

II-043 - IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE, ÁGUA DE LENÇOL E NO SOLO DECORRENTES DA IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA COM EFLUENTES DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO ANAERÓBIA EM CULTURA DE MILHO

Luciano Reami⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia Civil - Saneamento e Ambiente, pela FEC – UNICAMP. Gerente do Setor de Tratamento de Esgotos da SABESP de Franca.

Orlando Antunes Cintra Filho

Químico, Engenheiro Químico e Civil, Pós-graduado em Saúde Pública, Mestre e Doutor em Saneamento e Ambiente - Diretor Técnico da PROÁGUA Consultoria Ambiental Ltda.

Ronaldo Stefanutti

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. Professor adjunto do DEHA da UFC.

Bruno Coraucci Filho

Engenheiro civil, Doutor, Professor Associado da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Cândido Portinari, Km 394,4, Franca SP, CEP 14406-600. Email. lreami@sabesp.com.br

RESUMO

O trabalho teve a finalidade de avaliar o impacto da irrigação com efluente sanitário, oriundo de tratamento em lagoa anaeróbia em culturas de milho, avaliando os impactos na produtividade, na qualidade das águas de lençol freático no solo. Para a cultura de milho foi utilizado a técnica de irrigação por sulcos rasos, sendo testados 3 tratamentos correspondentes a adubo mineral e água natural disponível (nascente), efluente anaeróbio desinfetado com hipoclorito de cálcio, e efluente anaeróbio não desinfetado. A produtividade foi semelhante ao da adubação nitrogenada convencional para a 2ª safra, e para a 1ª safra semelhante somente para os tratamentos efluente anaeróbio e efluente anaeróbio desinfetado. A produtividade da colheita ficou entre 5,06 e 8,29 Ton.ha⁻¹ nas primeiras e segundas safras. Não foi constatada nas duas safras avaliadas na pesquisa com milho, a contaminação do lençol freático e nem no solo, de forma que não houve impactos negativos no sistema solo-água-planta para esta pesquisa realizada.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, Efluente anaeróbio, Milho.

INTRODUÇÃO

Como alternativa técnica e econômica, o sistema de tratamento de efluentes por lagoas de estabilização, tanto anaeróbias como facultativas, apresenta elevada eficiência de remoção de carga orgânica e não necessita de energia elétrica para operação, sendo beneficiado pelas temperaturas mais elevadas, característica de um país tropical. Em muitos casos os efluentes provenientes das lagoas também não atendem aos padrões estabelecidos pela legislação. Dessa forma, a fertirrigação torna-se uma alternativa de pós-tratamento, pois além do baixo custo, contribui para a produtividade agrícola e reduz o lançamento direto no corpo receptor.

O pós-tratamento por meio do uso de efluentes sanitários na irrigação de culturas agrícolas deve atender a duas premissas básicas: a sanitária que tem por finalidade a depuração do esgoto sem que ocorra a contaminação do ambiente e a agrônômica que visa ao aproveitamento pela planta da água e dos nutrientes presentes no efluente.

Neste contexto, em Franca SP foram realizados dois trabalhos. Em um deles se utilizou efluente de lagoa anaeróbia da ETE Paulistano II em cultura de milho e o outro efluente de lagoa facultativa da ETE City Petrópolis em cultura de eucalipto. Ambos os sistemas operados pela SABESP. Os experimentos também buscaram contribuir para futura elaboração de normas e leis, visando a aplicação de efluentes na agricultura, já

que no Brasil ainda não existe legislação homologada específica, que trata de padrões e critérios para irrigação com efluentes de sistemas de tratamento de esgoto.

Neste contexto, fazendo parte de um trabalho mais abrangente, onde se avaliou, além da produtividade, aspectos de poluição do solo e do lençol freático, e apresentam-se neste trabalho os resultados obtidos no experimento com cultura de milho.

MATERIAIS E MÉTODOS

O local escolhido para implantação do experimento possui área total de 7387 m², tendo as coordenadas UTM de um ponto aleatoriamente escolhida como sendo 243732 E e 7715351N.



Figura 1 – Vista do campo experimental

Preparação da área

Para o preparo e conhecimento do lençol freático foram feitos 3 furos não alinhados. O primeiro apresentou um nível de água aos 4,8 m em relação à superfície, o 2º com 4,2 m em relação e o 3º com 4,3 m em relação à superfície.

