

ESTERQUEIRAS: AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO DEJETO SUÍNO ARMAZENADO¹

MÔNICA A. A. DOS SANTOS², VERÔNICA SCHMIDT³, VANESSA C. BITENCOURT⁴,
MICHELE T. D. MAROSO⁵

RESUMO: Este trabalho avaliou a eficácia do armazenamento de dejetos de suínos por 120 dias, em três esterqueiras de propriedades suinícolas localizadas na bacia do lajeado Suruvi, município de Concórdia, região oeste de Santa Catarina. Os parâmetros analisados foram: decomposição do material carbonáceo, transformação de compostos nitrogenados, adsorção do fósforo e viabilidade de microrganismos patogênicos. Os resultados revelaram que: a) as maiores remoções de material carbonáceo ocorrem entre 30 e 60 dias de armazenamento; b) o ambiente anaeróbio das esterqueiras impossibilitou as remoções de nitrogênio amoniacal por nitrificação/desnitrificação; c) embora as remoções de ortofosfato na fase líquida do dejetos tenham sido significativas, a estocagem por longo período parece favorecer a migração desse elemento para a fase sólida do resíduo, e d) ao longo dos 120 dias de armazenagem, não foi possível reduzir o NMP médio de coliformes (CF e CT), porém os valores remanescentes ainda são elevados, fato que dificulta a disposição do material.

PALAVRAS-CHAVE: esterqueiras, compostos nitrogenados, indicadores microbianos.

PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL TREND IN STORED PIG SLURRY

ABSTRACT: This work evaluated the effectiveness of the storage of pig slurry during 120 days. It was analyzed the decomposition of the organic material, the transformation of nitrogen compound, the phosphorus adsorption and the viability of pathogenic microorganisms in lagoons from three pig breeding farms located at Lajeado Suruvi basin in Concordia - West of Santa Catarina State, Brazil. The results showed that the largest removals of organic material happened between 30 and 60 days of storage. In the anaerobic lagoon was not possible to remove nitrogen by nitrification/denitrification. During the liquid phase was possible to remove orthophosphate but when the orthophosphate was stored for a long period it seemed it was transferred for the solid phase of the residue. During 120 days of storage it was not possible to reduce total and fecal coliforms MPN; however the remaining values are still high.

KEYWORDS: lagoons, organic material, microbial indicators.

INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina é o maior produtor regional de suínos da América Latina, com rebanho de aproximadamente 5,5 milhões de cabeças, responsável pela geração de cerca de 10⁷ metros cúbicos de efluentes líquidos (dejetos) por ano (ANUALPEC, 2003).

Os dejetos produzidos pela suinocultura apresentam, além de grandes concentrações de material carbonáceo, altos teores de nitrogênio e fósforo. Esses resíduos, quando lançados sem

¹ Trabalho apresentado no V Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental.

² Eng^a Agrônoma, Profa. Dra., Departamento de Engenharia Rural, UFSC, Florianópolis - SC, Fone (0XX48) 3331.5344, monica@cca.ufsc.br

³ Médica Veterinária, Profa. Dra., Faculdade de Veterinária, UFRGS, Porto Alegre - RS, Fone (0XX51) 331.6123, veronica.schmidt@ufrgs.br

⁴ Acadêmica do Curso de Agronomia, UFSC, Florianópolis - SC, Fone (0XX48) 9603.9604, vanessa_coan@yahoo.com.br

⁵ Médica Veterinária, Faculdade de Veterinária, UFRGS, Porto Alegre - RS, m_maroso@yahoo.com.br. Bolsista PROPBIC/FAPERGS.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 30-5-2006

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 8-1-2007

tratamento adequado no ambiente, promovem desequilíbrios estruturais acelerando os processos de degradação (SEZERINO, 2002).

Dentre as tecnologias que são empregadas no tratamento de dejetos de suínos, destaca-se o armazenamento temporário em esterqueiras, seguido de aplicações no solo e, em situações muito pontuais, sistemas compostos por várias lagoas dispostas em série.

Poucos trabalhos relatam sobre fatores que influenciariam no desempenho das esterqueiras e/ou bioesterqueiras sobre a remoção de material carbonáceo, nutrientes e microrganismos patogênicos, muito embora o que se espera, na prática, é que apresentem desempenho igual ou parecido com as lagoas de estabilização.

