

II-413 - DESEMPENHO DE REATOR ANAERÓBIO HÍBRIDO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

Gustavo de Castro Gonçalves⁽¹⁾

Mestre em Eng. Agrícola (Rec. Hídricos e Ambientais) pela UFV. Eng. Agrícola e Ambiental pela UFV.

Alisson Carraro Borges⁽²⁾

Professor Adjunto da UFV. Doutor em Eng. Hidráulica e Saneamento pela USP.

Nilton de Freitas Souza Ramos⁽³⁾

Mestre em Eng. Agrícola (Rec. Hídricos e Ambientais) pela UFV. Eng. Agrícola e Ambiental pela UFV.

Antonio Teixeira de Matos⁽¹⁾

Professor Associado da UFV. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela UFV.

Cecília de Fátima de Souza⁽¹⁾

Professora Adjunta da UFV. Doutora Zootecnia pela UNESP..

Endereço⁽²⁾: Av. Peter Henry Rolfs s/n - DEA/Campus - Viçosa – MG. CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 38991914 - e-mail: borges@ufv.br

RESUMO

Com o presente estudo objetivou-se avaliar o desempenho de um reator anaeróbio híbrido (RAH) no tratamento de águas residuárias da suinocultura (ARS). O reator foi confeccionado, utilizando como estrutura um tanque de polietileno de alta densidade (PEAD), com o formato cilíndrico de 2,38 m de diâmetro e altura de 2,43 m, com capacidade total de 10 m³. Dentro do tanque foram feitas adaptações estruturais para que a parte superior acomodasse o material suporte, que consistia em cubos de espumas de poliuretano com porosidade próxima a 0,93 m³ m⁻³ ocupando um volume total de aproximadamente 3 m³. Foram instalados 8 tubos de PVC, com comprimento de 0,72 m, que serviram para fixar dois cabos de aço (um na parte inferior do cano e outro na parte superior), esses cabos acompanharam o perímetro do reator, onde, foram presas redes de polietileno que serviram para “empacotar” o material suporte, caracterizando assim a configuração híbrida. O sistema operou sob três condições de carga orgânica volumétrica média (COV), 0,88; 1,35 e 2,62 kg m⁻³ d⁻¹, medida como DQO. A operação do RAH durou 250 dias e a eficiência de remoção média de DQO total para as três CV aplicadas foram de 42, 72 e 73%, de DQO filtrada, de 67, 81 e 82% e de DBO para as duas últimas CV aplicadas de 75 e 78% respectivamente. A remoção de ST foi de 31, 60 e 58%, de SVT foi de 20, 62 e 61% e SSV foi de 17, 55 e 62% respectivamente. Ao final das duas últimas fases avaliou-se o perfil de remoção de DQO ao longo do reator para a obtenção dos coeficientes cinéticos aparentes de degradação da matéria orgânica, onde, o modelo cinético de primeira ordem foi o que melhor se ajustou aos dados obtidos. Ao final das fases II e III do experimento foram retiradas amostras do material suporte, para caracterização da biomassa aderida, por meio de exames microscópicos, distinguindo-se as principais morfologias celulares presentes no biofilme. Mesmo submetido ocasionalmente a oscilações de temperaturas do líquido e de carga hidráulica e orgânica, o reator anaeróbio híbrido utilizado neste trabalho manteve-se estável apresentado-se equilibrado na eficiência de remoção de DQO e manutenção de pH efluente acima de 6,5, confirmando sua estabilidade. O aumento na COV e vazão aplicada não afetou a capacidade do reator na remoção do material orgânico presente, não havendo diferença significativa entre as duas últimas fases de funcionamento do sistema, podendo ser considerado como satisfatório na remoção da carga orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: Reator Anaeróbio Híbrido, Suinocultura, Tratamento Anaeróbio.

INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das cadeias produtivas que mais se desenvolveu no Brasil nos últimos anos, ocupando lugar relevante na matriz do agronegócio e destacando-se como atividade de importância no âmbito econômico e social. De acordo com o IBGE (2011), o abate de suínos foi equivalente a 32,5 milhões de cabeças no ano de 2010, representando aumento de 5,1% em relação à quantidade abatida em 2009 e novo recorde nesse setor.