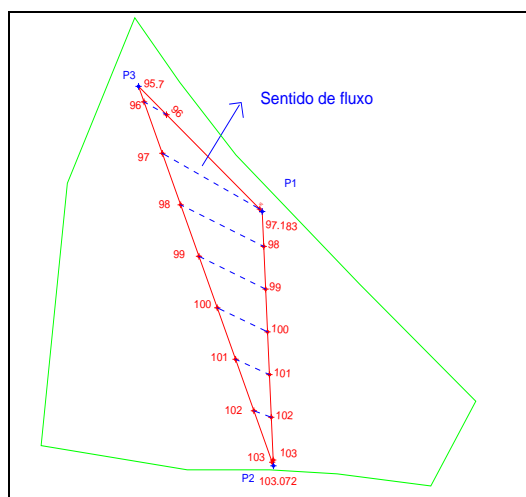


Figura 2 – Posicionamento dos furos

A partir destes dados foi feito o levantamento altimétrico para determinação das linhas equipotenciais do lençol freático, tendo-se em vista projetar o posicionamento das parcelas onde ocorreria o plantio do milho a ser avaliado. A localização de cada parcela foi feita em função das linhas equipotenciais, de forma que se

houvessem contaminantes, estes seriam direcionados para os poços instalados mais abaixo. Em função do posicionamento das linhas foram posicionados os poços, conforme estão representados na Figura 4.

Avaliação das características do solo

A partir das análises químicas do solo constatou-se que o mesmo pode ser classificado como Latossolo Vermelho, com textura média, de acordo com a classificação da Brasileira da EMBRAPA. A partir da análise de fertilidade do solo, foi calculado a demanda de calcário para correção de acidez e realizada a aplicação. Antes deste procedimento foi aplicado herbicida para extinção da vegetação existente.

Determinação do volume de efluente empregado

A determinação dos volumes de efluentes por sulco e por rega, de acordo com as profundidades de irrigação, foi estabelecido em função da análise de capacidade de retenção de água no solo, tendo sido coletado amostra indeformável para tal análise. A Figura 3 representa a curva de retenção de água no solo referentes a um dos pontos coletados na profundidade 0-25 cm. Foram coletadas amostras também na profundidade 25-50 cm. Estas profundidades foram adotadas em função da profundidade de zona de raiz, que é onde a planta absorve os nutrientes e a água. Por esta figura verifica-se que a partir da umidade de 35,5 % a água pode percolar e atingir camadas inferiores, e abaixo de 27 % a planta pode declinar, que refere-se ao ponto de murcha.