Em lagoas de estabilização, a remoção de material carbonáceo ocorre com participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias, as quais transformam biologicamente a matéria orgânica em produtos finais mais estáveis (MEDRI, 1997). Muitos autores relatam a perda de eficiência das lagoas durante o período de inverno, porque, em temperaturas baixas, a velocidade de decomposição da matéria orgânica diminui devido à redução do metabolismo microbiano.

Outros fatores importantes na remoção de material carbonáceo são a carga volumétrica aplicada e o tempo de detenção.

SILVA (1996), citado por MEDRI (1997), trabalhando com dejetos suínos em escala-piloto, mostrou que a melhor taxa de remoção de matéria orgânica carbonácea foi obtida quando se aplicou carga orgânica volumétrica de $0,05 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^{-3} \text{ dia}^{-1}$, para o tempo de detenção de 30 dias. Já COSTA et al. (1995), estudando dejetos suínos em escala real, aplicaram cargas volumétricas variando entre $0,03$ e $0,12 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^{-3} \text{ dia}^{-1}$ em lagoas anaeróbias e verificaram redução na ordem de 85% a 90% de DBO, para o tempo de detenção de 66 a 117 dias, respectivamente.

A respeito da remoção de nutrientes, em especial de nitrogênio e fósforo, PICOT et al. (1991 e 1993) verificaram que, em lagoas de estabilização de alta taxa, durante o dia, a radiação solar promove crescimento da biomassa algal, a qual responderia por maior disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD), aumento de pH e alcalinidade total. Como conseqüência, a remoção de nutrientes seria facilitada pela absorção biológica, precipitação do fosfato e volatilização da amônia.

PEARSON et al. (1987), trabalhando com lagoas de estabilização, observaram que o número de coliformes fecais é menor onde o pH, a temperatura, o oxigênio dissolvido e a concentração de algas são elevados. Já CURTIS et al. (1992) relataram que essa redução do número de coliformes se deve a uma combinação entre os fatores luz solar, pH elevado e alta concentração de oxigênio dissolvido.

Outro agente disseminado pelos dejetos de suínos, segundo JONES (1980), e que pode afetar inclusive o homem, é a *Salmonella sp.* De acordo com esse mesmo autor, das salmonelas isoladas nos dejetos suínos, nenhuma estava associada a doenças nos animais, caracterizando-os como portadores do agente, sem a presença de sinais clínicos da doença.

Segundo a Portaria nº 002/03, elaborada pela Fundação de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA), antes de ser aplicado no solo, o dejetos suíno deve permanecer armazenado pelo período mínimo de 120 dias, que teria por finalidade garantir, por meio de processos anaeróbios, a decomposição do material carbonáceo, a transformação de compostos nitrogenados e a adsorção do fósforo, além da redução dos microrganismos patogênicos (SANTA CATARINA, 2003).

Estudos sobre a eficácia dos sistemas de armazenamento ainda são escassos. Dessa forma, este trabalho foi concebido e desenvolvido com o objetivo de avaliar a decomposição do material carbonáceo, a transformação de compostos nitrogenados, a adsorção do fósforo e a viabilidade de microrganismos patogênicos, durante o período de armazenagem de 120 dias, conforme exigido pela Legislação Ambiental vigente.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido durante os meses de setembro de 2003 a janeiro de 2004, em três propriedades suínícolas localizadas no município de Concórdia, região oeste do Estado de Santa Catarina.

Os principais critérios considerados na escolha das propriedades foram: possuir esterqueira revestida com lona plástica ou alvenaria com profundidade útil igual ou superior a dois metros, de modo a favorecer o estabelecimento de processos anaeróbios, e capacidade de armazenamento compatível com a produção de dejetos do rebanho a fim de permitir coletas de resíduos armazenados com até 120 dias.

A primeira amostra de dejetos foi coletada, em cada uma das propriedades, na canaleta dos galpões de suínos, caracterizando-se como o “momento zero” de armazenagem. As demais amostras foram coletadas, sempre do lado oposto à entrada dos dejetos na esterqueira, à profundidade mínima de 50 cm e igual distância das bordas, após 30; 60; 90 e 120 dias do “momento zero”.

