

UMA REFLEXÃO SOBRE A QUALIDADE E USO DE ESGOTO TRATADO POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA AGRICULTURA: CASO DE LINS/SP

COMMENTS ON THE QUALITY AND USE OF WASTEWATER TREATED BY STABILIZATION PONDS IN AGRICULTURE : CASE OF LINS/SP

Roque Passos Piveli⁽¹⁾
 Adolpho José Melfi⁽²⁾
 Célia Regina Montes⁽³⁾
 Tamara Maria Gomes⁽⁴⁾

⁽¹⁾Dr. em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Prof. Associado Escola Politécnica da USP; ⁽²⁾ Dr. em Geoquímica, Prof. Titular da ESALQ/USP, Pesquisador do NUPEGEL-USP; ⁽³⁾ Dra. em Geofísica, Prof. do CENA-USP; Pesquisadora do NUPEGEL – USP; ⁽⁴⁾ Dra. em Irrigação e Drenagem, Pós-doutoranda NUPEGEL-USP.

Endereço: Rua Professor Almeida Prado, 271 Butantã (Cidade Universitária) São Paulo/SP CEP: 05508-901 e-mail: rppiveli@usp.br

RESUMO

A disposição de efluentes de sistemas de lagoas de estabilização em cursos d'água torna-se praticamente inviável face à legislação referente à poluição das águas. Sua aplicação na irrigação de culturas seria uma alternativa, com benefícios agrônômicos (por exemplo, suprimento da demanda hídrica das plantas, contribuição com nutrientes, etc) e ambientais. Sob a ótica do saneamento, reduz-se sua descarga em corpos d'água naturais. Os resultados obtidos no projeto USP – SABESP de utilização agrícola do efluente de esgoto tratado em Lins – SP mostram que, com um manejo adequado, os efluentes podem ser utilizados na irrigação de culturas, minimizando ou restringindo a necessidade de tratamento adicional para lançamento em corpos d'água nos períodos sem irrigação, oferecendo uma alternativa técnica e economicamente atrativa.

ABSTRACT

The use of effluents from stabilization pond systems in waterways has become practically unviable due to the legislation regarding water pollution. Its use in irrigation would be an alternative with agronomical benefits (for instance, meeting the plants hydric demand, contributing with nutrients, etc.) as well as environmental benefits. From a sanitation standpoint, the discharge into natural waterways is reduced. The results obtained in the USP – SABESP project of agricultural use of treated sewage effluent in Lins – SP demonstrate that, with adequate management, effluents may be used in irrigation. This minimizes or restricts the need for additional treatment for discharge in

waterways to periods with no irrigation, thus offering a technically and economically attractive alternative.

INTRODUÇÃO

A legislação referente à poluição das águas das águas naturais tem trazido preocupações no tocante ao emprego dos sistemas de lagoas de estabilização. Os sistemas de lagoas de estabilização, em condições normais de projeto e sem lagoas de maturação, apresentam grande dificuldade para remoção principalmente de nitrogênio amoniacal e fósforo. Apesar do padrão de emissão para nitrogênio amoniacal de 20 mg/L, estabelecido na Resolução CONAMA N° 357/2005, ter sido recentemente abolido (2008), dependendo da classificação das águas, os padrões de amônia no corpo receptor podem representar uma condição ainda mais restritiva, principalmente nos frequentes casos que ocorrem no estado de São Paulo em que a diluição do esgoto na estagem é muito baixa.

Também ocorreu, quando implantada a Resolução 357/2005, flexibilização dos limites de fósforo como padrão de classificação de águas naturais caracterizadas como ambientes intermediários ou lóticos, mas as exigências continuam a ser incompatíveis com o emprego de lagoas, em que a remoção deste constituinte é muito baixa. Igualmente ao nitrogênio, no caso do fósforo, nas cidades assentadas próximas às nascentes dos cursos d'água, a capacidade de diluição dos corpos receptores dos esgotos tratados é muito baixa e não é possível o atendimento aos limites legais.

Grande parte dos problemas de qualidade dos efluentes das lagoas fotossintéticas está relacionada com o crescimento da biomassa algal. Devido a este fato, é comum que o esgoto tratado possua maior concentração de sólidos em suspensão que à sua entrada, caso seja precedida por uma lagoa anaeróbia. A inclusão de novos critérios de qualidade na Resolução No 357, como as concentrações de Clorofila a e de cianobactérias, trará maiores dificuldades para o enquadramento dos efluentes de lagoas.

Pode-se entender que é momento de se repensar o uso de lagoas de estabilização no Brasil. Enfatiza-se, mais uma vez, o grande interesse por esse processo, muitas vezes opção única em função dos recursos disponíveis para implantação e operação do tratamento de esgotos em pequenas comunidades. Neste sentido,

Palavras-chave: lagoas de estabilização; irrigação com esgoto tratado.

