Uma publicação da Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
// distribuição gratuita

sabesp

revista DAE

ESPECIAL

#180
Ano LX
Agosto 2009
ISSN 0101 - 6040

Carta
4112299/DR/SPM
SABESP
CORREIOS

3º WORKSHOP DE USO E REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

PARA A **MAIOR COMPANHIA** DE SANEAMENTO BÁSICO DA AMÉRICA LATINA, O **RESPEITO PELA VIDA** SEMPRE VEIO EM PRIMEIRO LUGAR.

SABESP. **Primeiro lugar no segmento de serviços públicos**, pela Revista Dinheiro - Edição Especial As Melhores da Dinheiro 2009.

sabesp

GOVERNO DE SÃO PAULO

revista DAE
UMA PUBLICAÇÃO DA
sabesp
Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

http://www.sabesp.com.br

Publicação
Superintendência de Comunicação
Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros
05429 000 - São Paulo - SP - Brasil
Tel (11) 3388 8276 / Fax (11) 3814 5716

Editor Chefe
Américo Sampaio

Conselho Editorial
Prof. Pedro Além Sobrinho (USP), Prof. Cleverson Vitório Andreoli (Cia. de Saneamento do Paraná – Sanepar), Prof. José Roberto Campos (USP), Prof. Dib Gebara (Unesp), Prof. Eduardo Pacheco Jordão (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Prof. Rafael Kospchitz Xavier Bastos (Universidade Federal de Viçosa), Prof. Wanderley S. Paganini (USP e representante da Sabesp), Profª Emilia Wanda Rutkowiski (Unicamp), Prof. Marcos Tadeu (USP e representante do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT). Coordenação de Américo Sampaio (Sabesp).

Jornalista Responsável
Sérgio Galli
Mtb: 13.054

Edição
Antonio Romane e Sérgio Galli

Fotos
Odair Alves Faria

Gráfica
XXXXX

Tiragem
4,5 mil exemplares

EDIÇÃO EXTRA
Agosto de 2009

Missão: A *Revista DAE* tem por objetivo a publicação de artigos técnicos e científicos originais nas áreas de saneamento e do meio ambiente.

Iniciou-se com o título *Boletim da Repartição de Águas e Esgotos* (RAE) em 1936, prosseguindo assim até 1952. Interrupção de 1944 a 1945 e em 1953. Passou a denominar-se *Boletim do Departamento de Águas e Esgotos* (DAE) em 1954. Passou a denominar-se *Revista do Departamento de Águas e Esgotos* de 1955 a 1959. De 1959 a 1971, passou a denominar-se *Revista D.A.E.* e, a partir de 1972, *Revista DAE*. Interrupção de 1993 a 2007.

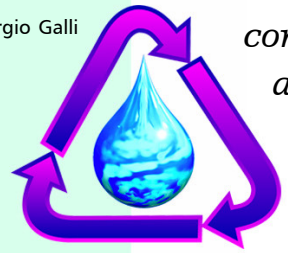
imprensa@revistadae.com.br

Avanços na pesquisa, na técnica e nas alternativas

EDITORIAL

É do beabá ambientalista: de toda a água que existe em nosso planeta, 97% é salgada; o que resta, está distribuído em geleiras, em lençóis subterrâneos profundos, na atmosfera, em lagos e rios – o que quer dizer que menos de 0,4% pode ser aproveitado para o consumo humano. Corolário: a água é um bem cada vez mais raro e mais caro. Aqui é exigida a intervenção da ciência e da técnica, que devem apresentar alternativas e soluções de uso e reuso de águas residuárias.

Neste sentido, muito se tem avançado, como demonstra o 3º workshop realizado em maio, em São Paulo. Reportagem nas páginas 8 e 9 traz um relato do workshop em que foram debatidos os usos e reusos de águas residuárias nas modalidades agrícola e florestal, industrial, urbano e predial e apresentados relatos (alguns dramáticos) de experiências internacionais, além de trabalhos e palestras que apontaram para a necessidade de regulamentação adequada e tributação favorável para disciplinar / fomentar o reuso. Uma outra reportagem procura dar uma visão ampla sobre como o tema é tratado na Sabesp, incluído um aspecto importante da "produção" numa estação de tratamento de esgotos: o fertilizante resultado do lodo.



