

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE SALA DE ORDENHA DE BOVINOCULTURA: LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO SEGUIDAS DE LEITO CULTIVADO

EDU M. DA SILVA¹, DENIS M. ROSTON²

RESUMO: No Brasil, o destino dos efluentes dos confinamentos de animais foi e continua sendo os cursos de água, usando o ultrapassado método da diluição para eliminar os resíduos das instalações, o que pode resultar na eutrofização de rios, riachos, lagos e lagoas. As lavagens diárias da sala de ordenha, da Unidade Educativa de Produção (UEP) de Bovinocultura de Leite da Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes - MG (EAFI/MG), gerou 4,7 vezes mais efluentes poluentes do que a produção de leite, entre os meses de junho de 2006 e maio de 2007. Uma unidade-piloto composta por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e leito cultivado (“*constructed wetland*”) foi projetada para testar a eficiência no tratamento do resíduo líquido gerado pela sala de ordenha. Após o tratamento do efluente bruto no sistema proposto, ficou constatado que a retenção média de fósforo foi de 83%; a redução de nitrato de 88%; a Demanda Química de Oxigênio (DQO) ficou reduzida, em média, 89%; os sólidos totais em 67% e a redução da turbidez, analisada somente no leito cultivado ficou, em média, em 60%. O pH médio das amostras foi de 6,2. Em se tratando de efluentes oriundos de confinamento de animais, pode-se afirmar que o resultado foi positivo, demonstrando que essa opção de sistema de tratamento tem grande potencial de aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: bovinocultura leiteira, tratamento de efluente.

TREATMENT OF MILKING PARLOR EFFLUENT: STABILIZATION PONDS FOLLOWED BY CONSTRUCTED WETLAND

ABSTRACT: One of the major concerns in dairy cattle lodging management is the great amount of manure produced daily in a reduced area that can be an excellent fertilizer option or an enormous pollutant potential, depending on the disposal procedures. In Brazil, the destination of raw effluent of lodged dairy cattle was in the past and continues nowadays being the water courses using the conventional and condemned method of the dilution, as the only form to eliminate the residues of the installations which is one of the reasons for eutrophication of rivers, streams, lakes and ponds. A pilot plant was installed to treat 10% of the effluent produced in the dairy parlor installations of the EAFI/MG. The pilot plant was designed with three units: an anaerobic lagoon followed by a facultative pond and a subsurface constructed wetland. The pilot plant presented the following average removal: phosphorus, 80%; nitrate, 88%; COD, 89%; total solids, 67%; and turbidity, 60%. The pH during the whole operation maintained around 6.2. The study concluded that the system presented a great potential for treatment of dairy parlor effluent.

KEYWORDS: dairy cattle, treatment of effluent.

¹ Professor de Bovinocultura de Leite, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFET) do Sul de Minas Gerais, Câmpus Inconfidentes, edumaxdasilva@gmail.com

² Professor, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas - SP, denis@agr.unicamp.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 1^o-3-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 12-12-2009

INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do leite é uma das mais importantes do complexo agroindustrial brasileiro. Movimenta anualmente cerca de US\$ 10 bilhões, emprega três milhões de pessoas, das quais acima de um milhão são produtores, responsáveis por aproximadamente 20 bilhões de litros de leite por ano, provenientes de um dos maiores rebanhos do mundo, com grande potencial para abastecer o mercado interno e ainda exportar (CARVALHO et al., 2002). De acordo com a FAO, o Brasil é o sétimo maior produtor mundial de leite, com 23.320 mil toneladas no ano de 2005 (ZOCCAL, 2006). Para atender às exigências crescentes da população humana por alimentos, os confinamentos de vacas leiteiras são opções para aumentar a produção e a produtividade, aumentando, em consequência, a quantidade de resíduos dispostos em área reduzida (SILVA, 1979).

A quantidade total de efluentes orgânicos produzidos por confinamentos de vacas leiteiras varia de 9,0% a 12,0% do peso vivo do rebanho por dia, e depende, também, do volume de água utilizado na limpeza e desinfecção das instalações e equipamentos da unidade de produção (CAMPOS et al., 2002).