Keywords: sewage treatment; stabilization ponds; treated sewage irrigation.

talvez a própria legislação vigente deva ser re-discutida, o que não é objeto deste trabalho.

Por outro lado, a busca de caminhos para o aprimoramento da qualidade do efluente das lagoas é bastante oportuna, visando subsidiar a avaliação do que é necessário técnico e economicamente, para a remoção de algas, nutrientes e para a desinfecção final, dentre outros aspectos. É possível que os resultados das pesquisas levem à conclusão de que, para o atendimento da legislação atual, o emprego de sistemas de lagoas de estabilização esteja fadado ao abandono e as tecnologias de tratamento complementar que estão sendo desenvolvidas sejam atrativas somente para melhorar as condições dos sistemas existentes, sem garantir pleno atendimento aos padrões.

Como alternativa, vislumbra-se a possibilidade da aplicação do efluente final do sistema de lagoas de estabilização na irrigação de culturas. Sob o ponto de vista agrônomo, é possível suprir a demanda hídrica das plantas sem consumo de água natural ou tratada, além de contribuir com nutrientes, sobretudo nitrogênio e fósforo. Sob a ótica do saneamento, reduz-se a descarga de esgotos tratados em corpos d'água naturais. As lagoas de estabilização, por serem eficientes na remoção de constituintes biológicos dos esgotos e por apresentarem baixo desempenho na remoção de nutrientes, parecem constituir o sistema de tratamento ideal para uso do efluente final em irrigação de culturas. Além disso, por estarem presentes de forma difusa e afastada dos grandes centros urbanos, aumenta a possibilidade de uso dos efluentes para tal finalidade.

Obviamente, são muitos os obstáculos a serem superados. Do lado do saneamento, a legislação reguladora da descarga de efluentes no solo é ainda embrionária em São Paulo ou no Brasil. Mesmo ocorrendo este disciplinamento e a garantia de que os efluentes dos sistemas de lagoas de estabilização apresentarão capacidade de atendê-lo, ainda há que se preocupar com o fato de que não será possível o uso agrícola de todo o esgoto tratado sem quebra de continuidade.

Uma evidência disto é a ocorrência de altos índices pluviométricos em determinadas épocas do ano e a conseqüente impossibilidade de irrigação com esgoto tratado. Nesta situação, ou em outras imagináveis como, épocas de plantio, colheita, entressafras, etc., haverá necessidade de descarga em corpos d'água. O sistema deverá então estar preparado para atender aos padrões de emissão e de classificação de águas naturais devendo ser implantadas unidades para o tratamento complementar do esgoto.

Por exemplo, se for constatada a necessidade de remoção complementar de fósforo, esta ação deverá estar prevista no sistema de tratamento e, mesmo que as

tecnologias disponíveis para tal fim sejam consideradas de custo operacional elevado, será em grande parte atenuado pela não utilização enquanto proceder-se a irrigação. Além disso, associando-se a descarga em corpos d'água principalmente com a época de cheias, é exatamente nesta situação em que a capacidade de diluição do corpo receptor é elevada e se tem maior condição e segurança para atender aos padrões de classificação destes.

Do lado agrônomo e ambiental, a preocupação deverá estender-se ao sistema solo-planta, à qualidade das águas subterrâneas e superficiais adjacentes à área irrigada com o esgoto tratado e com a própria saúde do agricultor. A presença de certos constituintes no esgoto, como o sódio, pode levar, quando em teores elevados, a alterações irreversíveis em características físicas dos solos, associadas com sua estrutura e conseqüente capacidade de retenção de água. A migração de espécies químicas no solo e transformações bioquímicas como a nitrificação, podem também trazer prejuízos para a água do aquífero freático. Os contaminantes biológicos podem trazer problemas importantes para a qualidade do solo e das espécies cultivadas, bem como impor riscos à saúde do agricultor.

As variações nas propriedades físicas e químicas do solo ocorrem no longo prazo, o que limita a validade de estudos imediatistas. Dependem também das características iniciais do solo, das culturas e seus diferentes níveis de absorção de nutrientes e do próprio efluente a ser utilizado que, por sua vez, depende desde a qualidade da água de abastecimento até o processo de tratamento empregado.

Estas considerações fazem crer que são necessárias muitas pesquisas de longa duração e que cada uma isoladamente não poderá ter seus resultados indiscriminadamente transportados para outras regiões ou situações. Entende-se que o que se necessita no momento é a composição de um banco de dados experimentais representativos que possa embasar a proposição de critérios e padrões para a regulamentação de tal prática.

A USP, por meio do NUPEGEL – Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera/ Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, contando com o apoio do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica e do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública, estabeleceu parceria com a SABESP e compôs um projeto de pesquisa com campo experimental instalado no município de Lins/SP.