A adoção dos chamados sistemas confinados de produção contribui para que o setor destaque-se pela qualidade técnica e alta produtividade. No entanto, a viabilidade da atividade pode ficar ameaçada no que se refere à

regularização ambiental, uma vez que a suinocultura é considerada, pelos órgãos de controle ambiental, como de alto potencial poluente (Campos et al., 2006).

A aplicação de técnicas como o uso de lagoas, esterqueiras, disposição no solo e digestão anaeróbia têm sido altamente recomendada no tratamento/disposição final das ARS, visto que, a demanda dos produtores rurais é por sistemas de custo reduzido e de operação simplificada. Segundo Chernicharo (2007), os sistemas anaeróbios são caracterizados por apresentarem reduzida produção de lodo, consumo de energia e custos de implementação e operação, além de tolerância a elevadas cargas orgânicas, mesmo com curtos tempos de retenção hidráulica.

Os reatores anaeróbios mais utilizados para o tratamento das ARS são os biodigestores rurais e reatores do tipo manta de lodo, conhecidos pelo acrônimo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors*), que são sistemas relativamente compactos, viabilizando o uso destes em grandes, médias e pequenas propriedades agrícolas. Tal processo mostra-se particularmente interessante, visto que a produção de biogás (composto rico em metano) como subproduto, viabiliza o seu reaproveitamento energético (Campos et al., 2005).

Embora constitua tecnologia consolidada no Brasil, algumas desvantagens ainda são atribuídas aos reatores anaeróbios, tais como emissão de maus odores, pouca capacidade do sistema em tolerar presença de substâncias tóxicas, elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema (start-up) e necessidade de pós-tratamento do efluente.

Nesse sentido, vários modelos modificados têm sido estudados, desenvolvidos e adaptados, visando aumentar tanto a eficiência quanto a redução de custos dos equipamentos utilizados no sistema, destacando-se, dentre as atuais possibilidades, os sistemas anaeróbios com configuração híbrida.

Os reatores anaeróbios híbridos podem ser considerados filtros anaeróbios modificados, utilizando da combinação de culturas livres e fixas no mesmo sistema de tratamento. Dessa maneira, a concentração de biomassa no reator é maior, com uma consequente melhoria na depuração biológica dos efluentes sem expressivo acréscimo na produção de lodo e nos custos de implantação. Segundo Borja et al. (1998), a combinação de um reator UASB, que usa um processo biológico de tratamento com crescimento disperso e um digestor de leito fixo (filtro anaeróbio), no qual a matéria orgânica é estabilizada por meio da ação de micro-organismos que ficam retidos nos interstícios ou aderidos ao material suporte (biofilme), concilia com sucesso as vantagens de ambos os sistemas, evitando-se os seus inconvenientes. Com o presente estudo objetivou-se avaliar o desempenho de um reator anaeróbio híbrido (RAH) no tratamento de águas residuárias da suinocultura (ARS)

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi montado e conduzido em uma propriedade particular, localizada na zona rural do município de Viçosa, Minas Gerais. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água (LQA) e no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos (LSRS), ambos situados nas dependências do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), distante 8,5 km das instalações experimentais. No período em que o estudo foi realizado, a propriedade contava com um rebanho de aproximadamente 70 matrizes e produção diária em torno de 15 m³ de água residuária da suinocultura (ARS). O volume per capita de ARS gerado diariamente na suinocultura é de aproximadamente 21 dm³.

A propriedade possuía um sistema que captava a ARS dos galpões por gravidade, passando por um desarenador, seguido de um tanque de alvenaria, denominado tanque de retenção. A partir deste tanque, a ARS é bombeada, passando por uma peneira e por uma caixa de gordura. As unidades mencionadas já se encontravam instaladas e operando no local antes do início das atividades de pesquisa. A captação para o sistema de tratamento foi feita por bombeamento, a partir da caixa de gordura, para um reservatório com capacidade de 10 m³. Na sequência, por gravidade, a ARS era aplicada no reator anaeróbio híbrido (RAH). Após sair do reator seguia para um pós-tratamento composto de um sistema de alagados construídos.