Já os artigos técnicos abordam as várias possibilidades do reuso agrícola e industrial de efluentes e o uso racional da água. São artigos que demonstram avanço de pesquisa, mas, como sempre, em nosso setor, à rapidez da detecção das necessidades não corresponde uma agilidade na ação política para corrigi-las. Se em muitos dos nossos países desconsidera-se o preceito de que para cada dólar investido em saneamento básico economizam-se quatro dólares em medicina curativa, pode-se imaginar a dificuldade de aplicação de tantas e boas pesquisas geradas por gente tão dedicada.

Sabesp: reuso como solução ambiental, tecnológica e comercial

SUBPRODUTO PROVENIENTE DO PROCESSO DE TRATAMENTO DOS ESGOTOS COLETADOS, A ÁGUA DE REUSO SEGMENTO DO IGUALMENTE CRESCENTE MERCADO DE ABASTECIMENTO

A produção de água de reuso pode, em um primeiro momento ter surgido como uma alternativa de utilização para a água potável em utilizações comerciais e industriais. Contudo, muito rapidamente, o que era somente uma alternativa ambientalmente correta, mostrou-se uma solução economicamente viável e atrativa. Hoje, o reuso da água é um negócio, um segmento do igualmente crescente mercado de abastecimento e que desperta a atenção e o interesse de outros setores da economia e de toda a sociedade.

A água de reuso é, em verdade, um subproduto proveniente do processo de tratamento dos esgotos coletados. Após ser utilizada para o abastecimento, a água é encaminhada para o tratamento nas Estações de Tratamento de Esgotos, onde o efluente passa por um processo de filtragem e cloração. Com esta "reciclagem" é possível eliminar os poluentes e microorganismos transformando o efluente dos esgotos em água de reuso, 90% livre das impurezas. Para conferir qualidade e segurança a este produto, segue-se um rigoroso padrão de planejamento, monitoramento, controle e sinalização.

A Sabesp utiliza a água de reuso desde a década de 80 em suas próprias instalações na limpeza de equipamentos e na manutenção de suas áreas, como na lavagem de filtros das próprias estações de tratamento. Depois de utilizar este produto internamente e diante do excedente de produção e da potencialidade comercial do mesmo, a empresa estendeu esta alternativa para comercialização – incluindo o produto no pacote Sabesp Soluções Ambientais.

Consciência ambiental e garantia de suprimento são apenas dois dos atrativos que a água de reúso oferece para prefeituras, indústrias e empresas. Aliás, foi justamen-

Em primeiro plano, ETE Parque Novo Mundo, zona leste da capital paulista, margem direita do Rio Tietê. Ali são tratados, atualmente, 2,5 mil litros de esgotos por segundo.

te no ambiente empresarial, que o produto teve seu primeiro uso comercial.

Em 1997 a Coats Corrente, fabricante das Linhas Corrente empresa, formalizou o primeiro contrato de compra água de reuso da Sabesp para usar na lavagem e no tingimento das linhas. A água, um volume de 50 mil metros cúbicos/mês, proveniente da ETE Jesus Netto, chega até a empresa por bombeamento através de uma tubulação de ferro fundido de 900 metros de comprimento, com diâmetros de 150 a 200 milímetros.

Além da Coats, as construtoras Camargo Corrêa, VA Engenharia, DP Barros e Norte Sul também aderiram à utilização da água de reuso da Sabesp. Recentemente a Comgás por meio de suas contratadas para Perfuração Direcional também passaram a utilizar a água de reuso. Só para se ter uma idéia do potencial de utilização da água de reuso, a Schultz Empreiteira passou a utilizar, em 2004, o produto como insumo na composição do concreto.

As prefeituras de Diadema, São Caetano, Barueri, Carapicuíba, Santo André e a de São Paulo têm contratos com a Sabesp para a compra da água de reuso. A diferença, nestes casos, e que o transporte do produto se faz através de caminhões-pipa que buscam a água de reuso em uma Estação de Tratamento até seus mais variados destinos.

O uso é variado, desde a lavagem de ruas e veículos, rega de jardins públicos, limpeza de pátios, praças e prédios públicos, desobstrução de galerias de águas pluviais, enfim, aonde puder ser economizado um litro de água potável, a água de reuso entra com vantagens e economia.

Para atender a crescente demanda, resultado do aumento do interesse por esta fonte alternativa de água, as Estações de Tratamento de Esgotos da Sabesp passaram e continuam executando uma série de adequações que proporcionarão uma melhor regularidade no fornecimento do produto.