Nesta área, a SABESP possui um sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização onde foi construído um campo experimental de utilização agrícola do efluente final da estação de

tratamento de esgoto. Para o desenvolvimento dos trabalhos, intensificou-se o monitoramento das lagoas, implantaram-se sistemas de pós-tratamento por processo físico-químico, desinfecção por cloração e radiação ultravioleta, todos em escala compatível com o delineamento do experimento agrônomico.

Implantou-se um sistema de irrigação por gotejamento e monitorou-se o desenvolvimento de uma cultura de café, duas safras de milho e duas de girassol, cultivadas num sistema de rotação de culturas. Implantou-se também o cultivo do capim Tifton-85, irrigado por aspersão convencional. Os efeitos da irrigação sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo e da água do aquífero freático estão sendo avaliados, bem como a produtividade das culturas.

O objetivo deste trabalho é mostrar através de alguns resultados sanitários, agrônomicos e ambientais, obtidos nos experimentos conduzidos no Campo Experimental de Reúso Agrícola em Lins/SP que os efluentes de esgoto podem ser aplicados na irrigação de culturas, desde que manejados adequadamente.

METODOLOGIA

O campo experimental instalado no município de Lins, Estado de São Paulo (longitude 49°50'W, latitude 22°21'S e altitude média de 440 m) em 2001, situado ao lado da estação de tratamento de esgoto por lagoa de estabilização operada pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), na Unidade de Negócios do Baixo Tietê e Grande, possui uma área de 6 ha, inclinada em direção ao eixo de uma drenagem, sendo o solo, de montante para jusante, caracterizado como um sistema Latossolo-Argissolo (Ibrahim, 2002).

O sistema de tratamento de esgotos de Lins/SP é constituído de tratamento preliminar (grade média de limpeza manual seguida de caixa de areia do tipo canal controlada por Calha Parshall) e três módulos iguais de lagoas anaeróbias (LA) seguidas de lagoas facultativas (LF) funcionando em paralelo.

O sistema foi projetado para o atendimento a uma população em torno de 65.000 habitantes, correspondente à vazão média de 12.000 m³ dia⁻¹ e à carga de DBO de 3.000 kg dia⁻¹. Os tempos de detenção hidráulica de projeto nas lagoas anaeróbias e facultativas são, respectivamente, 5,8 e 13,9 dias. A taxa de aplicação volumétrica de DBO nas lagoas anaeróbias é de 0,043 kg m⁻³.dia, enquanto que a taxa de aplicação superficial de DBO nas lagoas facultativas é de 160 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

As análises físico-químicas - demanda bioquímica (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), amoniacal (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻); fosfato total e ortofosfatos, sólidos totais

(ST), em suspensão (SS), fixos (SF) e voláteis (SV), temperatura, pH, cor, turbidez, absorvância em $\lambda = 254$ nm e sulfeto e biológicas (Coliformes totais e *Escherichia coli*, *Salmonella* sp, *Cryptosporidium*, Giárdia e ovos viáveis de Helmintos dos esgotos/efluentes) foram realizadas conforme APHA-AWWA (1999).

Foram conduzidos ensaios em escala piloto, tratando-se os efluentes das lagoas anaeróbia e facultativa por processo físico-químico à base de coagulação e floculação (SILVA et al., 2001). Foram comparados os efeitos do sulfato de alumínio e do cloreto férrico, com separação de sólidos em decantadores laminares ou por flotação com ar dissolvido.

Ensaio de desinfecção foram realizados por meio de cloração e por radiação ultravioleta. Foram realizados experimentos específicos de cloração e descloração, esta última aplicando-se solução de bissulfito ou tiosulfato de sódio, dos efluentes da LF e avaliação da formação de trihalometanos (THM) e de ácidos haloacéticos (AH). Os ensaios de cloração dos efluentes das LA e LF foram realizados utilizando-se tanque de contato operado sob o regime de fluxo contínuo.

O cloro foi utilizado na forma de solução de hipoclorito de sódio comercial, introduzido na tubulação de alimentação do tanque de contato por meio de bomba dosadora. Para as análises de THM, por tratar-se de formação lenta, as amostras foram retidas durante 24 horas até a realização das análises. Os ensaios de descloração dos efluentes das LA e LF foram realizados em aparelho de Jar Test. Visando a comparação de resultados foi estudada a cloração dos efluentes das LA e LF após tratamento a base de coagulação e floculação com cloreto férrico.

A partir do estudo de diferentes culturas foi possível avaliar os impactos da irrigação com esgoto tratado no sistema solo-planta-água. Todos os experimentos foram conduzidos de modo a satisfazerem estatisticamente os ensaios agrônomicos e os parâmetros químicos, físico e físico-químicos foram determinados seguindo as metodologias utilizadas nas ciências agrárias e citadas em Herpin et al. (2007), Gloaguen et al. (2007), Gonçalves et al. (2007), Fonseca (2005) e Fosenca et al. (2007). Cada cultura visava um objetivo específico: assim, o ensaio com café serviu para avaliar o impacto da irrigação em certos atributos químicos e físico-químicos do solo (pH, condutividade elétrica - CE, Ca, Mg, K, P, Na e K), bem como a qualidade da planta (Ca, P, Mg, S, Na e K) (HERPIN et al., 2007).