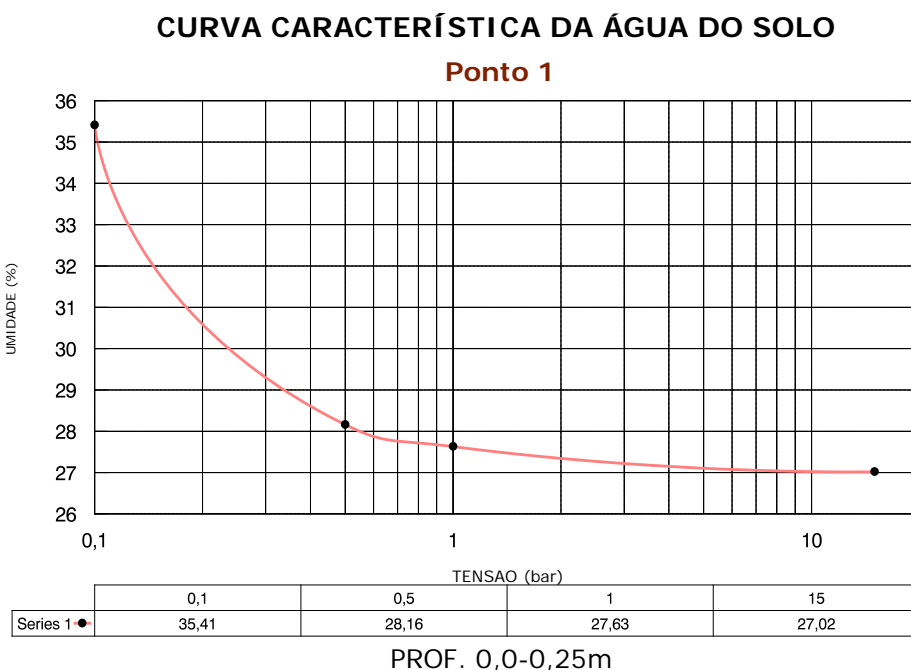


Figura 3 - Curva característica de água no solo

Avaliação do efluente empregado

Para avaliação da salinidade, utiliza-se a Relação de Adsorção do Sódio (RAS). Foi determinada a RAS para o efluente nas amostras de esgoto anaeróbio da ETE Paulistano II, obtendo-se um valor médio de 4,68. Este valor indica que o efluente é classificado como de alta salinidade e baixa sodificação e, não deve ser utilizado para irrigação em solos com drenagem deficiente. A cultura irrigada deve ter boa tolerância salina.

Parcelamento da área

Em função do sentido do fluxo da água no lençol freático, foram feitas as demarcações das parcelas, sendo 12 para cada um dos 3 tratamentos (água + adubo (A), efluente anaeróbio desinfetado (EAD) e tratamento

efluente anaeróbio (EA)), totalizando 36 parcelas. Para o planejamento estatístico do campo experimental levaram-se em consideração o Grau de liberdade total igual a 35.

As parcelas foram delineadas com 4 sulcos, de largura média de 0,30 m e profundidade de 0,20 m, sulcos estes com 6 metros de comprimento cada um, espaçados entre si de 1,00 m, entre eixos. As parcelas foram agrupadas em 4 blocos alinhados, referente a 4 repetições.

