHO, P. Stabilization ponds systems: cost estimation for the treatment of piggery waste. **Transactions of The ASABE**, St. Joseph, v.50, n.4, p.1409-1414, 2007.
- MIWA, A.C.P.; FREIRE, R.H.F.; CALJURI, M.C. Dinâmica do Nitrogênio em um sistema de lagoas de estabilização na região do Vale do Ribeira (São Paulo – Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.12, n.02, p.169-180, 2007.
- PENG, J.F.; WANG, B.Z.; SONG, Y.H.; YUAN, P.; LIU, Z. Adsorption and release of phosphorus in surface sediment of a wastewater stabilization pond. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.31, n.02, p.92-97, 2007.
- POWELL, N.; SHILTON, A.N.; PRATT, S.; CHISTI, Y. Factors influencing luxury uptake of phosphorus by microalgae in waste stabilization ponds. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.42, n.16, p.5958-5962, 2008.
- QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1487-1492, 2004.
- RODRIGUES, J.B.R. & BELLI FILHO, P. Eficiência da microalga chlorella minutíssima no tratamento de resíduos da suinocultura enriquecido com uréia. **Biotemas**, Florianópolis, v.17, n.2, p.7-26, 2004.
- SANTOS, M.A.A.; SCHMIDT, V.; BITENCOURT, V.C.; MAROSO, M.T.D. Esterqueiras: avaliação físico-química e microbiológica do dejetos suíno armazenado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.537-543, 2007.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; SCHERER, C. V.; ELLWANGER, M. F. Resposta de pastagens perenes à adubação com chorume suíno: pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, n.2, p.221-227, 2008.
- SEDIYAMA, M.A.N.; VIDIGAL, S.M.; PEDROSA, M.W.; PINTO, C.L.O.; SALGADO, L.T. Fermentação de esterco suíno para uso como adubo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.638-644, 2008.
- SEGANFREDO, M.A. Os dejetos suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.16, n.03, p.129-141, 1999.
- SEZERINO, P.H.; REGINATTO, V.; MATER, A.; BENTO, A.P.; SOARES, H.M.; PHILIPPI, S. Tratamento terciário de efluente da indústria processadora de aves e suínos – estudo em colunas de areia. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.73-79, 2007.
- SILVA, F.F.; FREITAS, P.S.L.; BERTONHA, A.; REZENDE, R. GONÇALVES, A.C.A.; DALLACORT, R. Variação da carga orgânica do efluente de fecularia de mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.01, p.161-165, 2003a.
- SILVA, F.F.; FREITAS, P.S.L.; BERTONHA, A.; REZENDE, R. GONÇALVES, A.C.A.; DALLACORT, R. Flutuações das características químicas do efluente industrial de fecularia de mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.167-175, 2003b.
- WHALEN, S.C. & DEBERARDINIS, J.T. Nitrogen mass balance in fields irrigated with liquid swine waste. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Bonn, v.78, n.01, p. 37-50, 2007.
- ZORDAN, M.S.; SALÉH, B.B.; MENDONÇA, A. Eficiência na remoção de nutrientes em lagoas de estabilização da granja escola FESURV. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.01, n.01, p.51-62, 2008.