O reator foi confeccionado, utilizando como estrutura um tanque de polietileno de alta densidade (PEAD), com o formato cilíndrico de 2,38 m de diâmetro e altura de 2,43 m, com capacidade total de 10 m³. Dentro do

tanque foram feitas adaptações estruturais para que a parte superior acomodasse o material suporte, distante 1,45 m do fundo. Foram instalados 8 tubos de PVC, com comprimento de 0,72 m, que serviram para fixar dois cabos de aço (um na parte inferior do cano e outro na parte superior), esses cabos acompanharam o perímetro do reator, onde, foram presas redes de polietileno que serviram para “empacotar” o material suporte. A camada de material suporte possuía espessura total de 0,70 m, ocupando um volume total de aproximadamente 3 m³. Contudo, dada à elevada porosidade do material escolhido (índice de vazios na ordem de 0,93 m³ m⁻³), houve aproximadamente 2,8 m³ de volume útil correspondente.

Ao longo da altura do reator, foram instaladas 4 torneiras com diâmetro de 12,5 mm, espaçadas 0,30 m, para permitir a amostragem da ARS e do possível lodo de excesso. A primeira torneira de amostragem foi instalada distante 0,50 m do fundo.

No experimento foi utilizado como inóculo, um volume de 0,3 m³ de lodo de excesso de um reator tipo UASB. Tal material, cedido, foi proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto de um bairro do município de Viçosa-MG. O lodo utilizado apresentou DBO de 1255 mg dm⁻³, DQO de 5682 mg dm⁻³ e SVT de 2992 mg dm⁻³. Como material suporte para imobilização do inóculo foi utilizado espuma de poliuretano, cortada em cubos com 7 cm de aresta. O material era isento de aditivos ou corantes e possuía porosidade próxima a 0,93 m³ m⁻³ (valor obtido em laboratório), com massa específica aparente de 23 kg m⁻³.

A operação do reator anaeróbio híbrido durou 250 dias (incluindo a partida) compreendendo os meses de agosto de 2010 a maio de 2011. Para a análise do desempenho e estabilidade do sistema, dividiu-se o período de estudo em três fases operacionais, com duração de 76, 110 e 64 dias. As fases se diferenciaram pelo aumento gradativo da vazão afluente, o que proporcionou consequente elevação da carga orgânica aplicada e redução do tempo de retenção hidráulica. Para garantir que tal estratégia obtivesse sucesso, algumas análises de caracterização da ARS foram feitas, partindo do princípio que nenhuma alteração relevante no sistema de criação de suínos ocorreria. Na Tabela 1 resumiram-se as condições operacionais aplicadas no estudo.

Tabela 1: Características operacionais no reator anaeróbio híbrido.

Variáveis	Fases		
	I	II	III
Q (m ³ d ⁻¹)	2,6±0,9	4,6±0,6	9,0±0,2
CH (m ³ m ⁻³ d ⁻¹)	0,3±0,09	0,5±0,08	1,0±0,05
TRH (h)	91±1,3	48±0,5	24±0,06
CV _u (kg m ⁻³ d ⁻¹ de DQO)	0,85±0,46	1,38±0,50	2,62±0,85
CV _t (kg m ⁻³ d ⁻¹ de DQO)	0,78±0,42	1,29±0,46	2,40±0,78
Duração (d)	76	110	64

Ao final das fases II e III, avaliou-se o perfil de remoção de DQO ao longo do reator. Estes dados foram utilizados para a obtenção do coeficiente cinético aparentes de degradação da matéria orgânica. As amostras foram coletadas em 6 pontos do reator, correspondendo à entrada, 4 pontos no leito de lodo e saída. O modelo cinético de primeira ordem foi o modelo escolhido para avaliação do ajuste do modelo aos dados.