O critério de profundidade e distanciamento da borda, além de observar-se o lado contrário à entrada dos dejetos no sistema para a coleta de amostras, está relacionado à necessidade de garantir que a amostra coletada não possua tempo de armazenagem inferior ao estabelecido, evitando-se, desta forma, a coleta de material “novo” na esterqueira.

Durante cada coleta, amostras de dejetos foram retiradas e acondicionadas em frascos apropriados e encaminhadas, respectivamente, aos laboratórios de Água, Solo e Tecidos Vegetais do Departamento de Engenharia Rural da UFSC e ao Setor de Medicina Veterinária Preventiva da Faculdade de Veterinária da UFRGS.

As metodologias analíticas empregadas nos exames das amostras de dejetos com relação a DQO, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃, P-PO₄, pH e conteúdo sólido seguiram as recomendações de APHA (1992), sendo que, para íons solúveis e DQO, a amostra foi anteriormente filtrada em papel-filtro qualitativo.

Com relação aos coliformes fecais e totais, a pesquisa do Número Mais Provável (NMP) foi realizada por meio da técnica dos tubos múltiplos modificada (SCHMIDT, 2002), e a confirmação da presença de *Escherichia coli* foi feita a partir dos tubos de EC que apresentaram resultado positivo, e a identificação, por testes bioquímicos de rotina.

A determinação da presença de *Salmonella sp.* foi realizada segundo MICHAEL et al. (2002), sendo as amostras isoladas, sorotipadas no Instituto Oswaldo Cruz, no Rio de Janeiro.

Os resultados obtidos foram analisados no programa Statistic 6.0. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (épocas de amostragem) e três repetições (propriedades), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Série de sólidos (sólidos totais, voláteis e fixos)

A respeito da concentração de sólidos totais (resíduos totais constituídos pelos sólidos fixos e sólidos voláteis), sólidos voláteis (fração orgânica dos sólidos totais) e sólidos fixos (fração inorgânica dos sólidos totais), a amostra referente ao “momento zero” apresentou, para todas as frações, concentração significativamente maior ($p \leq 0,05$) que as outras amostras coletadas nas datas subsequentes. Em termos percentuais, essa diferença representa remoção de sólidos totais de aproximadamente 71% entre o “momento zero” e o trigésimo dia de armazenagem para os sólidos totais, 73% para os sólidos voláteis e 65% para os sólidos fixos. Esse resultado pode ser verificado na Tabela 1, na qual são apresentados os valores médios da série de sólidos (mg L⁻¹) em função das amostragens (dias) e as respectivas remoções em termos percentuais.

TABELA 1. Valores médios da série de sólidos (totais, voláteis e fixos) e as percentagens de remoção individuais e acumuladas.

Amostragem (dias)	0	30	60	90	120
Concentração de ST (mg L ⁻¹)	97.146,67	28.300,00	16.653,33	12.666,67	8.983,33
Remoção de ST (mg L ⁻¹)	-	68.846,67	11.646,67	3.986,67	3.683,33
Remoção de ST (%)	-	70,87	11,99	4,10	3,79
Remoção de ST (% acumulado)	-	70,87	82,86	86,96	90,75
Concentração de SV (mg L ⁻¹)	73.930,00	20.206,67	10.813,33	7.910,00	5.330,00
Remoção de SV (mg L ⁻¹)	-	53.723,33	9.393,33	2.903,33	2.580,00
Remoção de SV (%)	-	72,67	12,71	3,93	3,49
Remoção de SV (% acumulado)	-	72,67	85,37	89,30	92,79
Concentração de SF (mg L ⁻¹)	23.216,67	8.093,33	5.840,00	4.756,67	3.656,33
Remoção de SF (mg L ⁻¹)	-	15.123,33	2.253,33	1.083,33	1.103,33
Remoção de SF (%)	-	65,14	9,71	4,67	4,75
Remoção de SF (% acumulado)	-	65,14	74,85	79,51	84,26