O QUE É REUSO DE ÁGUA? Reuso planejado da água é a utilização deste produto por uma ou mais vezes. A água é um produto que precisa ser cuidado e preservado a todo custo. Justamente por isso é preciso que formas planejadas de aproveitamento de água sejam desenvolvidas, sempre tendo em mente que a água potável deve ter seu uso sempre priorizado para fins de abastecimento humano.

Efluentes da lagoa de tratamento de Jales, SP

O reuso da água é uma dessas formas planejadas. A utilização de água de reuso faz parte da Estratégia Global para a Administração da Qualidade das Águas, proposta pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Mundial da Saúde. A água de reuso começou a ser percebida como produto quando do desenvolvimento da tecnologia de tratamento de esgotos e o aumento da consciência para a escassez dos recursos hídricos.

Água de Reuso é uma alternativa lógica e econômica na irrigação de jardins, lavagem de ruas e pátios, resfriamento de caldeiras, seja em indústrias, em condomínios, pelo comércio ou por prefeituras. Nestes casos o uso da água potável é complemente dispensável.

Somente na Sabesp, com o reuso de água nos processos internos, o volume de água economizado é da ordem de 325 litros por segundo o que equivale a dizer que elas deixam disponível água potável suficiente para abastecer permanentemente cerca de 60.000 residências.

O Reuso Planejado de água faz parte da Estratégia Global para a Administração da Qualidade da água proposta pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Mundial da Saúde. Nela se prevê o alcance simultâneo de três importantes elementos coincidentes com objetivos estratégicos da Sabesp: 1. Proteção da Saúde Pública, 2. Manutenção da Integridade dos Ecossistemas e 3. Uso Sustentado da água

Isto quer dizer que, para a Sabesp, a reutilização da água vai além do atendimento de demandas circunstanciais.

A reutilização da água apresenta atrativos como menor custo, confiabilidade tecnológica e suprimento garantido. No aspecto qualidade, os riscos inerentes são gerenciados com adoção de medidas de planejamento, monitoramento, controle e sinalização adequados.

O reuso planejado de água é um bom negócio. A Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, por exemplo, com capacidade atual de 9,5 mil litros de esgotos por segundo, com remoção de 95% da carga poluidora – lança a maior parte do esgoto tratado no rio Tietê. Todavia, representa um recurso de grande valor: a partir de soluções tecnológicas apropriadas, toda

essa água deve ser fornecida para usos específicos, poupando-se grandes volumes de água potável.

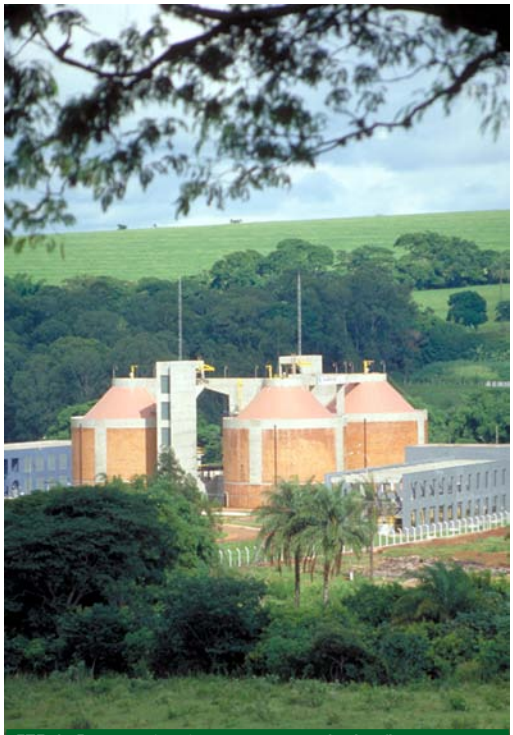
Um acordo feito com a Prefeitura do Município de Barueri, em junho de 2002, autoriza a criação de um pólo industrial, onde a água de reuso será destinada às indústrias do núcleo industrial a ser instalado próximo à Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, podendo ser utilizada para limpeza de pátios, veículos, e resfriamento de caldeiras e no próprio processo industrial.