Para verificar a homogeneidade e a normalidade dos dados efluentes ao reator, aplicou-se o teste D’Agostino & Person, tomando-se as amostragens em cada fase como repetições. Posteriormente, procedeu-se a análise de variância pelo teste Kruskal-Wallis, em nível de 5% de probabilidade, quando havia efeito significativo dos fatores, quando os dados eram não paramétricos. Para os dados paramétricos, utilizou-se o teste Tukey em nível de 5% de probabilidade. Para tais análises considerou-se um delineamento inteiramente ao acaso com 1 reator e 3 fases e com número de repetições variando de acordo com a frequência das variáveis monitoradas. As análises estatísticas foram feitas com os programas Microsoft Excell e GraphPad Prism 5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da água residuária

Como relatado anteriormente, o volume per capita de ARS gerado diariamente na suinocultura onde o experimento foi conduzido, de aproximadamente 21 dm³, mostrou-se excessivo, visto que, na literatura são relatados valores médios em torno de 8 a 10 dm³ (Oliveira et al., 1993; Brandão et al., 1999; Matos et al.,

2004, Nogueira e Silva, 2006), caracterizando o efluente como mais diluído. Apesar da variação na qualidade da ARS, inerente às características próprias da suinocultura, não foi observado diferenciação significativa entre as concentrações de material orgânico ao longo do tempo, ou seja, entre as 3 fases do experimento (fases I, II e III). Para tal afirmação, foi feito o teste estatístico de Kruskal-Wallis, teste não paramétrico para as médias de DQO, nas diferentes fases. Mesmo assim, optou-se pelo uso das médias de DQO afluente nas fases para as estimativas de eficiência.

Avaliação do desempenho do reator anaeróbio híbrido

As eficiências médias de remoção das variáveis monitoradas, em cada fase operacional, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Eficiência de remoção (média \pm desvio padrão) DQO_T (definir), DQO_F (definir), DBO, ST, SFT, SVT, SSF, SSV e SDT pelo reator aeróbio híbrido, em cada fase operacional.

Variáveis	Fases		
	I	II	III
DQO _T	43 \pm 15	72 \pm 7	73 \pm 6
DQO _F	68 \pm 7	81 \pm 6	82 \pm 5
DBO	n.d	75 \pm 6	78 \pm 5
ST	53 \pm 15	60 \pm 16	58 \pm 8
SFT	74 \pm 8	35 \pm 37	38 \pm 22
SVT	31 \pm 7	62 \pm 17	61 \pm 9
SST	20 \pm 27	56 \pm 21	53 \pm 17
SSF	49 \pm 14	55 \pm 26	43 \pm 14
SSV	17 \pm 13	55 \pm 6	62 \pm 13
SDT	46 \pm 22	48 \pm 16	48 \pm 10

Obtenção dos parâmetros cinéticos

Na Figura 1 estão ilustrados os perfis de DQO contendo o ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados experimentais. Na determinação dos coeficientes cinéticos para o respectivo modelo avaliado, procedeu-se de maneira que todos os coeficientes fossem estimados, deste modo não se fixou nenhuma variável das equações dos modelos, deixando que o programa estatístico utilizado as ajustasse da melhor forma possível aos dados experimentais.

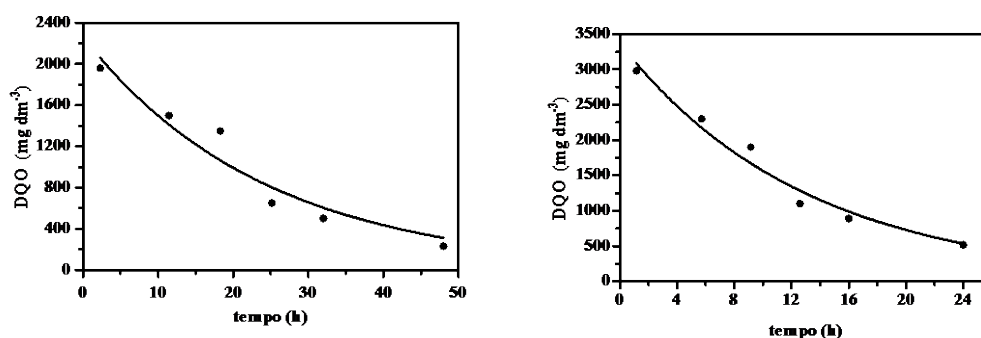


Figura 1: Ajuste dos perfis obtidos no RAH para o modelo cinético de primeira ordem, operando na fase II (a) e fase III (b).