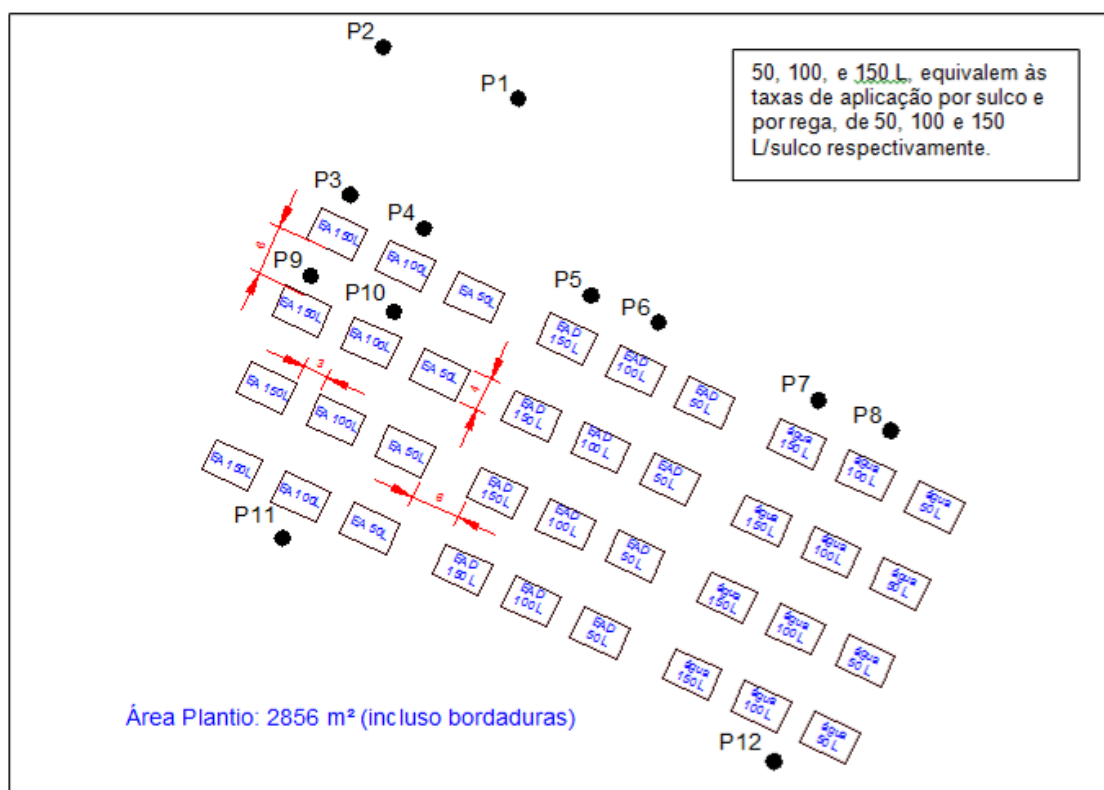


Figura 4 – Disposição das parcelas



Figura 5 – Posicionamento dos sulcos em cada parcela

As indicações de 50, 100, e 150 L, equivalem às taxas de aplicação por sulco e por rega, de 50, 100 e 150 L/sulco respectivamente, calculadas em função das curvas de retenção de água no solo. 100 L/sulco representa a taxa ideal. Testou-se no experimento taxa 50 % inferior e 50 % superior.

A partir da análise de fertilidade do solo, baseado no Boletim 100 do IAC foi determinado a adubação de plantio. A adubação de plantio foi feita de forma igualitária para todas as parcelas e tratamentos, correspondentes a 20 kg N/ha, na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 60 kg P_2O_5 /ha, na forma de super simples; e, 33 kg K_2O /ha, na forma de KCl, estimado para produtividade de milho, aproximada entre 7 e 8 ton/ha

Poços

Foram confeccionados 12 poços de monitoramento, baseados na norma CETESB 6410/1998, com profundidade variando entre 7,6 e 13,1 metros. Os níveis de água nos poços variaram de acordo com a época do ano (tempo chuvoso e seco), entre 0,4 e 3,0 metros.

Safras

Para a primeira safra foi plantado o milho Pionner 30K75 em todas as parcelas. Para cada linha de plantio foi aberto um pequeno sulco com aproximadamente 3 cm de profundidade, ao longo destas linhas.

Para cada um dos 3 tratamentos, foram previstos 12 parcelas, sendo cada grupo de 4 parcelas com volumes de aplicação, respectivamente, de 50 L/sulco, para profundidade de 0,25 m; 100 L/sulco, para profundidade de 0,50 m; e, 150 L/sulco, para profundidade de 0,75 m. Na primeira safra ocorrida entre os meses de novembro e janeiro foram feitas 6 aplicações, devido a muitos dias chuvosos, e na segunda safra, ocorrida entre os meses de março e junho (período seco) foram realizadas 16 aplicações de efluentes nos sulcos.

As parcelas com tratamento “água + adubo” receberam em todas as regas, tanto na primeira quanto na segunda safras, água proveniente de uma pequena lagoa localizada nas proximidades do campo experimental, transportada via bombeamento. Para desinfecção do efluente utilizado nas parcelas efluente anaeróbio desinfetado, utilizou-se a dosagem de 32 mg/L, de hipoclorito de cálcio, determinada experimentalmente por Tonon (2007).



Figura 6 - Sulcos irrigados e vista geral de um bloco do experimento

Na segunda safra foi plantado a variedade “Pionner 30F87” e o critério de plantio foi o mesmo realizado na primeira safra. A mudança ocorreu devido não ter sido encontrado no mercado a variedade anterior, porém são de características de produtividade semelhantes.

RESULTADOS

Avaliação de Produtividade

1ª Safra

A produtividade dos grãos de milho referente à primeira safra, bem como os resultados do teste de Tukey estão representados na tabelas 2.

Tabela 2. Resultados do teste de Tukey aplicado aos resultados de produtividade dos grãos de milho da 1ª Safra

Taxa de aplicação	Grãos secos a 65° C		
	-----Ton ha ⁻¹ -----		
1ª safra	Água + adubo	Efl. Anaeróbio Desinfetado	Efl. Anaeróbio
50 L/sulco	8,02 bC	5,91 aA	5,65 aA
100 L/sulco	7,28 bB	6,10 aA	6,07 aA
150 L/sulco	9,17 cC	6,94 bB	7,43 bB
CV (%)	4,3		

Para Tukey: Média seguida pela mesma letra maiúscula na horizontal não difere entre si (Tukey 5%). Média seguida pela mesma letra minúscula na vertical não difere entre si (Tukey 5%).

