



Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina¹

Iria S. Araújo², José L. R. Oliveira², Rui G. C. M. Alves³,
Paulo Belli Filho⁴ & Rejane H. R. da Costa⁴

RESUMO

Os dejetos suínos contribuem de forma significativa em prol da degradação dos recursos naturais e para a diminuição da qualidade de vida na região sul do estado de Santa Catarina, Brasil. O excesso de dejetos gerados pelo grande número dos suínos por unidade de área dificulta a solução do problema. Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de um sistema de tratamento de dejetos suínos, em série e em escala real, composto de unidades anaeróbias, unidades aeróbias e pós-tratamento. Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, PT, P-PO₄, N-NH₃, NTK, pH, clorofila a, biomassa algal, coliformes totais e coliformes fecais (*Escherichia coli*). O sistema mostrou que após um ano de funcionamento as eficiências de remoção foram satisfatórias para matéria orgânica e nutrientes, alcançando valores de 97% para DBO, 95% para DQO, 88% para N-NH₃ e 74% para PT/P-PO₄, mesmo com as variações de vazão e de carga orgânica aplicada. Entretanto, a remoção de coliformes fecais nas unidades aeróbias foi baixa, reduzindo somente 0,86 unidades log na lagoa facultativa aerada e 0,80 unidades log na lagoa de maturação.

Palavras-chave: reatores anaeróbios, lagoas de estabilização, filtro de pedras

The evaluation of swine waste treatment system installed in Santa Catarina State

ABSTRACT

The swine manure contributes significantly to the degradation of natural resources and to decrease the quality of life in the southern state of Santa Catarina, Brazil. The excess of manure produced by the large number of pigs per unit area hinders the solution of the problem. This study aimed to evaluate the behavior of a system developed to treat swine manure, in series and in real scale, composed of anaerobic units, aerobic units and post-treatment. The parameters analyzed were: BOD, COD, TP, PO₄-P, NH₃-N, TKN, pH, chlorophyll a, algal biomass, total coliforms and fecal coliforms (*Escherichia coli*). The system showed that, after one year of operation, the removal efficiencies were satisfactory for organic matter and nutrients, reaching values of 97% for BOD, 95% for COD, 88% for N-NH₃ and 74% for TP/P-PO₄, even with variations in flow and organic load applied. However the removal of fecal coliforms in the aerobic units was low, decreasing only 0.86 log units in the aerated facultative pond and 0.80 log units in the maturation pond.

Key words: anaerobic reactors, stabilization ponds, rock filter

¹ Parte de Dissertação de Mestrado e Teses de Doutorado apresentadas ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - UFSC

² EPAGRI/CIRAM, Rod. Admar Gonzaga, 1347. CP 502. Florianópolis, SC. Fone: (48) 3239-8120. E-mail: iriaaraujo@epagri.sc.gov.br; joseoliveira@epagri.sc.gov.br

³ FAESA/UFPA. Av. Perimetral. Belém, PA. Fone: (91) 3201-7253. E-mail: rmacedo@ufpa.br

⁴ ENS/UFSC. Campus Universitário. Florianópolis, SC. Fone: (48) 3721-7738. E-mail: belli@ens.ufsc.br; rejane@ens.ufsc.br

INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina compete internacionalmente na produção e na oferta de carnes e derivados de suínos a partir de um rebanho de 7.158.586 cabeças (IBGE, 2008), número que correspondente a 20% do plantel brasileiro.

Paralelo à alta produção de suínos constata-se a degradação ambiental causada pelo grande volume de dejetos líquidos gerados diariamente na suinocultura de Santa Catarina. A maior parte dos dejetos não é manejada adequadamente colocando em risco a sustentabilidade e a expansão da atividade (Belli Filho et al., 2001).

O município de Braço do Norte está localizado na região do sul de Santa Catarina. Cerca de 80% do total da área agrícola do município são ocupados por propriedades com menos de 100 hectares e a suinocultura se destaca como a atividade de maior expressão econômica (Hadlich & Scheibe, 2007). A produção significativa de suínos no município de Braço do Norte é o fator responsável por uma série de problemas relacionados à poluição hídrica visto que grande parte dos dejetos produzidos acaba alcançando os cursos de água da região.

Verificou-se, ao longo do tempo, a necessidade de informações sobre os tratamentos primário, secundário e terciário de dejetos suínos; para isto foi instalado um sistema de tratamento em escala real, que apresenta os mecanismos de estabilização de matéria orgânica e remoção de nutrientes, como parte do projeto intitulado “Validação de tecnologias para manejo, tratamento e valorização dos dejetos suínos em Santa Catarina - Pequenas e médias propriedades”, executado entre os anos 2004 e 2007.

O sistema de tratamento de dejetos suínos foi estudado pelos seguintes autores: Alves (2007, que avaliou as etapas de pré-tratamento e tratamento anaeróbio, as quais abrangem cinco

unidades de tratamento: lagoa de decantação, biodigestor de lodo, lagoa de armazenamento, lagoa anaeróbia e reator UASB; Araújo (2007), estudando a etapa aeróbia de sistema de tratamento de dejetos suínos a qual consiste de duas unidades de tratamento: lagoa facultativa aerada e lagoa de maturação e Oliveira (2008) ao estudar filtro de pedras como unidade de pós-tratamento.

Portanto, o objetivo do presente artigo foi avaliar, conjuntamente, as unidades anaeróbias (lagoa de decantação, lagoa anaeróbia e reator UASB), aeróbias (lagoa facultativa aerada e lagoa de maturação) e o pós-tratamento (filtro de pedras), como sistema de tratamento de dejetos suínos, em série e em escala real, por meio da eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes e coliformes.

MATERIAL E MÉTODOS

A propriedade produtora de suínos na qual a pesquisa foi realizada, está dentro do limite municipal de Braço do Norte, localizada na região sul de Santa Catarina. A propriedade possui em torno de 200 matrizes, gerando um volume aproximado de $20 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de dejetos; metade da vazão é destinada ao sistema de tratamento dos dejetos e a outra metade é utilizada na propriedade, como fertilização orgânica em pastagem naturalizada.

A estação de tratamento e valorização de dejetos é composta de pré-tratamento, tratamento anaeróbio, tratamento aeróbio e pós-tratamento, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

As fotos das unidades de tratamento são apresentadas na Figura 2.