Estudos preliminares indicam que o efluente tratado na estação Barueri para reuso planejado industrial tem um custo significativamente menor que a média tarifária industrial praticada atualmente na Região Metropolitana de São Paulo. O reuso planejado da água representa, ainda, a possibilidade de ganhos pela economia de investimentos e pela comercialização de efluentes hoje descartados.

Reuso na Sabesp hoje. Todos os especialistas ouvidos pela Revista DAE concordam que estamos vivendo um momento muito promissor para o mercado de água de reuso. Segundo ele as questões ambientais entram de vez em pauta e a direção da Sabesp está empenhada em ampliar o fornecimento de água de reúso. Claro, ainda há barreiras a serem transpostas, como a segurança de uma legislação para controle de qualidade e tipos de usos, mas apesar das dificuldades os representantes comerciais estão apontando o grande interesse pelo produto.

Uma das vantagens da empresa é que o sistema de produção do produto não passou por grandes alterações, basicamente ainda é o mesmo (filtrações e desinfecções) uma vez que a qualidade a ser produzida é que determina o tipo de processo necessário. Para atender a Santher, por exemplo, foi instalado um processo convencional de tratamento de água (processo físico-químico) uma vez que era necessário produzir uma água de reuso com melhor qualidade do que a até então produzida.

Mas o que mais chama a atenção é o aumento da procura por clientes comerciais e até mesmo por condomínios, que já começam associar a redução do custo com a imagem ambiental. Talvez seja ainda cedo para pensar em uma rede de abastecimento para água de reuso, mas a idéia já não é algo tão impossível como há alguns anos.


ETE de Franca, pioneira no uso agrícola de efluentes

A estratégia para atendimento da demanda que a Sabesp utiliza é por meio de "Âncoras", ou seja, a condução de projetos específicos para grandes clientes e assim criar uma malha de distribuição que possa atender às demandas menores. Cada projeto, dessa forma, é individualizado e customizado de acordo com as necessidades do cliente adequando as estruturas de produção ou mesmo implementando novas plantas de produção.

Um dos maiores clientes da empresa é a Prefeitura de São Paulo, que se destaca não só com pela exigência de utilização da água de reuso para lavagens em geral, como na parceria de projeto de expansão a partir da ETE Parque Novo Mundo que pretende criar uma linha até a região central da cidade, ampliando ainda mais seu uso, bem como permitindo que clientes de menor porte possam se interligar a essa rede e receber a água de reuso em suas instalações.

Essa rede está estimada em 12km com diâmetro de 300 mm e capacidade 50L/s, mas ainda sem previsão para implantação.

Seja como for, o que os técnicos da empresa comemoram é que a imagem da água de reuso se firmou como positiva, que começa a ser apontada como diferencial. Hoje já não são raros lançamentos imobiliários, por exemplo, onde a existência de sistema de reúso é um grande diferencial. Ainda estamos começando mas, o mais importante é que hoje reconhecidamente é um processo sem volta, e com grandes perspectivas de crescimento, seja na área urbana ou agrícola.

O maior projeto da Sabesp em andamento é o fornecimento para o Polo Petroquímico Capuava, com a Quattor a frente das negociações que, inclçusive, já relaciona o diferencial a partir da utilização da água de reúso, como uma questão ambientalmente adequada para sustentabilidade. Será, em verdade, um dos maiores projetos do mundo com a perspectiva de atender até 1.000L/s.

Um cliente que a Sabesp condidera um verdadeiro "case" de negociação e utilização da água de reuso é a Santher, empresa fabricante de papéis e celolose que contrata, a cada mês, algo em torno de 60.000 m³ de água de reuso.

Segundo os técnicos da Sabesp, o produto é utilizado na produção de papéis especiais de baixa gramatura para revestimentos, laminação, impressão, *fast food* e papel tissue de baixa gramatura para higiênicos e guardanapos, mas o que mais se destaca é o intenso acompanhamento dos parâmetros de qualidade da água.

"A rede de 300 mm sai da ETE Parque Novo Mundo e percorre uma extensão de aproximadamente 3 km até abastecer os reservatórios da Santher. Hoje esta linha de água de reuso, já conta com o equipamento de Telemedição que permite acompamento remoto e "*full time*" das vazões e consumo", relata Sérgio Paulo Ramires Júnior, da Divisão de Grandes Consumidores Leste da Sabesp.