A produtividade desta primeira safra ficou para as parcelas irrigadas com efluentes anaeróbio e anaeróbio desinfetado, aquém daquelas parcelas irrigadas com água + adubo. A razão para isso ter ocorrido foi porque no primeiro e início do segundo estágio de desenvolvimento da cultura, devido à intensidade de chuva no local, o caminhão tanque (com efluentes) não pode ter acesso ao local. Entretanto verificou-se que houve diferença significativa na produtividade, quando se comparam as taxas hidráulicas de 50 e 100 L/sulco em relação a taxa de 150 L/sulco. A produtividade da colheita com água mais adubo foi maior e de acordo com a produtividade calculada e em torno de 8,0 t/ha. Para as parcelas com efluentes, a maior produtividade registrada foi para aquela com taxa de aplicação de 150 L/sulco, com 7,43 t/ha.

Devido a intensa quantidade de chuvas durante o período referente a esta 1ª safra, cerca de 1017 mm, e à dificuldade do acesso do caminhão que transportava o efluente, nesta primeira safra houve comprometimento em relação à quantidade de regas com efluente anaeróbio.

A quantidade de nitrogênio aplicado no solo via irrigação por efluente pode ser estimada utilizando –se da média dos valores analíticos de nitrogênio total Kjeldahl – NTK..

As quantidades de nitrogênio aplicada via adubação mineral correspondeu a 80 kg/ha para todas as parcelas e para os tratamentos com efluente anaeróbio, 27,65 kg/ha, 55,29 kg/ha e 82,94 kg/ha, respectivamente para as taxas de 50, 100 e 150 l/sulcos.

A quantidade de nitrogênio aplicado via efluente ficou incompatível com a adubação mineral nas parcelas referente às laminas 25 cm e 50 cm (50 L/sulco e 100 L/sulco). Com isso, verifica-se que o propósito de estabelecer taxas de aplicação ideal para suprimento de nitrogênio, com 50 % acima do ideal e 50 % abaixo do ideal não se concretizou.

2ª Safra

A produtividade obtida na segunda safra está descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Produtividade obtida na 2ª safra para cada tratamento nas respectivas lâminas de irrigação, média de 4 repetições.

Taxa de	Grãos secos a 65* C		
Aplicação	----- Ton ha ⁻¹ -----		
2ª safra	Água + adubo	Efl. Anaer. Desinf	Efl. Anaer.
50 L/sulco	7,22 aA	6,99 aA	5,06 bB
100 L/sulco	6,88 aA	7,49 aA	6,63 aA
150 L/sulco	5,37 aB	7,26 aA	8,29 aA
CV (%)	16,59		

Entre as taxas aplicadas, para Tukey 5 %, só ocorre diferenciação em relação à taxa de 50 L/sulco no tratamento anaeróbio, que ficou em 5,06 Ton.ha⁻¹.

Entre os tratamentos, ocorre diferenciação para o “Efl. Anaeróbio” na taxa de 50 L/sulco, que ficou em 5,06 Ton.ha⁻¹, e no tratamento “Água + adubo”, na taxa de 150 L/sulco, que ficou em 5,37 Ton.ha⁻¹.

Para a segunda safra, as quantidades de nitrogênio aplicada via adubação mineral correspondeu a 60 kg/ha para todas as parcelas e para os tratamentos com efluente anaeróbio, 74,00 kg/ha, 143,00 kg/ha e 212,00 kg/ha, respectivamente para as taxas de 50, 100 e 150 l/sulcos.

Avaliação dos poços

Metais nas águas dos poços

Em todos os poços do aquífero subterrâneo localizado sob o experimento não foram encontrados teores relevantes de metais, durante o período dessa pesquisa, considerando que os valores encontrados nos poços à jusante dos três cenários foram predominantemente abaixo dos limites de quantificação pela metodologia por espectrofotometria por absorção atômica e muito abaixo e distante dos limites de potabilidade estabelecidos na portaria do Ministério da Saúde, nº 518/04.

Condutividade elétrica

Entre os três cenários, destaca-se o EAD (irrigação por efluente desinfetado), pois foi utilizado hipoclorito de cálcio como desinfetante, o qual provocou aumento significativo na condutividade elétrica no meio aquoso usado para irrigação.

Após as 22 aplicações do efluente entre novembro de 2005 e dezembro de 2007 não foram observadas variações discrepantes ou que evidenciem um aumento de condutividade do aquífero sob o experimento.