As amostragens para cálculo da eficiência de remoção de DQO, nutrientes e coliforme, foram realizadas semanalmente de janeiro de 2005 a janeiro de 2006. Na avaliação do sistema

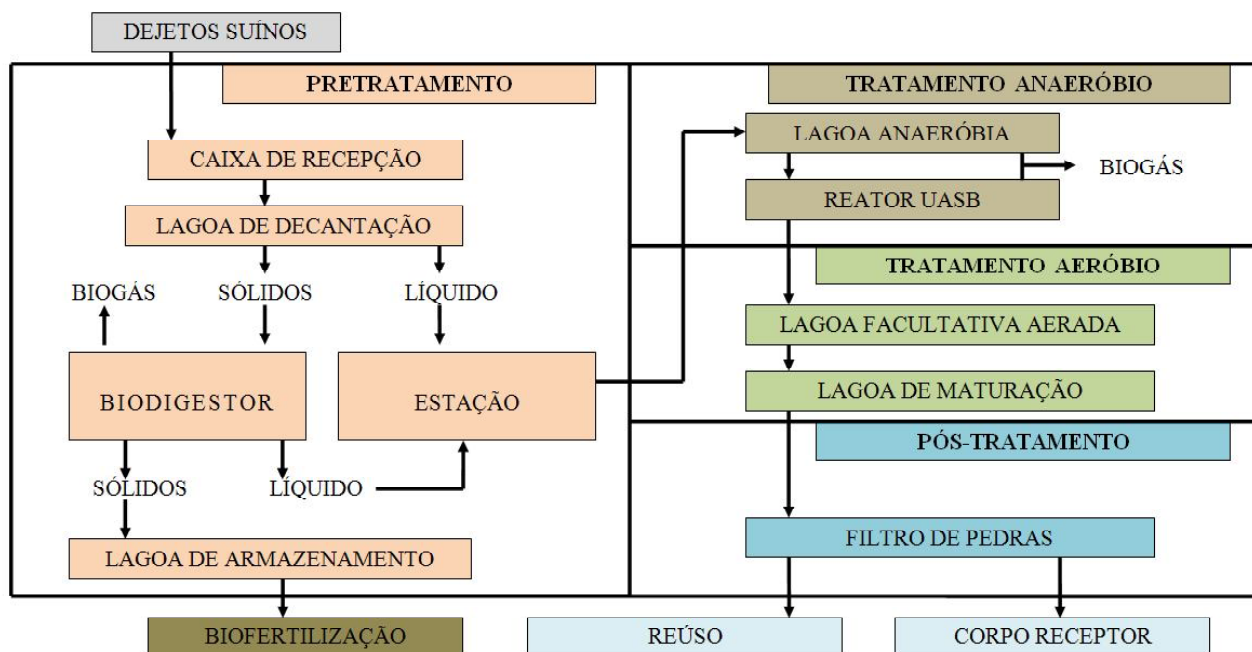


Figura 1. Fluxograma do sistema de tratamento de dejetos suínos



Figura 2. Unidades de tratamento da estação experimental: Lagoa de decantação (A); Lagoa anaeróbia (B); Reator UASB (C); Lagoa facultativa aerada (D); Lagoa de maturação (E); Filtro de pedras (F)

consideraram-se diferentes condições de temperatura e carga orgânica aplicada. Foram efetuadas 38 coletas em 13 meses, nos seguintes pontos: Dejeito Bruto, Efluente da Lagoa de Decantação (Efl. LD), Efluente da Lagoa Anaeróbia (Efl. LA), Efluente do Reator UASB (Efl. UASB), Efluente da Lagoa Facultativa Aerada (Efl. LFA), Efluente da Lagoa de Maturação (Efl. LM) e Efluente do Filtro de Pedras (Efl. FP).

As análises físico-químicas e biológicas realizadas foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total no dejeito bruto e unidades anaeróbias (PT)/fosfato nas unidades aeróbias ($P-PO_4$), nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), pH, clorofila a, biomassa algal (quali-quantitativo), coliformes totais e coliformes fecais (*Escherichia coli*).

Todas as análises físico-químicas seguiram os protocolos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), exceto as análises de $P-PO_4$, clorofila a e biomassa algal. O $P-PO_4$ foi determinado por meio de cromatografia iônica (DIONEXÒ, modelo DX 120). As análises de clorofila a foram efetuadas usando-se extração em etanol (80%) e análise colorimétrica (Nush, 1980). A contagem da biomassa algal foi feita com câmara de Neubauer e microscópio

ótico e a identificação foi efetuada a partir das descrições de Strebele & Krauter (1987).

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das unidades de tratamento foram trabalhados através do software Statistica 7.0, para o que se lançou mão do cálculo de médias e desvio padrão, além de diagramas de caixa (box-plot), apresentando medianas, quartis, out-liers e valores extremos das concentrações e das eficiências de remoção de cada um dos parâmetros analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume útil, o tempo de retenção hidráulica (TRH), a área da meia profundidade (lagoas aeróbias) e as cargas orgânicas aplicadas em cada unidade do sistema de tratamento, podem ser observados na Tabela 1.

O sistema foi projetado para receber até $10 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de dejetos porém a vazão média afluyente durante o período do estudo foi de $8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$; de forma geral, a vazão real foi, portanto, inferior àquela prevista em projeto; apesar disto, ocorreram picos de até $14 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, em que esta oscilação na vazão foi

Tabela 1. Características físicas e cargas orgânicas aplicadas nas unidades de tratamento

Unidades anaeróbias	Reator UASB	Lagoa			
		Decantação (LD)	Anaeróbia (LA)	Facultativa aerada (LFA)	Maturação (LM)
Volume útil (m^3)	15	121	400	360	492
TRH (dias)	2 ± 1	18 ± 9	59 ± 30	53 ± 27	73 ± 37
Carga volumétrica ($\text{kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)	$1,4 \pm 0,7$	$0,81 \pm 0,39$	$0,15 \pm 0,08$	670 ± 426	64 ± 38
Área meia profundidade (m^2)	-	-	-	253	784

decorrente do manejo dos animais e da periodicidade das lavagens das baias.

Na LA a carga orgânica foi de 0,15 kg DQO m⁻³ d⁻¹ e o TRH de 59 dias, valores diferentes dos aplicados em reatores anaeróbios tratando dejetos suínos (reator com recirculação + SBR) estudados por Deng et al. (2006), em que a carga aplicada se situou entre 6 e 7 kg DQO m⁻³ d⁻¹ e o TRH foi de 5 a 6 dias.