Os efeitos da irrigação na variação química da solução do solo cultivado, alternadamente, com milho e girassol foram monitorados e comparados com o solo irrigado com água tratada. Avaliou-se os teores de carbono orgânico dissolvido, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻ (GLOAGUEN et al., 2007). Neste

ensaio foi igualmente avaliado o impacto da irrigação com esgoto tratado na qualidade física do solo, por meio da determinação da condutividade hidráulica (GONÇALVES et al. 2007)

O estudo do solo cultivado com capim Tifton 85 foi realizado com o objetivo de testar o uso do esgoto tratado como fonte alternativa de água e de nitrogênio para a pastagem, determinando as concentrações de nutrientes e elementos tóxicos no sistema solo-planta e verificando o comportamento de argila dispersa em água (FONSECA 2005 e FOSENCA et al. 2007).

RESULTADOS DO TRATAMENTO DO ESGOTO

No monitoramento realizado para o controle dos processos de tratamento, a concentração média de DBO_{5,20} no efluente da lagoa facultativa, ao longo de 500 dias entre os anos de 2004 e 2006, foi de 63 ± 22 mg L⁻¹ e a eficiência média de remoção foi de $75 \pm 14\%$. Deve ser lembrado que cerca de 50% da DBO do efluente de lagoa facultativa é solúvel, sendo a outra metade devido a algas, cujos efeitos no corpo receptor dependerão do regime hidrodinâmico deste.

No efluente da lagoa facultativa, a concentração média de nitrogênio amoniacal foi de 26 ± 11 mgN L⁻¹, podendo-se observar que o sistema, embora adequadamente projetado e operado, demonstra a necessidade de lagoas complementares para a obtenção de eficiências mais elevadas de remoção deste constituinte.

Vale lembrar que, no caso do sistema de Lins, o lançamento do esgoto tratado é feito em água classe 4 de acordo com a legislação estadual e que, neste caso, a preocupação se resume ao atendimento aos padrões de emissão.

A concentração média de fósforo no efluente da lagoa facultativa foi de $3,8 \pm 2,1$ mgP L⁻¹ e a de clorofila-a manteve-se na faixa de 0,5 a 2,0 mg L⁻¹, médias dos resultados das análises realizadas sobre 32 amostras coletadas ao longo dos 500 dias de observação. Estendendo a avaliação para outros diversos sistemas constituídos de lagoas de estabilização, porém com efluentes lançados em águas de classes mais restritivas, em ambos os casos, os resultados situam-se em ordens de grandeza muito acima dos respectivos valores permitidos para determinadas classes estabelecidas pela Resolução 357/2005 do CONAMA (para águas doces classe 1, por exemplo, o limite para clorofila-a é de apenas 10 µg L⁻¹, enquanto que o limite para fósforo em ambientes lênticos é de apenas 0,02 mgP L⁻¹), exigindo graus de diluição indisponíveis em inúmeros casos práticos.

A média geométrica da densidade de *Escherichia coli* no efluente da lagoa facultativa foi de $7,7 \times 10^4$ (média

de 32 amostras coletadas quinzenalmente durante 500 dias), exigindo a desinfecção final ou elevado grau de diluição no corpo receptor. Com relação às densidades de cistos de protozoários, observou-se, a partir do exame de doze amostras mensais que, embora não ocorra eliminação completa dos cistos de *Cryptosporidium* por sedimentação nas lagoas, a redução na densidade é substancial (64% na lagoa anaeróbia e 93% no sistema), com densidade média no efluente da lagoa facultativa reduzida para 15 ± 15 oocistos L⁻¹. A densidade média de cistos de *Giardia* encontrada no esgoto bruto foi de 449 ± 171 cistos L⁻¹, enquanto que no efluente da lagoa facultativa obteve-se 15 ± 15 cistos L⁻¹. Para as densidades de ovos viáveis de helmintos, enquanto que o esgoto bruto apresentou em média $5,0 \pm 1,5$ ovos L⁻¹, o efluente da lagoa facultativa apresentou $1,7 \pm 2,7$. Pode ser observado que o sistema não apresenta capacidade para produzir, sistematicamente, efluente com densidade de ovos de helmintos inferior a 1,0 ovo L⁻¹, referência utilizada em algumas legislações associadas à irrigação de culturas. Estes resultados não são concordantes com o que é apresentado na literatura (COSSÍO, 1993), onde é enfaticamente registrado que a presença de ovos de helmintos em efluentes de lagoas é apenas esporádica.