Os efluentes orgânicos oriundos de sistemas de produção leiteira confinada, quando lançados num corpo receptor, provocam alterações físicas e químicas nos mananciais, oferecem riscos à saúde pública e ao abastecimento, porque podem estar presentes na água potável elementos patogênicos e/ou tóxicos. Outra grave consequência é a maior demanda de oxigênio no meio aquático provocada pela estabilização da matéria orgânica, que resulta na formação de pequenas quantidades de sais minerais dissolvidos na água, principalmente nitrogênio e fósforo, cuja presença leva ao desenvolvimento excessivo de algas e consequente eutrofização de rios, riachos, lagos e lagoas (SPERLING, 1998).

A produção intensiva na pecuária enfrenta grandes desafios para estabelecer o equilíbrio das estreitas relações que existem entre a produção intensiva, a saúde animal e a sustentabilidade ambiental. O tratamento de efluentes oriundos de confinamentos de animais domésticos, como forma de adequá-los a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente, está associado aos conceitos do nível e da eficiência do tratamento. Os processos de tratamento das águas residuárias baseados nos sistemas naturais, que voltaram à tona nos Estados Unidos com o advento de “Clean Water Act” de 1972 (AUSTIN & MYERS, 2007), possuem as seguintes vantagens em relação aos sistemas convencionais: baixo custo de implantação, operação pouco mecanizada, baixa manutenção e fácil operação.

O Brasil é um dos países que oferecem excelentes condições climáticas e ambientais para a implantação desse tipo de sistema, no qual se incluem as lagoas de estabilização e os leitos cultivados (“*constructed wetlands*”). As lagoas anaeróbias tratam resíduos líquidos em condições estritamente anaeróbias e são utilizadas para tratamento de resíduos líquidos predominantemente com alta carga orgânica, como os efluentes de matadouros, laticínios, bebidas, confinamentos, etc.

As lagoas facultativas são a variante mais simples das lagoas de estabilização. O processo de tratamento consiste na retenção de efluentes brutos por um período de tempo mais longo, o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam (ARCEIVALA, 1981). Os leitos cultivados são baseados nos alagados, nas várzeas naturais e agem como filtros biológicos onde os responsáveis pela remoção de poluentes são os mecanismos físico-químicos e reações de degradação biológica aeróbia e anaeróbia (HEALY et al., 2007).

Neste trabalho, foi utilizado o leito de fluxo subsuperficial com meio-suporte de pedra britada, e as macrófitas aquáticas plantadas foram as conhecidas como taboas (*Typha spp.*) A *Typha spp.* é uma macrófita pertencente à ordem *Pandanales*, ordem das *monocotiledôneas*, família *Typhaceae*, de caule mais ou menos cilíndrico e não lenhoso; folhas lineares de bainha bem desenvolvida, ensiformes espessas, esponjosas, coriáceas, lineares oblongas de até 4 m de comprimento. Em virtude do pequeno número de pesquisas em torno do assunto, ainda não existe um critério geral

para a escolha da macrófita apropriada para o tratamento específico de um determinado resíduo líquido.

O objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência do sistema composto de lagoas, anaeróbia e facultativa, seguidas de leito cultivado, no tratamento de efluentes líquidos de sala de ordenha.

MATERIAL E MÉTODOS

A Unidade Educativa de Produção (UEP) de Bovinocultura de Leite da Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes - MG (EAFI/MG), está localizada na Rodovia MG 290 (Ouro Fino - Pouso Alegre) km 46, município de Inconfidentes, sul de Minas Gerais.

Na Tabela 1, mostra-se a composição do rebanho leiteiro da UEP da EAFI/MG e suas respectivas categorias animais.

TABELA 1. Composição do rebanho leiteiro da UEP da EAFI/MG. **Number of dairy cows at the UEP.**

Categoria Animal	Número de Animais
Vacas em lactação	45
Vacas não lactantes	15
Novilhas - 12 a 15 meses de idade	12
Bezerras maiores - 6 a 12 meses de idade	13
Bezerras menores - até 6 meses de idade	15

Fonte: Associação dos Criadores de Gado Holandês de Minas Gerais (ACGHMG).