A carga média aplicada na LFA foi de 670 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹ e na LM foi de 64 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹. O desvio padrão da carga orgânica aplicada na LFA foi alto (426 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹), indicando uma grande variação no grau de diluição dos dejetos suínos em virtude do manejo da água nas granjas, o que interfere diretamente na concentração de matéria orgânica.

Os valores da carga orgânica aplicada na LFA são elevados quando comparados com outros estudos de lagoas tratando dejetos suínos como, por exemplo, Estrada & Hernandez (2002) que estudaram uma série de lagoas-piloto tratando dejetos suínos no México cuja carga orgânica aplicada na lagoa facultativa foi, em média, de 300 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹ e nas lagoas de maturação a carga orgânica permaneceu entre 50 e 100 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹.

Aguirre et al. (2004) aplicaram diferentes cargas em lagoas de alta taxa tratando dejetos suínos variando entre 100 e 200 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹ para a lagoa de alta taxa 1 e de 100 e 400 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹ para a lagoa de alta taxa 2 e concluíram que a carga máxima admitida deve ser ≤ 200 kg DQO ha⁻¹ d⁻¹ para que ocorra eficiência satisfatória de remoção de DQO e amônia.

Por meio da Tabela 2 observa-se que houve redução efetiva na concentração de todas as variáveis estudadas, tanto nas referentes à matéria orgânica (DQO no dejetos bruto de 9097 mg L⁻¹ e no Efl. LM de 149 mg L⁻¹), quanto ao fósforo (PT no dejetos bruto de 284 mg L⁻¹ e P-PO₄ no Efl. LM de 52 mg L⁻¹) e ao nitrogênio (NTK no dejetos bruto de 1775 mg L⁻¹ e no Efl. LM de 217 mg L⁻¹).

Percebe-se, pelos resultados obtidos, que todas as unidades de tratamento, exceto o FP, foram eficientes na remoção de DQO e DBO, inclusive a LD que apresentou, no seu efluente, concentrações de matéria orgânica 40 a 50% inferiores às encontradas no dejetos bruto. Martinez et al. (2003) conseguiram, testando diferentes formas de tratamento anaeróbio de dejetos suínos em escala laboratorial, reduzir em 50% a DBO e em 80% a DQO. Conforme esses autores, a fase de armazenamento do dejetos não é inerte sendo que a decomposição da matéria orgânica em ambientes anaeróbios é muito expressiva, apesar de ocorrer de forma mais lenta que nos tratamentos aeróbios.

A LA apresentou concentração média de 839 mg L⁻¹ de DQO no seu efluente, resultado este insatisfatório se comparado com o do estudo de Deng et al. (2006), que alcançaram valores de 95,5% de remoção de DQO e efluente final com concentração inferior a 300 mg L⁻¹, em seu sistema anaeróbio de tratamento de dejetos suínos.

Os valores médios de DBO solúvel passaram de 149 mg L⁻¹ no Efl. LM para 536 mg L⁻¹ no Efl. FP, mostrando a acumulação de matéria orgânica no FP. Também ocorreu acumulação de nutrientes nesta unidade devido, provavelmente, à degradação da biomassa algal e microbiana, retidas na superfície do meio filtrante favorecendo a hidrólise dos compostos orgânicos e a solubilização dos compostos nitrogenados e fosfatados.

O processo de tratamento no FP é predominantemente físico não servindo para o tratamento biológico, o que foi confirmado pelos resultados das variáveis estudadas.

Considerou-se, neste estudo, a saída da LM como efluente final para a comparação com o padrão de emissão (CONAMA, 2005), uma vez que o tratamento no FP foi insatisfatório para a remoção de matéria orgânica e de nutrientes.

O comportamento da concentração mediana da DBO e DQO ao longo do sistema de tratamento (sem o FP) pode ser observado nas Figuras 3A e 3C, assim como a eficiência de remoção em cada unidade e do sistema completo de tratamento (Figuras 3B e D).

O valor mediano da DBO passou de 8800 mg L⁻¹ (DBO total) no dejetos bruto para 150 mg L⁻¹ (DBO solúvel) no Efl. LM, alcançando uma eficiência mediana de 97%; as unidades que obtiveram maior remoção de matéria orgânica foram a LA (65% de remoção para DBO e 64% para DQO) e a LFA, que alcançou 68% de eficiência, tanto para DBO quanto para DQO.

Carmo et al. (2004) verificaram, avaliando sistema de tratamento de dejetos suínos em série, composto de tanque de equalização + reator UASB + lagoa facultativa aerada (LAF), que a unidade LAF obteve uma eficiência média de 83% para a DQO total e o sistema proporcionou remoção média de 93% para DQO total e 84% para DBO.

Esses resultados confirmam que a LFA é a unidade com melhor desempenho na remoção de matéria orgânica, utilizada como polimento do efluente do reator UASB, em sistemas em série tratando dejetos suínos.