Torna-se importante salientar que, para realizar o ajuste do modelo neste estudo, não foram utilizados os dados experimentais médios e, sim, os dados das amostragens referentes aos estudos de decaimento para as fases II e

III ao longo da altura do RAH. O valor da constante cinética aparente (k^{ap}) para o modelo cinético de primeira ordem foram estimados em $0,041 \text{ h}^{-1}$ e $0,077 \text{ h}^{-1}$ para as fases II e III, respectivamente.

Os valores de k^{ap} obtidos na literatura variam amplamente em função dos sistemas de tratamento, de suas configurações, dos modelos ajustados e de características das águas residuárias tratadas (Brasil et al., 2007; Fia, 2009; Kadlec e Wallace, 2008; Reed et al., 1995; Chagas et al., 2011) dificultando, assim, a comparação para os diversos estudos relacionados.

Com o aumento da COV aplicada, observa-se aumento no valor do coeficiente cinético obtido durante as duas fases. O aumento na quantidade de substrato no reator implicou em maiores velocidades de conversão do mesmo, podendo-se concluir, assim, que não houve limitações no metabolismo dos micro-organismos. O maior valor do coeficiente cinético na fase III era esperado, visto que esse parâmetro é diretamente proporcional ao desempenho do reator, ou seja, quanto maior k^{ap} , maior será a velocidade de reação e consequentemente maior será a eficiência no reator. O modelo cinético de primeira ordem se ajustou bem aos dados para as duas fases do experimento, apresentando valores do quadrado do coeficiente de correlação (R^2), para as fases II e III iguais a 0,9378 e 0,9720, respectivamente.

Além do modelo cinético de primeira ordem, outros modelos de primeira ordem modificados e apresentados na literatura foram ajustados aos dados obtidos, sendo eles: modelo de primeira ordem com residual; modelo de primeira ordem com retardo; modelo de tanques em série de primeira ordem. Diante dos modelos analisados, o de primeira ordem com retardo apresentou o menor ajuste da equação aos dados, apresentando para as fases II e III valores R^2 de 0,7351 e 0,7916, respectivamente. Os outros dois modelos apresentaram valores de k^{ap} e R^2 , para as duas fases, semelhantes ao modelo cinético de primeira ordem. Tal fato se deve pela opção de que todos os coeficientes foram estimados pelo programa estatístico utilizado, sendo que a melhor forma de ajuste encontrada tendia a se aproximar do modelo cinético de primeira ordem.

A opção por fixar alguns parâmetros nas equações de primeira ordem modificadas, como por exemplo, utilizar um valor de DQO residual experimental, implicou em menores valores de R^2 para as respectivas equações com relação aos dados.

Os perfis possibilitaram a melhor compreensão das rotas de degradação ao longo do TRH de 48 e 24 horas (fases II e III), além de permitirem a obtenção de parâmetros de degradação da matéria orgânica. Moraes (2004) verificou, por meio de metodologia simplificada, a biodegradabilidade de dejetos da bovinocultura e da suinocultura, objetivando avaliar aplicabilidade de processos anaeróbios. Os ensaios foram realizados com reatores em batelada, usando lodos granulados de três procedências: reator UASB tratando efluente de bovinocultura, UASB tratando efluente da suinocultura e UASB tratando efluente de abatedouro de aves. Para os ensaios com o efluente da suinocultura e lodo de abatedouro de aves não adaptado; efluente da suinocultura e lodo de abatedouro de aves adaptado; efluente da suinocultura e lodo da suinocultura os valores para a constante cinética primeira ordem (K^{ap}) foi de $0,0249 \text{ h}^{-1}$; $0,0309 \text{ h}^{-1}$ e $0,0409 \text{ h}^{-1}$. Nota-se que o valor do K^{ap} do efluente da suinocultura quando utilizado o lodo da suinocultura se aproximou do valor encontrado para a fase II, já o valor de K^{ap} da fase III se mostrou superior aos encontrados.