A UEP de bovinocultura de leite da EAFI/MG produz, em média, 4 m³ de águas residuárias por dia. Para simular esse efluente, foram coletadas 14 amostras, uma de manhã e outra à tarde, durante sete dias consecutivos, no encanamento de saída da sala de ordenha da UEP e analisadas no Laboratório de Saneamento da FEAGRI. Os parâmetros e os resultados médios analisados são mostrados na Tabela 2.

TABELA 2. Valores médios dos parâmetros analisados das amostras do efluente bruto oriundos da sala de ordenha da UEP de Bovinocultura Leite da EAFI/MG. **Average values for the raw effluent of the dairy parlor.**

Parâmetros (mg L ⁻¹)	Média
DQO	1.100
Sólidos Totais	3.585
Sólidos Voláteis Totais	2.814
Sólidos Fixos Totais	771

Comparando os resultados obtidos das amostras oriundas da sala de ordenha da UEP de Bovinocultura Leite da EAFI/MG analisadas, chegou-se à conclusão de que 9,60 kg de fezes frescas de vacas leiteiras diluídas em 400 litros de água projetavam efluente similar ao oriundo da sala de ordenha da UEP da EAFI/MG. Um tanque plástico de 200 L foi usado para diluir 4,80 kg de dejetos pela manhã e mais outra metade à tarde, simulando as duas lavagens diárias da sala de ordenha. O efluente bruto diluído era então lançado na lagoa anaeróbia. O tempo total de detenção (TDH) nas três unidades da ETE-piloto era de 44,8 dias. O esquema da ETE-piloto observada é mostrada na Figura 1.

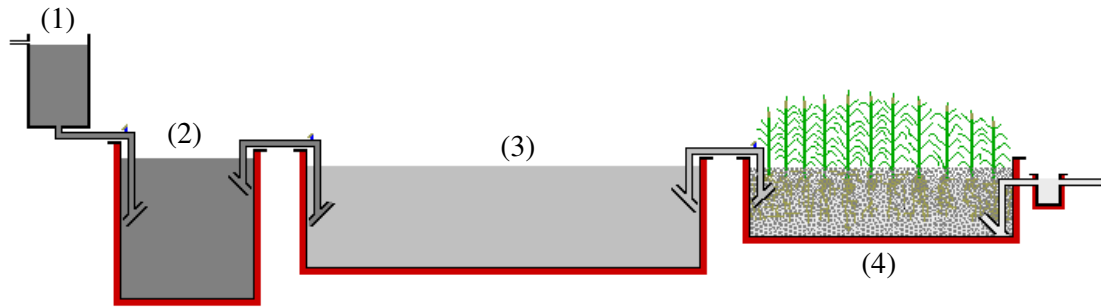


FIGURA 1. Esquema da ETE-piloto implantada. **Lay-out of the pilot plant.**

A ETE-piloto implantada era formada por (1) tanque plástico, com capacidade para 200 L de água, usado para diluir os dejetos das vacas leiteiras por gravidade. O efluente diluído era lançado na lagoa anaeróbia. (2) Lagoa anaeróbia, dimensões: 0,90 m de largura, 1,50 m de comprimento, 1,60 m de profundidade, capacidade total de 2,16 m³, tempo de detenção médio (TDH) de 5,40 dias. (3) Lagoa facultativa: 2,0 m de largura, 6,0 m de comprimento, 1,20 m de profundidade, capacidade total de 14,40 m³, TDH médio de 36 dias. (4) Leito cultivado: largura 1,60 m, comprimento 3,40 m, profundidade de 0,60 m, profundidade útil 0,50 m, meio de suporte brita nº2, índice de vazios do meio de suporte de aproximadamente 50%, regime adotado fluxo subsuperficial, volume útil do leito cultivado 1,36 m³ e tempo de detenção médio de 3,4 dias.