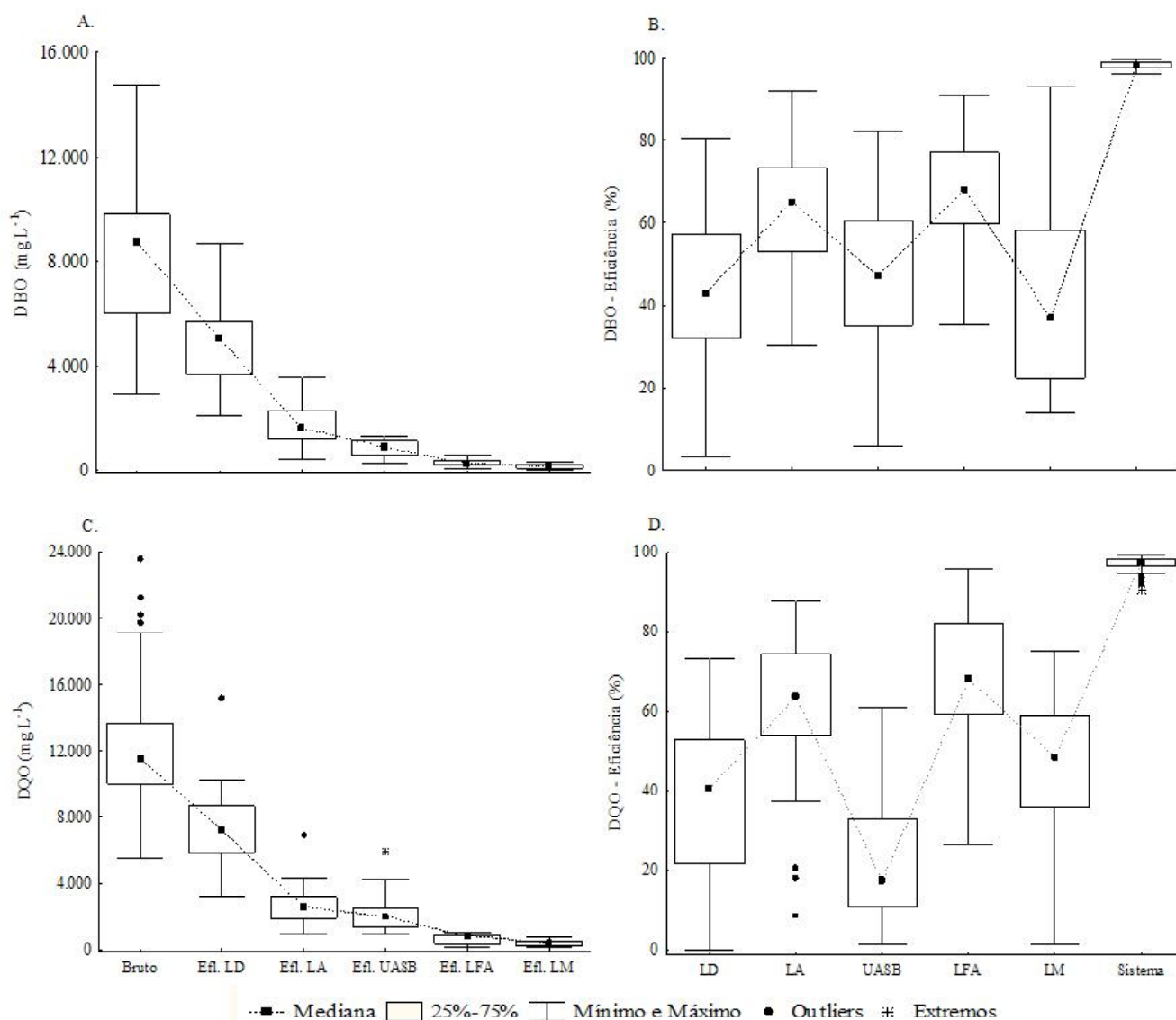
O reator UASB foi a unidade que obteve a menor eficiência de remoção de DQO (mediana igual a 19%), valor inferior ao encontrado por Campos et al. (2005), que estudaram um reator UASB piloto, alimentado em batelada com dejetos suínos, no

Tabela 2. Concentração de matéria orgânica e nutrientes (mg L⁻¹) e pH nas unidades de tratamento

Pontos de coleta	Parâmetros (média ± desvio padrão)						pH
	DBO	DQO	PT	P-PO ₄	NTK	N-NH ₃	
	mg L ⁻¹						
Dejetos bruto	9.097 ± 4.197*	12.578 ± 4.267*	284 ± 156	-	1.775 ± 438	1.051 ± 253	7,4 ± 0,6
Efl. Lagoa de decantação	4.804 ± 1.657*	7.378 ± 2.265*	197 ± 127	-	1.413 ± 213	993 ± 144	7,3 ± 0,2
Efl. Lagoa anaeróbia	1.737 ± 796*	2.666 ± 1.111*	143 ± 770	-	1.304 ± 177	951 ± 147	7,5 ± 0,3
Efl. Reator UASB	839 ± 315*	2.161 ± 1.128*	-	149 ± 67	1.225 ± 170	844 ± 257	7,7 ± 0,2
Efl. Lagoa facultativa aerada	233 ± 136**	659 ± 323**	-	83 ± 45	502 ± 254	359 ± 212	8,5 ± 0,3
Efl. Lagoa de maturação	149 ± 86**	357 ± 172**	-	52 ± 27	217 ± 141	125 ± 890	8,6 ± 0,5
Efl. Filtro de pedras	536 ± 233**	278 ± 165**	81 ± 43	-	291 ± 108	207 ± 166	8,3 ± 0,3

* Valores de DQO e DBO total

** Valores de DQO e DBO solúvel (não considerando a biomassa algal)



LD - Lagoa de decantação; LA - Lagoa anaeróbica; UASB - Reator; LFA - Lagoa facultativa aerada; LM - Lagoa de maturação

Figura 3. Comportamento da DBO e DQO ao longo do sistema de tratamento, A e C: concentração (mg L^{-1}); B e D: eficiência de remoção (%)

qual foi alcançada a eficiência de remoção média de 78% para a DQO.

Rodrigues et al. (2010) estudaram um sistema de tratamento de dejetos suínos em escala real composto de decantador e reator UASB, ao qual foi aplicada uma carga orgânica entre 1,1 a $17,5 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ e alcançaram eficiência de remoção de 93%, com concentração no efluente de 800 mg L^{-1} de DQO. Esses autores concluíram que o sistema decantador-reator UASB se apresenta como alternativa promissora para o tratamento de águas residuárias de suinocultura, ao contrário do que foi constatado no presente estudo.