Demanda Química de Oxigênio

Os valores de DQO obtidos nas amostras referentes ao “momento zero” e aos 30 dias de armazenagem foram significativamente maiores ($p \leq 0,05$) que os valores obtidos nas amostras coletadas nas datas subsequentes. Esses resultados assemelham-se aos verificados na série de sólidos e evidenciam a capacidade limitada de remoção de carga carbonácea pelas esterqueiras. Em síntese, o sistema parece funcionar bem durante os primeiros 60 dias de armazenagem e, em seguida, passa a apresentar velocidades muito baixas de remoção, caracterizando tendência de eliminação praticamente linear, tendendo ao infinito. Os valores de remoção de DQO podem ser verificados na Tabela 2, na qual são apresentadas as médias de remoção em mg L⁻¹ em função das amostragens (dias) e os respectivos valores em termos percentuais.

TABELA 2. Valores médios de DQO e as percentagens de remoção individuais e acumuladas.

Amostragem (dias)	0	30	60	90	120
Concentração de DQO (mg L ⁻¹)	31.050,71	18.887,79	11.176,28	7.813,70	6.641,46
Remoção de DQO (mg L ⁻¹)	-	12.162,91	7.711,51	3.362,59	1.172,23
Remoção de DQO (%)	-	39,17	24,84	10,83	3,78
Remoção de DQO (% acumulado)	-	39,17	64,01	74,84	78,61

Série nitrogenada (N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃)

A respeito da concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH₄), foi observada tendência de queda ao longo das épocas de amostragem, embora não se detectaram diferenças significativas entre essas ($p \geq 0,05$).

Sobre a concentração de nitrogênio na forma de nitrito (N-NO₂), foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as épocas de amostragem, e os valores médios mais altos foram de 667,60 mg L⁻¹, 560,69 mg L⁻¹ e 365,51 mg L⁻¹ obtidos, respectivamente, nas amostras coletadas aos 30 e 60 dias e “momento zero” de armazenagem. As concentrações obtidas aos 90 e 120 dias de armazenagem foram, respectivamente, 265,25 mg L⁻¹ e 265,70 mg L⁻¹, e significativamente diferentes das anteriores, porém semelhantes entre si.

Não foram observadas diferenças significativas entre as épocas de amostragem para a concentração de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO₃), apesar da tendência de queda visualizada na Tabela 3.

Embora a variação na concentração de nitrogênio amoniacal não tenha sido significativa, parte desse nitrogênio transformou-se em nitrito, e outra fração, em nitrato, o que resultou numa

oxidação média ao longo do experimento de aproximadamente 8,6%. Apesar de os valores observados para o pH encontrarem-se dentro da faixa considerada ideal para que ocorra a nitrificação (entre 7,0 e 9,0), por tratar-se de ambiente basicamente anaeróbico, essa reação torna-se difícil. 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 sobre a concentração de nitrogênio amoniacal, é possível observar, ao longo do experimento, remoção média de aproximadamente $2.257,75 \text{ mg L}^{-1}$, que representa, em termos percentuais, cerca de 32,6%, porém apenas 8,6% dessa remoção acontece por processos como a nitrificação e nitrificação. Os 24% restantes podem ter sido removidos por processos como a volatilização da amônia e/ou a sedimentação do amônio com a fração particulada dos dejetos, uma vez que essa análise foi realizada apenas na fração solúvel do dejetos. Os valores médios de concentração e remoção de nitrogênio podem ser verificados na Tabela 3.

TABELA 3. Valores médios de concentração de nitrogênio (diferentes formas) e as percentagens de remoção individuais e médias.

Amostragem (dias)	0	30	60	90	120	Média Experimento
Concentração de N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	6.922,17	5.880,57	4.964,88	4.272,39	3.539,83	-
Concentração de N-NO ₂ (mg L ⁻¹)	365,51	667,60	560,69	265,25	265,70	-
Concentração de N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	15,51	15,95	15,51	14,18	14,83	-
Oxidação (%)	5,50	11,62	11,60	6,54	7,92	8,63
Remoção de N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	-	1.041,60	1.957,29	2.649,78	3.382,33	2.257,75
Remoção de N-NH ₄ (%)	-	39,17	64,01	74,84	78,61	32,61
Diferença (rem./oxid. %)	-	-	-	-	-	24,02