Os resultados dos ensaios físico-químicos mostraram que é possível melhorar drasticamente a qualidade dos efluentes, promovendo-se substanciais reduções de DQO, sólidos em suspensão, fósforo total e Clorofila a, além da redução do índice de coliformes e a eliminação praticamente total de cistos de protozoários e ovos de helmintos. As dosagens mínimas de coagulantes necessárias para obtenção de eficiências razoáveis (pelo menos 1,0 mgP L⁻¹ no efluente final) situaram-se na faixa de 20 mg L⁻¹ (expressa em Al ou Fe).

O tratamento do efluente da lagoa facultativa que alcançou melhores resultados foi com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido, tendo-se reduzido a concentração de fósforo de 6,0 mgP L⁻¹ para 0,5 mgP L⁻¹, aplicando-se 24 mgAl L⁻¹. Porém, o custo deste tratamento pode atingir a faixa de R\$ 0,10 por m³ de esgoto apenas devido ao consumo de coagulante. É interessante observar também que o tratamento do efluente da lagoa anaeróbia resultou competitivo com o da facultativa (foram obtidas concentrações residuais da ordem de 0,2 mgP L⁻¹ aplicando-se 20 mgAl L⁻¹), demonstrando que quando se pretende implantar o pós-tratamento por processo físico-químico, a lagoa facultativa torna-se desnecessária.

Nos ensaios de desinfecção por radiação UV foi verificado um decaimento médio da densidade de *E. coli* de 1,91 unidades logarítmicas para a dose UV recebida de 10mWs cm⁻² e de 3,66 unidades para a dose de 20Ws cm⁻², resultados bastante satisfatórios, tornando o efluente final do sistema de tratamento em

condições para ser lançado em corpos d' água naturais ou utilizado em agricultura. Quanto à cloração os resultados permitiram concluir que a concentração de cloro recomendável para o efluente de lagoa facultativa para a inativação de coliformes totais e de *E. coli* situa-se na faixa de 10mg L^{-1} e o tempo de contato mínimo recomendado de 20 minutos.

Observou-se neste último caso a inativação completa de *Salmonella sp.*, entretanto os ovos viáveis de helmintos permaneceram inalterados, confirmando que a cloração é ineficiente para tal finalidade. Outro aspecto avaliado nos ensaios de cloração foi a presença de cloro residual no efluente tratado, o qual deveria ser nulo, tendo em vista seu potencial tóxico à fauna do solo, entretanto os resultados mostraram-se contrários em vários episódios. A concentração de trihalometanos resultou bem abaixo do padrão de potabilidade, provavelmente devido à reação prioritária do cloro com o nitrogênio amoniacal (PIVELI, 2006).

RESULTADOS AGRONÔMICOS E AMBIENTAIS

Os resultados obtidos, aqui sintetizados, mostram a viabilidade de utilização de esgotos domésticos tratados na agricultura desde que haja um manejo adequado do sistema solo-planta. Além das características do solo um fator importante é a escolha de culturas mais adaptadas às características destas águas residuárias.

A caracterização química e físico-química do efluente, para atender aos ensaios agronômicos, foi realizada através de amostragens mensais. A tabela 1 apresenta a composição média do efluente e compara os dados obtidos com aqueles fornecidos pela literatura internacional.

As concentrações de ST, DBO, alcalinidade, NT, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-NO_2^- , NT, $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, Cl⁻, K, Na e B, encontram-se dentro da faixa normal mundial para este tipo de água residuária. Os valores de DQO, DOC, CT e RAS, estão acima da média, e as concentrações de S-SO_4^{2-} , F⁻, Ca, Mg, Mn, Cu, Fe, Zn, pH e CE estão abaixo do intervalo normal observados para os efluentes de esgoto submetidos a tratamentos secundários (FONSECA 2005).

A principal limitação, verificada em todos os experimentos, é sem dúvida os altos teores de Na presente no efluente (Tabela 1).

Os resultados obtidos no experimento com o cultivo de café, cultura perene, mostraram um aumento nas concentrações de Na ao longo de todo o perfil de solo quando comparado com o solo da área não irrigada, em razão dos altos teores deste elemento no efluente. Ao longo do tempo o percentual de sódio trocável nas primeiras camadas do solo diminuiu em razão, principalmente, da adição de Ca e Mg.

O percentual de sódio trocável, entretanto aumenta em profundidade pela migração do Na trocável do solo e o do Na do efluente. Além disso, a maior disponibilidade de Na leva a uma maior assimilação pelas plantas. A baixa razão C:N do efluente e a fertilização estimulam a atividade microbiana do solo intensificando a nitrificação e a mineralização dos componentes orgânicos do efluente e da matéria orgânica do solo, resultando num decréscimo da matéria orgânica do solo e na capacidade de troca de cátions.