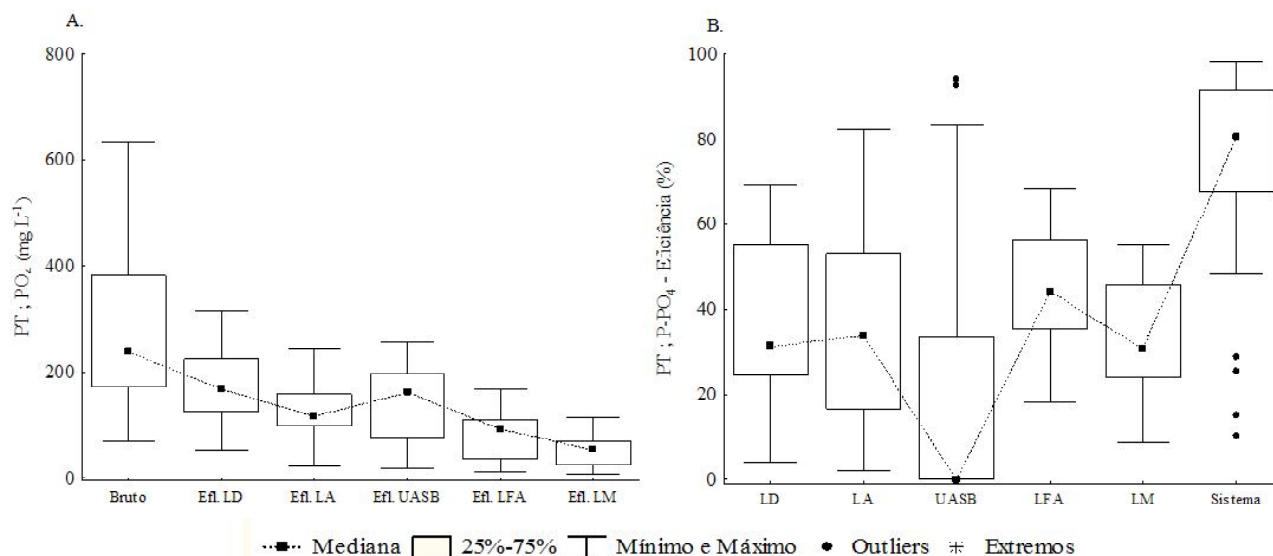
O comportamento do fósforo (Figura 4A) foi estudado por meio da análise do valor da mediana do PT no Dejeito Bruto (238 mg L^{-1}) e do P-PO_4 no Efl. LM (54 mg L^{-1}), o que correspondeu a 74% de eficiência de remoção. As maiores eficiências (Figura 4B) ocorreram nas lagoas do tratamento terciário, alcançando o valor mediano de 45% na LFA e 31% na LM, sinalizando boa capacidade de remoção devido aos

elevados valores do pH (maiores que 8,0), que favorecem a precipitação do P-PO_4 .

A remoção de fosfato na LFA que operava com aeração intermitente, foi 20% inferior àquela encontrada no estudo de Suzuki et al. (2002), que desenvolveram uma unidade piloto tratando dejetos suínos com aeração contínua. Em outro estudo, Suzuki et al. (2007) mostraram, ainda, que o processo responsável pela redução do fósforo nessa unidade tratando dejetos suínos, é a cristalização e, como consequência, ocorre a formação da estruvita.

A remoção de fósforo nas unidades aeróbias do presente trabalho foi superior à encontrada por Godos et al. (2009), que estudaram lagoa de alta taxa algal tratando dejetos suínos e alcançaram até 10% de eficiência de remoção em virtude da condição de tamponamento do dejeito suíno, o que impediu a precipitação do P-PO_4 .

O reator UASB apresentou mediana igual a zero (valor que ocorreu com maior frequência) para a eficiência de remoção de



LD - Lagoa de decantação; LA - Lagoa anaeróbica; UASB - Reator; LFA - Lagoa facultativa aerada; LM - Lagoa de maturação

Figura 4. Comportamento do PT (unidades anaeróbicas); P-PO₄ (unidades aeróbicas): A- concentração (mg L⁻¹); B - eficiência de remoção (%)

fósforo, porém houve grande oscilação nos valores absolutos, entre 0 e 94% de eficiência, mostrando a dificuldade de estabilização desta unidade de tratamento.

O reator UASB entrou em colapso em razão da variação de vazão e carga aplicada no sistema de tratamento, não se adaptando ao sistema real de tratamento de dejetos suínos, os quais não possuem, de forma geral, controle da vazão, do grau de diluição do afluente nem da temperatura nas unidades prejudicando, em contrapartida a eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes.

Nas Figuras 5A e 5C estão apresentadas as variações nas concentrações de NTK e N-NH₃ ao longo do sistema de tratamento; a eficiência de remoção de cada unidade de tratamento pode ser observada nas Figuras 5B e 5D.

A eficiência de remoção mediana no sistema foi de 83% para NTK e de 88% para N-NH₃, embora tenham ocorrido, nas unidades anaeróbicas, valores insatisfatórios de remoção de NTK (13% na LD, 12% na LA e 8% no reator UASB).

As perdas significativas de nitrogênio ocorreram predominantemente nas lagoas de tratamento terciário. Os maiores valores de remoção mediana foram de 59% (NTK) na LFA e de 64% na LM, para N-NH₃. A concentração mediana de amônia no Efl. LM foi de 128 mg L⁻¹, ou seja, 87% inferior ao encontrado no dejetos bruto, que foi de 998 mg L⁻¹.

A remoção de nitrogênio amoniacal nas lagoas aeróbicas (LFA+LM) foi elevada, alcançando 85% de eficiência média e foi devida, provavelmente, ao processo de volatilização da amônia, já que as amostras analisadas apresentaram apenas traços de nitrato e nitrito. Os valores de pH acima de 8,5 em todas as coletas e o tempo de retenção hidráulica longo (Tabela 2), tanto na LFA (53 dias) quanto na LM (73 dias), favoreceram as perdas de nitrogênio por volatilização.

Além disso, a assimilação algal do nitrogênio foi pequena alcançando valores de 2% na LFA e de 5% na LM, conforme balanço de nitrogênio realizado por Araújo (2007). Este valor pode ser considerado insuficiente, se comparado com o estudo de Molinuevo-Salces et al. (2010), que estudaram dois

fotobiorreatores tratando efluente anaeróbico de dejetos suínos, em condições ambientais controladas e alcançaram valores de assimilação de nitrogênio pela biomassa algal, de 31 a 47%.

A LFA recebeu aeração apenas durante a noite, o que pode ter prejudicado o processo de nitrificação já que os valores de oxigênio dissolvido no meio líquido foram baixos indicando mediana igual a 0,7 mg L⁻¹ no Efl. LFA, durante todo o monitoramento (Araújo, 2007). A volatilização também foi a principal via de remoção de nitrogênio no trabalho desenvolvido por Vivan et al. (2010), que estudaram um sistema de tratamento de dejetos suínos composto por biodigestor, lagoa anaeróbica, lagoa facultativa e 2 lagoas de maturação.