Turbidez

Após continuas retiradas de amostras dos poços, a partir de maio de 2006 a turbidez se manteve estabilizada em valores menores que 1,0 NTU.

Nitrogênio aplicado e nitrato residual

O nitrato é a última fase de oxidação do nitrogênio no solo. É absorvido pelas plantas como íon nitrato e devido a sua forma química é prontamente lixiviado para as camadas mais profundas do solo. Quando a adubação nitrogenada realizada nas plantações é excessiva, o solo tem a tendência de sofrer a perda de nitrogênio pela lixiviação na forma de nitrato.

Os valores não demonstram variações significativas e se mantiveram abaixo do limite de 10 mg/L estabelecido pela Portaria MS no 518/04. Em todos os cenários não houve valores elevados de nitratos.

Bactérias heterotróficas

Mesmo considerando a complexidade para a prática de coletas precisas nos poços de monitoramento, os resultados encontrados demonstram que as alterações nos valores podem ser consideradas como pouco relevante independente do cenário do experimento.

Os resultados dessas análises realizadas durante o período do estudo constataram ausências de bactérias do gênero *Enterococcus* nas amostras coletadas nos poços de monitoramento, indicando que a irrigação com esgotos não provocou nenhum impacto na água do lençol.

Avaliação do solo

Teor de metais no solo

O teor de metais pesados em amostras de solo coletadas nos sulcos irrigados a 0-0,20m de profundidade estão representados na tabela a seguir.

Tabela 1 – Metais pesados no solo

Tratamentos	Teor de metais (mg.kg ⁻¹)		
	Cromo	Cobre	Zinco
Água + Adubo	34,22A	47,59a	10,46a
Esgoto Desinfetado	29,86B	46,37a	10,05a
Esgoto Bruto	24,57C	45,39a	8,66a
CV%	7,20	7,53	46,93
DMS 1%	2,7975	4,5988	5,9989

Verifica-se que ocorre diferenciação em Tukey 5 % apenas para o cromo, que apresenta valores mais elevados no tratamento “água + adubo”.

Ovos de helmintos no solo

A presença de ovos de helmintos é uma das grandes preocupações quando se faz irrigação com efluentes domésticos. Os resultados mostraram uma baixa concentração de ovos nos três cenários, com maior número na primeira análise, cuja coleta foi realizada 45 dias após a última irrigação, e uma sensível redução na segunda análise, cuja coleta foi realizada com 90 dias após a última irrigação.

Portanto, pode ser observado nos resultados que, com a evolução do tempo, a quantidade de ovos diminuiu.

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a irrigação com efluente anaeróbio no período da pesquisa não causou impactos negativos no solo, na água e na planta.

A produtividade verificada na segunda safra foi melhor que a obtida na primeira safra, e apesar disso, os resultados não são totalmente conclusivos. Era necessária a continuidade do experimento com a realização de mais ciclos de plantio, para verificar os impactos em decorrência do efeito acumulativo ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
2. IPT. **Relatório nº 40.672 - diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da bacia hidrográfica do sapucaí-mirim/grande**. Franca, 1999.
3. REZENDE, A.A.P.; MATOS, A.T.; SILVA, C.M. **Aplicação da água residuária do processo de fabricação da celulose kraft branqueada na fertirrigação de eucalipto**. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-344.pdf>>. Acessada em julho de 2009.
4. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. 218p. 2006.
5. ANJOS, A. R. M. DOS; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com bio sólido. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n. 4, p.769-776, 2000.
6. CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A .L.; ANDRADE NETO, C. O .; NOUR, E.A.A.; ANDREOLI, F. DE N.; SOUZA, H.N.; MONTEGGIA, L. O .; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, L.; AISSE, M.M.; FIGUEIREDO, R.F.; STEFANUTTI, R. **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo**. In: Campos, J.R. (coordenador). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo, Rio de Janeiro: ABES, 1999a. 321-356p.
7. EMBRAPA, **Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo**, consultado em 2005 e em 20/03/2007: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul21.pdf>;
8. RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. (IAC. Boletim técnico 100).
9. STEFANUTTI R. **Notas de aulas**. FEC, Unicamp, 2006
10. TONON, D. Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura. *Dissertação de mestrado*. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2007. 248p.