O processo para que a Santher viesse a se tornar cliente da Sabesp na compra de água de reuso foi extremamente detalhado, pois envolveu uma série de áreas de os procedimentos comerciais, assegurando fornecimento e regularidade, aos parâmetros técnicos necessários para que a empresa pudesse utilizar plenamente o produto em seus processos.

Para o prof. Dr. José Carlos Mierzwa, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o mercado de água de reuso está em crescimento, mas ainda se ressente de um sistema mais adequado de distribuição do produto. "Vários pólos indus- triais, como o de Capuava e Valinhos, teriam demanda pra água de reuso, mas tem o problema do custo para adquirir essa água. Temos discutido muito o reuso de água no Pólo Petroquímico de Capuava, praticamente desde 2000, mas o grande problema continua sendo o fator custo", explica.

"Várias iniciativas da indústria tem caminhado por processos que prevêem a implantação por conta própria programas de redução de consumo e reuso da água. Enfim, é um mercado aberto e pronto para ser aproveitado. Nós temos tecnologia adequada para obter qualquer qualidade de água que necessite. Temos possibilidade de fornecer uma água com um padrão mínimo que atenda a maioria das indústrias, elas por sua vez podem fazer algum tipo de tratamento adicional – conforme necessidades específicas – portanto o que tem que ser equacionado é a questão da distribuição e, principalmente o custo disso", mostra.

O professor fala que mesmo clientes residenciais estão cada vez mais interessados no produto. "Existem casos de condomínios que já estão criando programas de reuso. Algumas edificações grandes já estão sendo projetados com o sistema de reaproveitamento de água. Tem condomínio em São Paulo, onde o esgoto é tratado e transformado em água de reuso, inclusive com duas redes de distribuição interna, uma para água potável e o outra para água de reuso. Essas são iniciativas pequenas, porém hoje isso já é diferencial de procura. Os problemas de utilizar água de reuso em edificação é o projeto, pois se o tratamento não for bem feito a água pode apresentar cheiro, coloração, além de causar danos as tubulações, as louças sanitárias e até mesmo as pessoas".

Um outro aspecto que precisa ser equacionado seria o da regulamentação para o setor. O professor lembra que existe uma regulamentação nacional para o setor de reuso, que é do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a resolução 54 de 2005. Mas, segundo ele, é uma resolução muito vaga, não traz de efetivo. "Existem algumas leis municipais, não só no município de São Paulo, mas também no Rio de Janeiro, Curitiba, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, que coloca o conceito da obrigatoriedade do reuso, mas é especifica, pois não traz os critérios e as diretrizes para a implantação do sistema de reuso".

A EXPERIÊNCIA NA AGRICULTURA. Em Lins, existe outro projeto com bons resultados: a utilização dos efluentes das lagoas de estabilização em processos da agricultura. O projeto teve seu início em 2001 tendo como base o potencial fertilizante (em especial as concentrações de nitrogênio e fósforo) do efluente.

O efluente líquido tratado é levado, por gravidade, da Esta-

Caminhão-pipa de água de reuso na lavação do Memorial da América Latina

ção de Tratamento de Esgoto para as glebas irrigadas no campo experimental - uma área organizada em convênio com a Universidade de São Paulo e com a Esalq.

Luiz Paulo de Almeida Neto, superintendente da Unidade de Negócio Baixo Tietê e Grande, da Sabesp, explica que muitos países utilizam, com sucesso, esta prática. "Israel, Egito, Austrália, Arábia Saudita, Tunísia, Chile e em diversos locais nos Estados Unidos essa prática é uma solução que vem apresentando excelentes resultados".

"Em Lins já fizemos oito estudos completos e outros quatro estão em andamento, sempre utilizando o efluente nos campos de cana de açúcar, café, capim tifton, milho e girassol. Vale ressaltar que, mais do que a diversidade das culturas, o que temos tentado realizar são testes levando-se em consideração uma vantagem competitiva para a região. A cana, por exemplo, é uma das matérias-primas que tem tido mais atenção por causa da matriz energética que a tem como base. O capim tifton também, já que além do execelente resultado na produção, volta-se para a vocação agropecuária de Lins, tornando o estudo um verdadeiro balizador para a economia reginal". diz Luiz Paulo.

A utilização do efluente traz benefícios agrônomos ao suprir a demanda hídrica das plantas sem consumo de água natural ou tratada, além de contribuir com nutrientes, sobretudo nitrogênio e fósforo, mas um dos pontos que mais tem chamado a atenção é o benefício ambiental, pois nos campos teste se verificou a redução da descarga de esgotos tratados em corpos d´água.