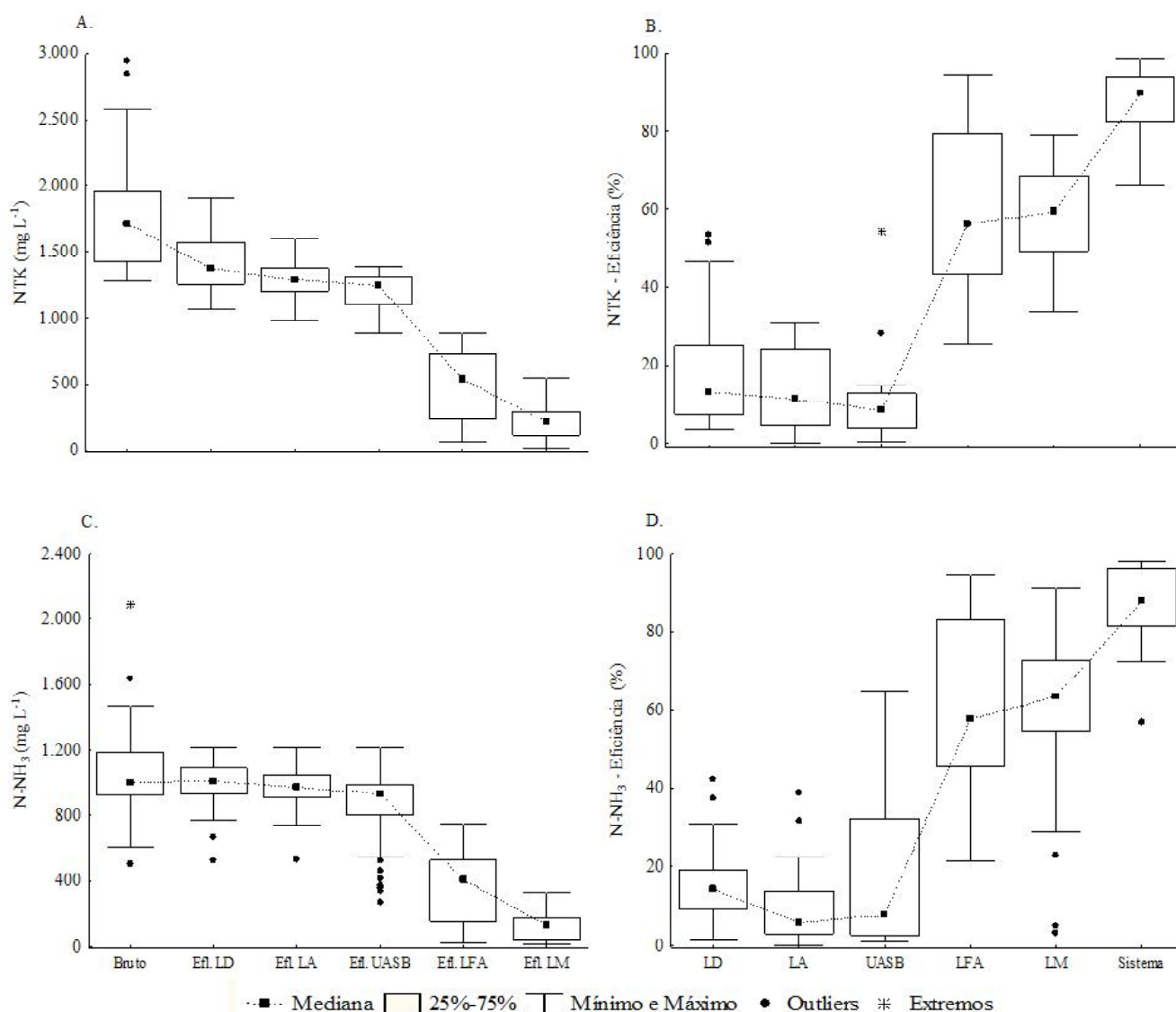
Conforme Béline & Martinez (2002), em estudo de aeração de dejetos suínos, a remoção de nitrogênio via nitrificação fica prejudicada caso o processo de aeração seja intermitente ou insuficiente, em razão dos efeitos inibitórios que prejudicam a subpopulação de bactérias especializadas.

Gehring et al. (2010) observaram, estudando lagoas de estabilização em série tratando lixiviado de aterro sanitário, remoção de amônia na ordem de 89,5% e encontraram taxas insignificantes de nitrificação e intensiva volatilização de amônia, tal como no trabalho de Rockne & Brezonik (2006), que estudaram lagoas de estabilização tratando esgoto doméstico e verificaram 80% de volatilização da amônia não ionizada em pH superior a 8,0, mesmo sob condições de baixas temperaturas.

A concentração de clorofila a e a contagem de algas no sistema aeróbio de tratamento, estão apresentadas na Figura 6A e 6B.

Os valores medianos de clorofila a foram de 9 µg L⁻¹ no Efluente do reator UASB, 545 µg L⁻¹ no Efl. LFA e 939 µg L⁻¹ no Efl. LM. Constataram-se aumento de 98% na concentração da clorofila a na LFA em relação ao reator UASB e acréscimo de 42% na LM.

O reator UASB é um sistema anaeróbico que obteve, em seu efluente, na maioria das coletas, valores de clorofila a igual a zero. A concentração de clorofila a no Efl. LM foi alta,



LD - Lagoa de decantação; LA - Lagoa anaeróbica; UASB - Reator; LFA - Lagoa facultativa aerada; LM - Lagoa de maturação

Figura 5. Comportamento do NTK e N-NH₃ ao longo do sistema de tratamento, A e C: concentração (mg L⁻¹); B e D: Eficiência de remoção (%)

apresentando picos e alcançando valores de 1.898 $\mu\text{g L}^{-1}$, condizentes com as condições de um sistema terciário de tratamento.

Barthel et al. (2008) encontraram valores médios de clorofila a de 1.831 $\mu\text{g L}^{-1}$ em lagoa de maturação e 2.223 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em lagoa de alta taxa, tratando dejetos suínos.

Em referência à contagem algal, houve acréscimo ao longo do sistema de tratamento aeróbio confirmando os valores de clorofila a. Os valores medianos no Efl. LFA foram de $2,24 \times 10^6$ células mL⁻¹ e no Efl. LM, de $2,84 \times 10^6$ células mL⁻¹.

A alga predominante neste estudo foi a *Chlorella* sp., encontrada em 100% das amostras. Conforme Travieso et al. (2006), a *Chlorella* sp. resiste a altas concentrações de DQO e amônia, condições encontradas no efluente do tratamento anaeróbico de dejetos suínos. Godos et al. (2010) estudaram diferentes tipos de microalgas em testes de biodegradação de dejetos suínos e verificaram que a espécie *Chlorella sorokiniana* foi tolerante às altas concentrações de N-NH₃ e que este é o critério chave para a seleção das algas em sistemas de tratamento.