Ortofosfato (P-PO₄)

A respeito da concentração de ortofosfato (P-PO₄), que é a forma predominante do fósforo nas águas residuárias, foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as épocas de amostragem, e os valores médios mais altos e semelhantes entre si foram de $156,16 \text{ mg L}^{-1}$, $143,75 \text{ mg L}^{-1}$ e $113,26 \text{ mg L}^{-1}$, obtidos, respectivamente, nas amostras coletadas no “momento zero”, aos 30 e 60 dias de armazenagem. As concentrações obtidas aos 90 e 120 dias de armazenagem foram, respectivamente, $111,87 \text{ mg L}^{-1}$ e $79,46 \text{ mg L}^{-1}$, significativamente diferentes das anteriores, porém sem diferença significativa entre si.

Provavelmente, a remoção de ortofosfato observada ocorreu pela adsorção na fração particulada e posterior decantação e acúmulo no lodo disposto no fundo da esterqueira. Na Figura 1, são apresentados os valores médios de ortofosfato em função das amostragens.

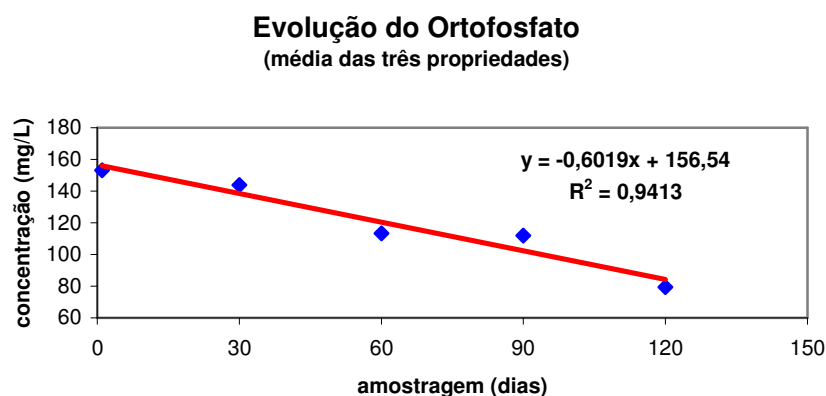


FIGURA 1. Evolução do ortofosfato em função do tempo de armazenagem.

Indicadores microbianos

Quanto à determinação de microrganismos, observou-se que houve tendência à manutenção do NMP médio de coliformes (Figura 2) ao longo do tempo, ocorrendo aumento aos 90 dias de estocagem, tanto para coliformes totais (CT) quanto para coliformes fecais (CF). Esse resultado, provavelmente, deve-se ao fato de que o ingresso de dejetos nesses sistemas ocorre de forma contínua, podendo resultar na mistura do material estocado desde a carga inicial do sistema (momento zero) até o seu completo preenchimento (120 dias). Verificou-se semelhança nos valores máximos encontrados de NMP de CT ($1,6 \times 10^7$ UFC 100 mL^{-1}) no tempo zero e aos 120 dias de estocagem. Entretanto, o mesmo não foi observado em relação aos CF ($1,6 \times 10^7$ UFC 100 mL^{-1} no tempo zero e 3×10^6 UFC 100 mL^{-1} aos 120 dias de estocagem) nas diferentes propriedades estudadas.

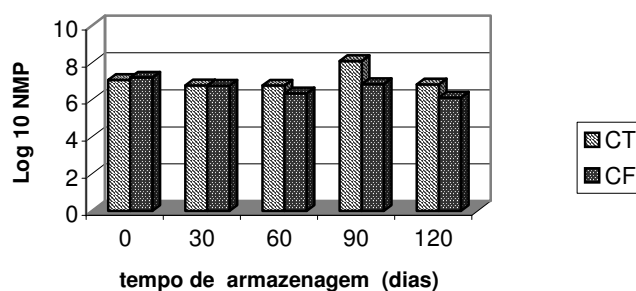


FIGURA 2. Número Mais Provável (NMP em LOG₁₀) de CT e CF em função do tempo de armazenagem.