Do ponto de vista nutricional, com o manejo de fertilização e irrigação convencionalmente utilizado, houve um fornecimento insuficiente e não balanceado de nutrientes para as plantas, principalmente P, N e S. O estudo realizado com a cultura do café colocou em evidência que o efluente pode efetivamente aumentar a disponibilidade de recursos hídricos para a irrigação, entretanto, torna-se necessário implementar estratégias de manejo compatíveis às características destas águas para reduzir os riscos de sodicidade do solo e manter adequadamente o balanço no nutricional para garantir a sustentabilidade do sistema solo-planta (HERPIN et al, 2007).

Efeitos semelhantes aos observados no experimento com café foram também verificados no solo cultivado com de milho e girassol (GLOAGUEN et al., 2007). Considerando a solução do solo, observou-se uma alcalinização e sodificação em razão das altas concentrações de bicarbonatos e sódio no efluente. O aumento do pH, da razão de adsorção de sódio e da condutividade elétrica ao longo do primeiro metro do perfil de solo foram atribuídos à lixiviação parcial em razão da irrigação.

O decréscimo na concentração de sódio na solução, observado ao longo do tempo, foi explicado pela lixiviação e também pela abertura do complexo de troca do solo para o sódio. A grande entrada de sódio no sistema teve pouca influência sobre a concentração de cálcio que permaneceu aproximadamente constante. Como as amostragens de solução do solo foram realizadas em diferentes fases de crescimento das culturas permitiu verificar uma diminuição acentuada na concentração de nitrato pela absorção das plantas em determinada época, sobretudo nas camadas mais superficiais do solo.

Entretanto, também foi observada uma redução da concentração de nitrato no primeiro metro do perfil de solo relacionada à estação chuvosa (GLOAGUEN et al., 2007). No que diz respeito à manutenção da qualidade física dos solos irrigados e cultivados com milho e girassol, verificou-se que a irrigação com efluente promoveu, em razão das altas concentrações de Na, um efeito de dispersão de argilas dos solos e de redução da porosidade, acarretando diminuição da condutividade hidráulica (GONÇALVES et al., 2007).

UMA REFLEXÃO SOBRE A QUALIDADE E USO DE ESGOTO TRATADO POR COMMENTS ON THE QUALITY AND USE OF WASTEWATER TREATED

Entretanto, vale acrescentar que este efeito também foi observado para a área irrigada com água do município, rica em sódio, o que equivale dizer que a qualidade da água de irrigação, mesmo as naturais, sendo ricas em sais e sódio, podem trazer os mesmos inconvenientes para o solo e seu manejo.

O experimento com a pastagem não deixa dúvidas que o efluente pode substituir eficientemente a água de irrigação em sistema de produção de feno de capim-Bermuda Tifton 85, proporcionando benefícios econômicos e aumento de qualidade do capim (FONSECA, 2005; FONSECA et al., 2007). Verificou-se uma economia de 32 a 81% na dose de fertilização nitrogenada mineral sem prejuízos no conteúdo de nutrientes nas plantas e na fertilidade do solo. Entretanto, deve-se ressaltar que a magnitude de resposta do capim a irrigação com efluente e a economia de nitrogênio via fertilizante mineral é dependente da precipitação pluvial e da lâmina de irrigação empregada.

A diferença observada é explicada pela maior pluviosidade e, portanto menor irrigação no primeiro ano do experimento. Além disso, se os nutrientes presentes no efluente não forem computados no manejo da fertilização da pastagem, podem ocorrer incrementos no rendimento de massa seca e no acúmulo de elementos, inclusive de sódio, promovendo aumento de qualidade da forragem sem ocasionar efeitos deletérios no ambiente, indicando a importância da cultura nos sistemas irrigados com efluentes.

Neste experimento, embora não tenha sido observada alteração na porosidade do solo como verificado no caso do solo cultivado com milho e girassol, também fica claro, pelo aumento de argila dispersa em água, que o elevado aporte de sódio pode comprometer a qualidade física e podendo ser necessário o uso de um condicionador de solo, como o gesso. Assim como nos experimentos anteriores, aqui também foi observada a diminuição dos teores de matéria orgânica no solo.

Os metais pesados analisados no efluente, na solução, no solo e nas águas subterrâneas não se constituíram em problema em nenhum dos experimentos realizados em Lins, o que era esperado considerando os baixos teores destes elementos no efluente (Tabela 1). Entretanto, o monitoramento continua sendo realizado uma vez que estes elementos podem se acumular no solo e plantas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O tratamento de esgoto constituído por lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas não produz efluente final em condições de atendimento aos padrões de qualidade do corpo receptor em termos de fósforo total e clorofila-a, face às reais condições de diluição que se verificam em nossa região. Embora se tenha

demonstrado ser possível reduzir significativamente a concentração destes por tratamento físico-químico com coagulante, os custos operacionais são elevados e o uso agrônomico pode ser uma forma de se eliminar essa necessidade.