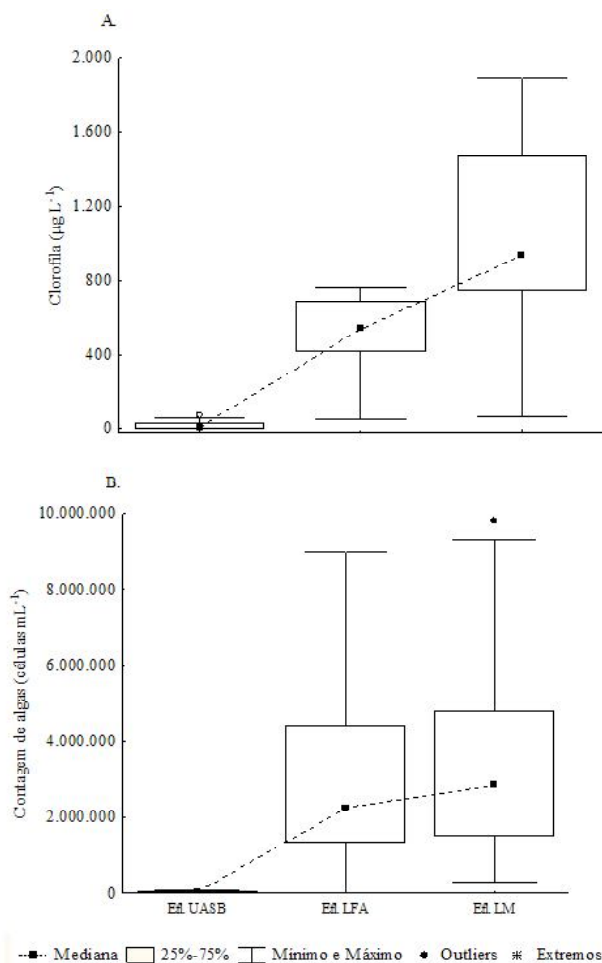
Os valores de Coliformes Totais e *E. coli* nas lagoas aeróbias (LFA e LM) são mostrados nas Figuras 7A e 7B.

Os valores de coliformes totais foram de $2,8 \times 10^5$ no Efl. UASB; $1,8 \times 10^5$ no Efl. LFA e $5,9 \times 10^4$ NMP 100 mL⁻¹ no Efl. LM. Houve remoção de aproximadamente 0,2 unidades log na LFA e 0,5 unidades log na LM.

Em relação a *E. coli*, as concentrações medianas foram de $2,5 \times 10^4$ NMP 100 mL⁻¹ no Efl. LFA e $4,0 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹ no Efl. LM. A remoção foi de 0,86 unidades log na LFA e de 0,80 unidades log na LM.

A remoção de coliformes foi inferior à prevista para o sistema terciário de tratamento (LFA+LM). Isto se deve à dificuldade de penetração dos raios solares na coluna d'água e à consequente ineficiência da ação do ultravioleta (UV), em virtude da turbidez provocada pela biomassa algal (Moreira et al., 2009).

Segundo Bracho et al. (2006), a desinfecção natural em lagoa de maturação requer a penetração da radiação solar na coluna d'água. Deve-se, então, priorizar a remoção de sólidos e



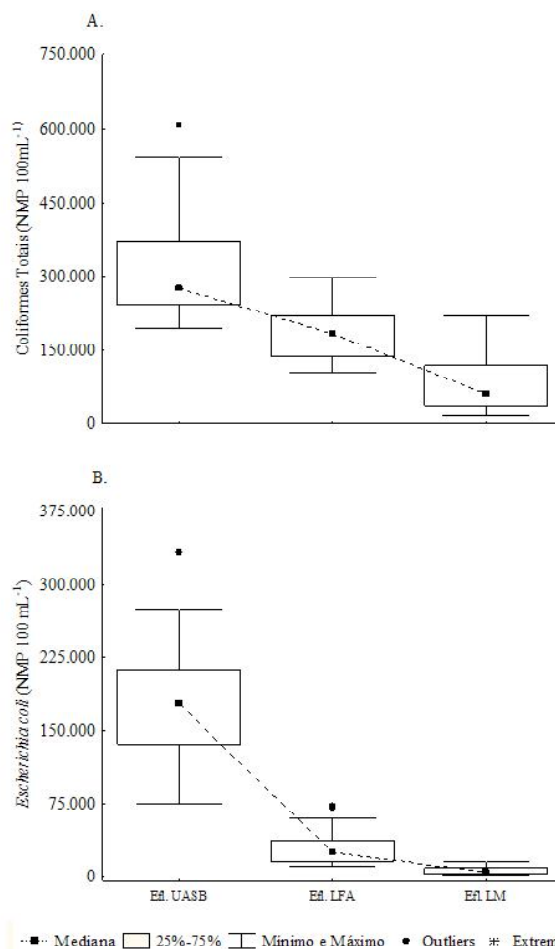
UASB - Reator; LFA - Lagoa facultativa aerada; LM - Lagoa de maturação

Figura 6. Comportamento da biomassa algal ao longo das unidades aeróbias: Clorofila a, $\mu\text{g L}^{-1}$ (A); Contagem de algas, células mL^{-1} (B)

nutrientes em sistemas anteriores à lagoa de maturação e, caso haja altas concentrações de sólidos suspensos, a remoção de *Escherichia coli* cairá acentuadamente.