As variáveis analisadas durante o período de operação da ETE-piloto foram DQO, sólidos (ST, SVT e SFT), nitrogênio, fósforo, pH e turbidez. Todas as análises foram realizadas de acordo com metodologias do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998).

Este trabalho foi conduzido de 1^o de agosto de 2006 a 9 de maio de 2007. As primeiras amostras para análise foram coletadas no 48^o dia de operação da ETE-piloto, em 19-9-2006, e foram acondicionadas em frascos apropriados, após o que foram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento FEAGRI-UNICAMP para análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados no programa de controle zootécnico da UEP de Bovinocultura Leite da EAFI/MG, apresentados na Tabela 3, permitem comparar a produção leiteira e a produção de dejetos entre os meses de maio de 2006 e abril de 2007.

TABELA 3. Comparativo entre a produção leiteira e a produção de dejetos no período de 1^o-5-2006 a 30-4-2007 na UEP de Bovinocultura de Leite da EAFI/MG. **Comparison between the milk and the manure production during the period of 5-1-2006 and 4-30-2007.**

Produção de Leite x Produção de Dejetos	
Produção média leite	Produção média dejetos
Vaca dia ⁻¹ = 21,30 kg	Vaca dia ⁻¹ = 88,88 kg
Rebanho dia ⁻¹ = 950 kg	Rebanho dia ⁻¹ = 4.000 kg
Rebanho ano ⁻¹ = 350.000 kg	Rebanho ano ⁻¹ = 1.046 t

Fonte: Controle Zootécnico da UEP, maio-2007.

A comparação dos valores de produção, apresentados na Tabela 3, permite verificar que a UEP de Bovinocultura de Leite da EAFI/MG produziu, de 1^o-5-2006 até 30-4-2007, em média, 4,7 vezes mais dejetos do que leite nesse período, o que justifica ainda mais a implantação de uma ETE na UEP da EAFI/MG.

Na Figura 2, apresentam-se as amostras dos efluentes coletados na saída das diversas unidades da Estação de Tratamento de Efluente (ETE). Nesta Figura, podem-se observar as características visuais destas amostras.



FIGURA 2. Aparência das amostras dos efluentes coletadas nas unidades da ETE-piloto:

Frasco 1: água usada para a diluição e a transformação dos dejetos em efluente bruto, similar ao produzido na UEP de bovino de leite da EAFI/MG; Frasco 2: efluente bruto; Frasco 3: efluente da lagoa anaeróbia; Frasco 4: efluente da lagoa facultativa; Frasco 5: efluente do leito cultivado. **Appearance of the samples collected in the effluent of the ETE pilot unities: Bottle 1: water used for dilution and processing of waste into raw wastewater, similar to that produced in UEP of bovine milk at EAFI / MG; Bottle 2: raw wastewater; Bottle 3: effluent of the anaerobic pond; Bottle 4: effluent of the optional pond; Bottle 5: effluent of the wetland.**

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios obtidos para as variáveis estudadas, a partir da análise realizada nas 44 amostras obtidas durante a realização do trabalho. Mostram-se, também, os valores de eficiência do sistema, expresso em termos percentuais, para cada variável em estudo.

TABELA 4. Eficiência do sistema-piloto. **Performance of the pilot plant.**

Variáveis Analisadas	Efluente Bruto (mg L ⁻¹)	Efluente Lagoa Anaeróbia (mg L ⁻¹)	Efluente Lagoa Facultativa (mg L ⁻¹)	Efluente Leito Cultivado (mg L ⁻¹)	Eficiência da ETE piloto (%)
Fósforo	14,06	9,60	5,10	2,30	83,65
Nitrato	63,18	41,70	19,77	19,43	69,25
DQO	1.026	758	282	110	89,27
ST	5.234	1.670	1.029	502	90,41
STV	4.647	1.336	889	355	92,35
Turbidez			92	37	59,90