No que se refere ao estudo de identificação de *Salmonella sp.*, foram encontradas e isoladas amostras de *S. typhimurium* em apenas uma propriedade, aos 120 dias de armazenagem, o que pode ser decorrente do fato de a *Salmonella sp.* ser péssima competidora. Assim, após o declínio na taxa de multiplicação ou inativação de outras bactérias, seria possível isolar esse microrganismo laboratorialmente. Por outro lado, esse microrganismo pode ter sido introduzido na granja durante o período de monitoramento do sistema, por meio do próprio homem, equipamentos, utensílios contaminados, roedores, alimentos e água.

CONCLUSÕES

As maiores remoções de matéria carbonácea em termos de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis e DQO ocorrem principalmente entre o 30^o e o 60^o dia de armazenamento.

Sobre o desempenho de transformação biológica do nitrogênio, constatou-se que o ambiente anaeróbico das esterqueiras impossibilita as remoções de nitrogênio amoniacal por nitrificação/desnitrificação.

Embora as remoções de ortofosfato ao final dos 120 dias de armazenagem tenham sido significativas, os valores médios remanescentes ainda são bastante elevados e, certamente, as condições apenas favoreceram a migração desse elemento da fase líquida para a fase sólida do resíduo.

Não houve redução do NMP de coliformes (CF e CT) ao longo dos 120 dias de armazenagem, fato que dificulta a disposição do material.

O fato de a *S. typhimurium* ter sido encontrada apenas em uma propriedade e somente aos 120 dias de armazenagem, impossibilitou a análise da eficácia da estocagem dos resíduos na remoção desses microrganismos.

REFERÊNCIAS

- ANUALPEC. *Suinocultura e outras criações*. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2003. p.287-311.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th.ed. Washington, 1992. v.1.
- COSTA, R.H.R.; SILVA, F.C.M.; OLIVEIRA, P.A.V. Preliminary studies on the use of lagoons in the treatment of hog waste products. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION ON WATER QUALITY, IAWQ INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP WASTE STABILISATION PONDS TECHNOLOGY AND APPLICATIONS, 3., 1995, London. *Proceedings...* London: IAWQ, 1995. p.70-6.
- CURTIS, T.P.; MARA, D.D.; SILVA, S.A. Effect of sunlight on faecal coliforms in ponds: implications for research and design. *Water Science and Technology*, Oxford, v.26, n.7-8, p.1729-38, 1992.
- JONES, P.N. Health hazards associated with the habdling of animal wastes. *Veterinary Record*, London, v.106, n.1, p. 4-7, 1980.
- MEDRI, W. *Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos*. 1997. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- MICHAEL, G.B.; SIMONETI, R.; CARDOSO, M.R. de I. da; COSTA, M. Sorotipos de *Salmonella* isolados em uma propriedade de suínos de terminação no sul do Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.3,p.525-27, 2002.
- PEARSON, H.W.; MARA, D.D.; MILLS, S.W.; SMALLMAN, D.J. Physico-chemical parameters influencing faecal bacterial survival in waste stabilization ponds. *Water Science Technology*, Oxford, v.19, n.12, p.145-52, 1987.
- PICOT, B.; EL HALOUANI, H.; CASELLAS, C.; MOERSIDIK, S.; BONTOUX, J. Nutrient removal by high rate pond system in a Mediterranean climate (France). *Water Science Technology*, Oxford, v.23, n.7-9, p.1535-41, 1991.
- PICOT, B.; MOERSIDIK, S.; CASELLAS, C.; BONTOUX, J. Using diurnal variations in the high-rate algal pond for management pattern. *Water Science Technology*, Oxford, v.28, n.10, p.169-75, 1993.
- SANTA CATARINA. Portaria nº002/03, de 09-01-2003. A FATMA disciplina o ordenamento e a tramitação dos processos de licenciamento ambiental e dá outras providências. Diário Oficial, Florianópolis, 16 jan. 2003. p.75-80.
- SCHMIDT, V. *Sobrevivência de microrganismos mesófilos e perfil-químico em estação de tratamento de dejetos suínos*. 2002. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- SEZERINO, P.H. *Utilização de biofiltros com macrófitas (vertical constructed wetlands) como pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos suínos*. 2002. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.