CONCLUSÕES

1. A unidade com melhor desempenho foi a lagoa facultativa aerada alcançando os maiores valores de remoção para a DQO, DBO, PT/P-PO₄ e a *Escherichia coli*, em que a lagoa de maturação foi mais eficiente na remoção do NTK e N-NH₃.
2. O sistema apresentou eficiências de remoção satisfatórias obtendo valores de 97% para DBO, 95% para DQO, 88% para N-NH₃ e 74% para PT/P-PO₄, mesmo com as variações de vazão e de carga orgânica aplicadas.
3. A remoção de *Escherichia coli* nas unidades aeróbias foi baixa reduzindo somente 0,86 unidades log na LFA e 0,80 unidades log na lagoa de maturação.
4. O reator UASB e o filtro de pedras mostraram baixa eficiência e não se adaptaram às condições de operação do sistema de tratamento da granja de suínos.
5. O primeiro ano de funcionamento do sistema composto por unidades anaeróbias e aeróbias, mostrou que esta tecnologia



UASB - Reator; LFA - Lagoa facultativa aerada; LM - Lagoa de maturação

Figura 7. Comportamento dos coliformes ao longo das unidades aeróbias: A - Coliformes Totais (NMP 100mL⁻¹); B - *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹)

de tratamento de dejetos suínos foi validada, embora careça de ajustes na operação.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, P.; García, J.; Álvarez, E. Efficiency and design considerations of high rate ponds used for the treatment of piggery wastes. In: International Conference on Waste Stabilization Ponds, 6, e International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, Avignon, France. Anais... Avignon, France: IWA, 2004. CD-Rom.
- Alves, R. G. C. M. Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios - Operação e avaliação de diversos reatores em escala real. Florianópolis: UFSC, 2007. 130p. Tese Doutorado
- Araújo, I. S. Avaliação de lagoas facultativa aerada e de maturação, em escala real, como etapas secundária e terciária de sistema de tratamento de dejetos suínos Florianópolis: UFSC, 2007. 237p. Tese Doutorado
- APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20.ed. Washington: AWWA/APHA/WEF, 1998. 118p.

- Barthel, L.; Oliveira, P. A. V.; Costa, R. H. R. Plankton biomass study in secondary ponds treating piggery waste. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.51, p.1287-1299, 2008.
- Béline, F.; Martinez, J. Nitrogen transformations during biological aerobic treatment of pig slurry: effect of intermittent aeration on nitrous oxide emissions. *Bioresource Technology*, v.83, p.225-228, 2002.
- Belli Filho, P.; Castilhos Júnior, A. B.; Costa, R. H. R.; Soares, S. R.; Perdomo, C. C. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.166-170, 2001.
- Bracho, N.; Lloyd, B.; Aldana, G. Optimisation of hydraulic performance to maximise faecal coliform removal in maturation ponds. *Water Research*, v.40, p.1677-1685, 2006.
- Campos, C. M. M.; Mochizuki, E. T.; Damasceno, L. H. S.; Botelho, C. G. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos suínos. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.848-856, 2005.
- Carmo, F. R.; Campos, C. M. M.; Botelho, C. G.; Costa, C. C. Uso de lagoa aerada facultativa como polimento do reator anaeróbio de manta de lodo UASB no tratamento de dejetos de suínos em escala laboratorial. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, p.600-607, 2004.
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente - Resolução n.357, de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. < <http://www.mma.gov.br> >. 18 Set. 2010.
- Deng, L.; Zheng, P.; Chen, Z. Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater. *Process Biochemistry*, v.41, p.965-969, 2006.
- Estrada, V. E. E.; Hernandez, D. E. A. Treatment of piggery wastes in waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, v.45, p.55-60, 2002.
- Gehring, T.; Silva, J. D.; Kehl, O.; Castilhos Jr., A. B.; Costa, R. H. R.; Uhlenhut, F.; Alex J.; Horn, H.; Wichern, M. Modelling waste stabilisation ponds with an extended version of ASM3. *Water Science and Technology*, v.61, p.713-720, 2010.
- Godos, I.; Blanco, S.; García-Encina, P. A.; Becares, E.; Muñoz, R. Long-term operation of high rate algal ponds for the bioremediation of piggery wastewaters at high loading rates. *Bioresource Technology*, v.100, p.4332-4333, 2009.
- Godos, I.; Vargas, V. A.; Blanco, S.; González, M. C. G.; Soto, R.; García-Encina, P. A.; Becares, E.; Muñoz, R. A comparative evaluation of microalgae for the degradation of piggery wastewater under photosynthetic oxygenation. *Bioresource Technology*, v.101, p.5150-5158, 2010.
- Hadlich, G. M.; Scheibe, L. F. Condições socioeconômicas e ambientais em área rural de intensa produção suinícola: um exemplo no sul do Brasil. *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, v.14, p.111-127, 2007.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal. 2008. <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. 23 Jul. 2010.
- Martinez, J.; Guizoui, F.; Peu, P.; Gueutier, V. Influence of Treatment Techniques for Pig Slurry on Methane Emissions during Subsequent Storage. *Biosystems Engineering*, v.85, p.347-354, 2003.
- Molinuevo-Salces, B.; García-González, M. C.; González-Fernández, C. Performance comparison of two photobioreactors configurations (open and closed to the atmosphere) treating anaerobically degraded swine slurry. *Bioresource Technology*, v.101, p.5144-5149, 2010.
- Moreira, J. F.; Cabral, A. R.; Oliveira, R.; Silva S. A. Causal model to describe the variation of faecal coliform concentrations in a pilot-scale test consisting of ponds aligned in series. *Ecological Engineering*, v.35, p.791-799, 2009.
- Nush, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, v.14, p.14-36, 1980.
- Oliveira, J. L. R. Utilização de filtros no polimento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos suínos. Florianópolis: UFSC, 2008. 99p. Dissertação Mestrado
- Rockne, K. J.; Brezonik, P. L. Nutrient removal in a cold-region wastewater stabilization pond: importance of ammonia volatilization. *Journal of Environmental Engineering*, v.132, p.451-459, 2006.
- Rodrigues, L. S.; Silva, I. J.; Zocrato, M. C. O.; Papa, D. N.; Sperling, M. V.; Oliveira, P. R. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.94-100, 2010.
- Strebele, H.; Krauter, D. Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida em uma gota de água. 1.ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1987. 364p.
- Suzuki, K.; Tanaka, Y.; Kuroda, K.; Hanajima, D.; Fukumoto, Y.; Yasuda, T.; Waki, M. Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation. *Bioresource Technology*, v.98, p.1573-1578, 2007.
- Suzuki, K.; Tanaka, Y., Osada, T., Waki, M. Removal of phosphate, magnesium and calcium from swine wastewater through crystallization enhanced by aeration. *Water Research*, v.36, p.2991-2998, 2002.
- Travieso, L.; Benítez, F.; Sánchez, E.; Borja, R.; Martín, A.; Colmenarejo, M. F. Batch mixed culture of *Chlorella vulgaris* using settled and diluted piggery waste. *Ecological Engineering*, v.28, p.158-165, 2006.
- Vivan, M.; Kunz, A.; Stolberg, J.; Perdomo, C.; Techio, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.320-325, 2010.