Fósforo: A ETE-piloto registrou remoção média de fósforo em torno de 83%. A norma da Comunidade Europeia (DIRECTIVE 91/271/EEC, 1991) estabelece concentração máxima de 2 mg L⁻¹ de fósforo ou redução mínima de 80% com relação ao efluente para lançamento em corpos receptores. A concentração média do efluente final foi de 2,30 mg L⁻¹, portanto pouco acima do estipulado por essa norma, porém a redução foi de 83%, o que coloca o efluente final em condições de lançamento em corpos de água superficiais. SMITH et al. (2006), tratando efluente da produção bovinocultura de leite em leitões cultivados, apresentaram eficiência de remoção de fósforo total da ordem de 91%. A concentração do afluente, nesse caso, era de 44,4 mg L⁻¹ e do efluente 4,0 mg L⁻¹ em média. Embora a eficiência global tenha sido superior, a concentração final ainda fica acima de algumas normas internacionais. MAZZOLA et al. (2005), tratando efluente predominantemente

doméstico em unidade anaeróbia, seguida de leito cultivado de fluxo vertical, obtiveram eficiência em reduções de fósforo entre 25 e 30%, o que possivelmente indica que os leitos de fluxo horizontal tenham melhor desempenho na redução de fósforo. MANTOVI et al. (2003), utilizando tanque Inhoff e leitos cultivados de fluxo subsuperficial para tratamento de efluentes de sala de ordenha obtiveram redução da ordem de 60,6%, reduzindo de 12,8 mg L⁻¹ para 5,0 mg L⁻¹ de fósforo. Assim, é possível dizer que o sistema avaliado comporta-se adequadamente na redução de fósforo, que é um dos principais nutrientes responsáveis por eutrofização em corpos d'água.

Nitrato: Segundo METCALF & EDDY (1991), o nitrato é altamente prejudicial à saúde. A agência ambiental americana (USEPA, 1991) recomenda que os efluentes secundários devam ter limites máximos de 45 mg L⁻¹ de NO₃. Neste trabalho, a concentração média do efluente final ficou em torno de 19 mg L⁻¹, o que satisfaz plenamente a norma brasileira e a americana. SMITH et al. (2006) obtiveram eficiência média de 94% tratando resíduo líquido da produção de leite com concentração inicial média de nitrato de 147 mg L⁻¹ e final de 8,1 mg L⁻¹. MANTOVI et al. (2003) obtiveram eficiência de 48,5%, reduzindo de 64,7 mg L⁻¹ para 33,3 mg L⁻¹ (valores médios), tratando resíduo líquido similar.

DQO: (Demanda Química de Oxigênio): o sistema como um todo atingiu remoção média de 89,27%, o que está de acordo com a exigência da legislação do Estado de São Paulo, cujo limite é eficiência 80% de redução (CONAMA, 2005). A legislação mineira, para os casos de lançamento do efluente nos corpos receptores, exige que o sistema deva ser planejado de forma a que se atenda à Legislação Ambiental, cuja exigência é de que o sistema atinja 85% de eficiência na remoção de DBO e que o lançamento do efluente tratado não altere a classe de enquadramento do curso d'água receptor. MANTOVI et al. (2003) obtiveram para água residuária similar de 91,9%, reduzindo a concentração média de DQO de 1.219 mg L⁻¹ para 98 mg L⁻¹, valores esses próximos aos obtidos neste trabalho. Em se tratando de resíduos líquidos da produção animal, pode-se afirmar que o resultado deste trabalho é promissor, demonstrando que o sistema proposto tem grande potencial de aplicação, uma vez que satisfaz as legislações vigentes.

Sólidos totais (ST): Observa-se que a redução de ST foi de 90,41%. A concentração do efluente final foi de 502 mg L⁻¹. Embora a eficiência seja relativamente alta, em números absolutos, a concentração de ST ainda está acima do recomendado. Possivelmente, unidades mais eficientes para remoção de sólidos anteriores ao leito cultivado deverão ser utilizadas para que o sistema como um todo possa ter o seu desempenho melhorado.