CONCLUSÕES

Mesmo operado em condições não controladas de temperatura ambiente, submetido ocasionalmente a oscilações de temperaturas do líquido e de carga hidráulica e orgânica, o reator anaeróbio híbrido utilizado neste trabalho manteve-se estável apresentado-se equilibrado na eficiência de remoção de DQO e manutenção de pH efluente acima de 6,5, confirmando sua estabilidade.

O desempenho do sistema pode ser considerado satisfatório, com eficiências médias de remoção de DQOT nas fases II e III superiores a 70% e eficiências médias de remoção de DQOF superiores a 80%. O RAH operando com uma vazão média de $9,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e COV de $2,62 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO apresentou eficiência de remoção de DQO ligeiramente superior na fase II, porém, não houve diferença significativa entre as fases II e III ($p>0,05$).

Na remoção de DBO também não houve diferença estatística ($p>0,05$) entre as fases II e III e foram obtidas, respectivamente, eficiências de remoção de 75% e 78%.

O aumento na COV e vazão aplicada não afetou a capacidade do reator na remoção do material orgânico presente, não havendo diferença significativa entre as duas fases de funcionamento do sistema.

O modelo cinético de primeira ordem foi o que melhor descreveu a cinética de degradação da matéria orgânica no interior do reator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORJA, R.; BANK, C. J.; WANG, Z.; MANCHA, A. Wastewater Using a Combination Sludge Blanket and Filter Arrangement in a Single Reactor. *Bioresource Technology*, v. 65, p.125-133, 1998.
2. BRANDÃO, V.S. Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos. Dissertação Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 1999. 65p.
3. BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SILVA, C. M.; CECOM, P. R.; SOARES, A. A. Modeling of pollution removal in constructed wetlands with horizontal subsurface flow. *Agricultural Engineering Research*, v.13, n.2, p. 48-56, 2007b.
4. CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. Desenvolvimento e Operação de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) no Tratamento dos Efluentes da Suinocultura em Escala Laboratorial. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 30, n. 1, p. 140-147, jan./fev., 2006.
5. 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 de Suínos. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 4, p. 848-856, jul./ago., 2005.
6. CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T.; CECOM, P. R.; LO MONACO, P. A. V.; FRANÇA, L. G. F.; Cinética de remoção de material orgânico em sistemas alagados construídos cultivados com lírios amarelos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.15, n.11, p.1186–1192, 2011.
7. CHERNICHARO, C.A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.
8. FIA, F. R. L. Modelos de remoção de matéria orgânica e nutrientes de águas residuárias da suinocultura em sistemas alagados construídos. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 2009, 160 p.
9. IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. *Estatística da Produção Pecuária*, Rio de Janeiro, p. 1-33, 2011.
10. KADLEC, R. H. e WALLACE, S.D. *Treatment Wetlands*. 2nd ed. Florida: CRC Press, 2008, 1016 p
11. MATOS, A. T.; LEMOS A. F.; BARROS, F. M. Mobilidade de nitrato em solos de rampas de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial. *Engenharia na Agricultura*, v.12, n.1, p. 57-65, 2004.
12. MORAES, L. M. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. *Engenharia na Agricultura.*, v.24, n.2, p.445-454, mai/ago. 2004
13. NOGUEIRA C. P.; SILVA, I. J. O. Aplicação de águas residuárias de suinocultura na irrigação. *Thesis*, v.6, p.18-29, 2006.
14. OLIVEIRA, P. A. V. de (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA/CNPQA, 1993. 188 p. (Documentos, 27).
15. REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. Natural systems for management and treatment. New York: McGraw-Hill, Inc. 1995. 435p.