O enquadramento do nitrogênio amoniacal aos padrões do corpo receptor exigirá certamente áreas bem maiores daquelas ocupadas por lagoas facultativas que visam apenas à remoção de DBO. Tanto para a descarga em corpo d'água quanto para uso agrônomico, a cloração do efluente da lagoa facultativa demonstrou-se capaz de atender às respectivas exigências de qualidade em termos de padrões para coliformes, sem formação de sub-produtos tóxicos.

A incorporação de altas concentrações de sódio no solo talvez seja o maior problema provocado pelo uso de efluentes na agricultura (irrigação). O fato de ter a incorporação de sódio alterado certos atributos físicos do solo (por exemplo, diminuição da porosidade) nos ensaios com milho e girassol e não ter provocado o mesmo efeito no solo cultivado com capim Tifton 85 parece indicar que a cultura poderia ter influência no impacto sofrido pelo solo irrigado com efluente.

Os metais pesados não colocam problemas ambientais no uso de efluentes na agricultura, desde que estes efluentes sejam originados de esgotos domésticos.

Finalmente pode-se dizer que do ponto de vista agrônomico e ambiental e desde que seja estabelecido um manejo adequado, os esgotos tratados constituem uma água residual que pode substituir eficientemente a água de irrigação, trazendo benefícios econômicos, aumentando a qualidade de certas culturas e exercendo efeitos positivos sobre a acidez do solo, atributo químico importante nos solos tropicais.

Sob a ótica do setor de saneamento, a viabilidade do uso agrônomico do efluente faz com que as necessidades de tratamento adicional para lançamento em corpo d'água natural sejam minimizadas ou restritas aos períodos sem irrigação, oferecendo alternativa técnica e economicamente atrativa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP, FINEP, CNPq e SABESP.

Tabela 1: resultados de análises (média de 24 amostras, coletadas mensalmente) da água potável e do efluente secundário de esgoto tratado (ESET), que foram empregados na irrigação do experimento e comparação dos valores médios dos constituintes do ESET com médias apresentadas em revisões bibliográficas internacionais (FONSECA, 2005).

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA AGRICULTURA: CASO DE LINS/SP
BY STABILIZATION PONDS IN AGRICULTURE : CASE OF LINS/SP

Constituinte	Água	ESET mg L ⁻¹	Concentração normal (1)	Referência
Sólidos totais (ST)	—	571 ± 53	400 a 1200	Feigin et al. (1991)
DBO (2)	—	78 ± 47	10 a 80	Feigin et al. (1991)
DQO (3)	—	181 ± 92	30 a 160	Feigin et al. (1991)
CT (4)	—	49,4 ± 8,0	10 a 30	Bouwer & Chaney (1974)
COD (5)	3,12 ± 1,72	65,3 ± 57,4	30 a 60	Bouwer & Chaney (1974)
NT (6)	—	8,9 ± 1,6	1-23	Feigin et al. (1978)
Alcalinidade como HCO ₃ ⁻	224,50 ± 41,88	301 ± 61	200 a 700	Feigin et al. (1991)
N-NH ₄ ⁺	0,04 ± 0,03	22,4 ± 3,5	1 a 40	Feigin et al. (1991)
N-NO ₃ ⁻	0,18 ± 0,06	0,61 ± 0,53	0-10	Feigin et al. (1991)
N-NO ₂ ⁻	0,02 ± 0,07	0,02 ± 0,08	0,02 (8)	Pescod (1992)
N-total (7)	0,24 ± 0,16	31,85 ± 5,75	10 a 50	Feigin et al. (1991)
P-H ₂ PO ₄ ⁻	< LD (9)	4,30 ± 1,11	4,2 a 9,7	Bouwer & Chaney (1974)
S-SO ₄ ²⁻	4,55 ± 0,99	4,93 ± 1,36	62 (8)	Asano & Pettygrove (1987)
Cl ⁻	11,07 ± 7,07	59,07 ± 15,36	40 a 200	Feigin et al. (1991)
F ⁻	0,70 ± 0,14	0,48 ± 0,32	1,2 (8)	Pescod (1992)
Ca	0,83 ± 0,33	8,06 ± 1,07	20 a 120	Feigin et al. (1991)
Mg	0,17 ± 0,04	1,89 ± 0,46	10 a 50	Feigin et al. (1991)
K	0,92 ± 0,22	16,62 ± 1,81	10 a 40	Feigin et al. (1991)
Na	120,79 ± 36,93	145,79 ± 31,33	50 a 250	Feigin et al. (1991)
B	0,148 ± 0,045	0,170 ± 0,088	0 a 1	Feigin et al. (1991)
Al	0,040 ± 0,024	0,032 ± 0,023	—	—
Cd	< LD	< LD	< 0,002 (8)	Asano & Pettygrove (1987)
Cr	< LD	< LD	< 0,020 (8)	Asano & Pettygrove (1987)
Cu	0,001 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,040 (8)	Feigin et al. (1991)
Fe	< LD	0,082 ± 0,061	0,330 (8)	Pescod (1992)
Mn	0,002 ± 0,002	0,015 ± 0,006	0,200 a 0,700	Pescod (1992)
Ni	< LD	< LD	0,007 (8)	Feigin et al. (1991)
Pb	< LD	< LD	< 0,050 (8)	Asano & Pettygrove (1987)
Zn	< LD	0,015 ± 0,003	0,040 (8)	Feigin et al. (1991)
Ph	9,65 ± 0,26	7,51 ± 0,34	7,8 a 8,1	Feigin et al. (1991)
Relação DQO:DBO	—	2,73 ± 1,58	2,4 (8)	Pescod (1992)
Relação CT:NT	—	5,63 ± 0,54	5:1 (8)	Feigin et al. (1991)
Relação molar Ca:Mg	2,75 ± 1,47	2,70 ± 0,89	—	—
CE, em dS m ⁻¹	0,49 ± 0,11	0,86 ± 0,12	1,0 a 3,1	Pescod (1992)
RAS, em (mmol L ⁻¹) ^{1/2}	32,18 ± 10,11	11,94 ± 2,91	4,5 a 7,9	Feigin et al. (1991)