Sólidos voláteis totais (STV): Esse parâmetro sinaliza a quantidade de matéria orgânica na água residuária, que deve ser reduzida à medida que essa passa pelas unidades de tratamento. Os resultados indicam que a redução da matéria orgânica expressa em termos de sólidos voláteis foi satisfatória, atingiu a eficiência de 92,35%, e a concentração do efluente final ficou em 355 mg L⁻¹.

Turbidez: A turbidez é um parâmetro interessante quando a possibilidade do reúso do efluente é analisada. Embora não seja de real importância para o tratamento de águas residuárias, o sistema de leito cultivado propiciou a remoção média de 59,90%, que é considerável, em se tratando de efluente oriundo da produção animal.

pH: Os dados médios obtidos para o pH das amostras, desde o lançamento do efluente bruto na lagoa anaeróbia até o efluente do leito cultivado, foram de 6,34. A média do pH do efluente do leito cultivado ficou em 6,27. Tanto a média quanto os valores nominais de todas as amostras ficaram dentro dos padrões de lançamento em corpos de água, de acordo com CONAMA (2005), que estabelece pH entre 5 e 9.

CONCLUSÕES

Diante das observações e das análises dos resultados obtidos para a Estação de Tratamento de Efluente implantada para tratar um tipo de efluente similar ao produzido na sala de ordenha da UEP de Bovinocultura de Leite da EAFI/MG, conclui-se que o sistema proposto atingiu os padrões de

qualidade mínimos exigidos para lançamento em corpos receptores, o que expressa a potencialidade de utilização dessa Estação para esse tipo de resíduo líquido.

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WAPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington, 1998.
- ARCEIVALA, S.J. *Wastewater treatment and disposal*. New York: Marcel Dekker, 1981. 892 p.
- AUSTIN, J.; MYERS, B. Anchoring the Clean Water Act. In: CONGRESS CONSTITUTIONAL SOURCES OF POWER TO PROTECT THE NATION'S WATERS, 2007, USA. Environmental Law Institute, 2007. 14 p.
- CAMPOS, A.T.de; 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.
- CARVALHO, L.A.; NOVAES, L.P.; MARTINS, C.E.; ZOCCAL, R.; MOREIRA, P.; RIBEIRO, A.C.C.L.; LIMA, V.M.B. *Sistema de produção de leite (Cerrado)*. Embrapa Gado de Leite, v.2, 2002. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/introducao.html>. Acesso em: 4 jun. 2007.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 357, de 17 de março de 2005.
- DIRECTIVE 91/271/EEC. European Commission for Environment. Commission's Environment Directorate General. May 1991.
- HEALY, M.G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology*, v.98, n.12, p.2.268-2.281, 2007.
- MANTOVI, P.; MARMIROLI, M.; MAESTRI, E.; TAGLIAVINI, S.; PICCININI, S.; MARMIROLI, N. Application of a horizontal subsurface flow constructed wetland on treatment of dairy parlor wastewater. *Bioresource Technology*, v.88, n.1, p.85-94, 2003.
- MAZZOLA, M.; ROSTON, D.M.; VALENTIM, M.A.A. Uso de leitões cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.2, p.276-283, 2005.
- METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 3rd ed. Metcalf & Eddy, 1991. 1.334 p.
- SILVA, S.A. *Tratamento biológico das águas residuárias*. São Paulo: Edição CETESB e ABES, 1979. 50 p.
- SMITH, E.; GORDON, R.; MADANI, A.; STRATTON, G. Year-round treatment of dairy wastewater by constructed wetlands in Atlantic Canada. *Wetlands*, v.26, n.2, p.349-357, 2006.
- USEPA. Nitrate (CASRN 14797-55-8). Chronic Health Hazard Assessments for Noncarcinogenic Effects. Cincinnati, 1991.
- SPERLING, M. *Tratamento e destinação de efluentes líquidos da agroindústria*. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1998. 88 p.
- ZOCCAL, R. Classificação mundial dos principais países produtores de leite - 2005. Embrapa Gado de Leite. Disponível em: <<http://www.lacteabrasil.org.br/pagina.asp?idS=158idN=103>>. Acesso em: 4 jun. 2007.