"Tanto do ponto de vista agronômico e ambiental os efluentes constituem uma água residuária 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, desde que seja estabelecido evidentemente um manejo adequado. Sob ótica do setor de saneamento, a viabilidade do uso agronômico 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".

A pergunta final, necessária, seria sobre a viabilidade comercial dos produtos gerados nessas culturas. A resposta, de todos os técnicos, é unânime: não há risco para a população; os efluentes são desinfetados e os organismos patogênicos são eliminados, o que determina total segurança. Para Luiz Paulo as culturas irrigadas com o efluente podem ser uma excelente alternativa econômica e comercialmente atrativa, em especial para os produtos que sejam processadas industrialmente, o que, de forma definitiva, eliminaria qualquer risco à saúde.

"É muito importante destacar que a utilização de efluentes tratados em agricultura geram um enorme ganho ambiental. É sabido que os efluentes mesmo tratados contém quantidades de nitrogênio e fósforo que, lançados em mananciais, podem contribuir com o processo de eutrofização (excesso de nutrientes nas águas provocando excesso de algas e alteração da qualidade). Portanto, utilizá-los em agricultura, além de melhorar a produtividade das culturas, melhora a qualidade dos mananciais", explica o superintendente. "Só para ter uma idéia do campo de utilização do reuso de efluentes de lagoas de estabilização, somente nesta Unidade de Negócio do Baixo Tietê e Grande temos 100 estações em operação e mais nove que estarão prontas até o final deste ano. Isto em 83 municípios desta região".

ETE Barueri, região oeste da Região Metropolitana de São Paulo, onde vivem perto de 20 milhões de pessoas em 39 municípios. A Sabesp atua em 30 destes municípios, atingindo 84 % de coleta dos esgotos e tratamento de 69 %.
A Sabesp atua em 366 dos 645 municípios paulistas, com 80% de coleta de esgotos e 74% de tratamento. Uma marca muito importante: 112 desses municípios atingiram a universalização do saneamento.

Cana irrigada com efluente do esgoto doméstico teve maior produtividade

Antonio Carlos Quinto / Agência USP

Experimentos realizados numa área de cerca de 6 mil metros quadrados em Lins, interior de São Paulo, mostraram a viabilidade de utilização de efluentes de esgoto doméstico na irrigação de uma cultura experimental de cana-de-açúcar. "O efluente foi retirado da estação de tratamento de esgoto da cidade. A irrigação com o líquido propiciou uma melhor produtividade da cultura, em relação ao manejo tradicional em que normalmente a plantação é adubada. A produção foi superior em cerca de 50%", estima o engenheiro agrônomo Rafael Marques Pereira Leal, aluno do programa de doutorado do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da USP.

As pesquisas tiveram início em 2005 quando uma equipe coordenada pelos professores Adolpho José Melfi (Esalq) e pela professora Célia Regina Montes (Cena), realizou o plantio da cana e passou a irrigar a cultura com efluente de esgoto tratado. Os estudos realizados em Lins integram um projeto temático da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp). Além de Leal, que realizou seu mestrado sobre o tema, as pesquisas fizeram parte do programa de doutorado da engenheira agrônoma Lilian Pittol Firme.

Segundo Leal, o efluente de esgoto doméstico possui pouca contaminação de metais pesados. "No final do experimento é que constatamos um alto teor de sódio no efluente. Esses teores tendem a aumentar também no solo e, caso não seja manejado, podem ocasionar prejuízos ao solo e à planta.", lembra. "Apesar de propiciar maior produtividade em relação ao cultivo tradicional, a irrigação da cana-de-açúcar com efluente requer cuidados e monitoramentos constantes", recomenda o engenheiro.

Lagoa de tratamento em Lins

Filtros de areia. A área em que foram realizados os testes fica próxima à estação de tratamento de esgoto daquela cidade. O efluente foi bombeado à plantação após passar por um filtro de areia que reteve algumas partículas em suspensão que poderiam entupir o sistema de irrigação.