(1) Faixa de concentração considerada normal para os constituintes do ESET, de acordo com as referências apresentadas nesta tabela;

(2) DBO: demanda bioquímica de oxigênio;

(3) DQO: demanda química de oxigênio;

(4) CT: carbono total no material particulado;

(5) COD: carbono orgânico dissolvido;

(6) NT: nitrogênio total no material particulado;

(7) N-total: nitrogênio total presente no ESET → N-total = (NT + N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻ + N-NO₂⁻)

(8) Valor de referência, uma vez que este constituinte não tem sido rotineiramente analisado nas amostras de ESET;

(9) LD: limite de detecção, cujos valores foram: 25, 7, 3, 3, 18, 92 e 12 µg L⁻¹ para os elementos P, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb e Zn, respectivamente.

UMA REFLEXÃO SOBRE A QUALIDADE E USO DE ESGOTO TRATADO POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA AGRICULTURA: CASO DE LINS/SP
COMMENTS ON THE QUALITY AND USE OF WASTEWATER TREATED BY STABILIZATION PONDS IN AGRICULTURE : CASE OF LINS/SP

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 Ed. 1999. CD-Rom.
- ASANO, T., PETTYGROVE, G. S. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. **Calif. Agric.** v.40 (3/4), p. 15-18, 1987.
- BOUWER, H.; CHANEY, R. L. Land treatment of wastewater. **Adv. Agron.** v. 26, p. 133-176, 1974.
- COSSÍO, F. Y. **Lagunas de estabilización** – teoría, diseño, evaluación e mantenimiento, ETAPA. Cuenca/Ecuador, Junio de 1993.421p.
- FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS, T.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent-irrigated soils. **Soil Sci.** v. 125, p. 248-254, 1978.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J.; **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection.** Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- FONSECA, A. F. **Viabilidade agrônômico-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem.** 2005. 174p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.
- FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management.** v. 87, p. 328-336, 2007.
- GLOAGUEN, T. V.; FORTI, M. C.; LUCAS, Y.; MONTES, C. R.; GONÇALVES, R. A. B.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Soil solution chemistry of a Brazilian oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management.** v. 88, p. 119-131, 2007.
- GONÇALVES, R. A. B.; FOLEGATTI, M. V.; GLOAGUEN, T. V.; LIBARDI, P. L.; MONTES, C. R.; LUCAS, Y.; DIAS, C. T. S.; MELFI, A. J. Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. **Geoderma.** v. 139, p. 241-248, 2007.
- HERPIN, W.; GLOAGUEN, T. V.; FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; MENDONÇA, C. F.; PIVELI, R. P.; BREULMANN, G.; FORTI, M. C.; MELFI, A. J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation-A pilot field study in Brazil. **Agricultural water management.** v. 88, p. 1-20, 2007.
- IBRAHIM, L. **Caracterização física, química, mineralógica e morfológica de uma sequência de solo em Lins/SP.** 2002. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. **Irrigation and Drainage.** Paper # 47. FAO, Rome, 1992.
- PIVELI, R. P. **Controle de sistema de lagoas de estabilização, pós-tratamento por processo físico-químico, desinfecção e uso agrícola do efluente final.** 2006. 340p. Tese (Livre-Docência em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- SILVA, V. V.; OLIVEIRA, F. F.; GONÇALVES, R. F. Polimento do efluente final de um sistema australiano de lagoas de estabilização através do processo compacto físico-químico do tipo coagulação/floculação/decantação. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). João Pessoa, 2001.