No período de monitoramento, os especialistas instalaram aparelhos chamados tensiômetros. "Esses equipamentos serviram para monitorar a umidade do solo. Ou seja, de acordo com a quantidade de água necessitada pela planta é que era feita a irrigação", descreve Leal. No entanto, o engenheiro recomenda que este é um dos métodos que podem ser usados para a aplicação do efluente. "Uma outra forma que pode ser adotada é monitorando os nutrientes que chegam às plantas. Alguns deles em excesso podem prejudicar toda uma cultura."

O efluente utilizado na irrigação continha além de água, nitrogênio, fósforo e potássio que são nutrientes importantes para a cultura. Normalmente, esse líquido é lançado em cursos d´água, o que pode ser danoso ao meio ambiente. Leal lembra que em outros países, principalmente os que possuem climas áridos, como por exemplo a Austrália e Israel, é comum a utilização de efluentes de esgoto na irrigação de diversas culturas. Mas em relação à cana-de-açucar, ele não tem informação de experimentos semelhantes.

A colheita da cana irrigada com o efluente proveniente do esgoto foi realizada mais de uma ano depois. "Usamos a cultura da cana denominada 'cana de ano e meio'. Apesar de o tempo de colheita ter sido o mesmo, observamos que a produtividade foi maior em cerca de 50%", conta.

De acordo com Leal, ainda serão necessários estudos que analisem a viabilidade econômica da aplicação de efluentes na irrigação da cana-de-açúcar. "Principalmente porque em alguns locais, com a impossibilidade de canalização do efluente, teríamos custos com o transporte do líquido."

Os resultados das pesquisas realizadas na cidade de Lins acabam de ser publicados na revista *Scientia Agricola* (volume 66, número 2, pp 242-249).

www4.usp.br/index.php/meio-ambiente

Potencial de uso e reuso de água no Brasil e experiências estrangeiras

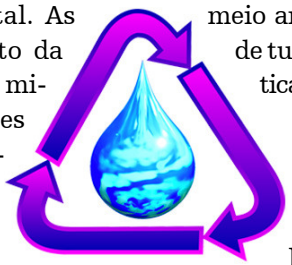
WORKSHOP REUNIU EM SÃO PAULO VÁRIOS PAÍSES E ENRIQUECEU O DEBATE SOBRE O ASSUNTO ATRAVÉS DE TROCA DE EXPERIÊNCIAS

A crise da água, vivenciada por vários países, em diferentes regiões do globo e provocada, não somente, pela escassez deste precioso recurso natural, face à demanda cada vez maior, mas também pela gestão inadequada, que vem degradando importantes mananciais, tem levado organismos governamentais e setores da sociedade civil a procurar, de forma cada vez mais intensa, fontes alternativas para substituir seu uso em atividades que prescindem de água de boa qualidade, aumentando sua oferta para setores mais nobres, onde seu uso torna-se obrigatório.

O uso de águas servidas, prática corrente em diversos países, não se encontra ainda consolidado no Brasil, embora seja uma realidade em muitas regiões, onde a escassez de água é sentida. Uma das razões para este fato é a ausência de uma regulamentação abrangente, normalizando o reuso nas atividades urbanas, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e na aquicultura. Para analisar esta realidade, cerca de 250 técnicos, pesquisadores nacionais e estrangeiros e representantes do setor produtivo se reuniram em maio deste ano, em São Paulo, no 3º Workshop Uso e Reuso de Águas Residuárias.

O evento, realizado pelo Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, Academia Brasileira de Ciências – Regional São Paulo - e Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da USP, ocorreu no auditório da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAU/USP, no Campus Universitário de São Paulo da USP, nos dias 13 e 14 de maio, teve como objetivo principal reunir a academia, o setor produtivo e órgãos ambientais para uma reflexão e discussão sobre a preservação dos recursos hídricos e a utilização sustentável das águas residuárias. Teve o apoio financeiro da Fapesp, da Capes, da Petrobrás e da Sabesp, além dos apoios institucionais da ESALQ/USP e Cena/USP.

Foram dois dias de palestras, mesas redondas e apresentação de trabalhos que permitiram aos participantes refletir sobre importantes questões relacionadas ao uso de águas residuárias nas modalidades agrícola e florestal, industrial, urbano e predial, sob a visão dos vários segmentos da sociedade representados pelos meios empresarial, acadêmico e governamental. As conferências, ponto alto da programação do evento, ministradas por palestrantes reconhecidos na comunidade científica na- cional e internacional e no meio empresarial, trouxeram informações importantes sobre



(I) o pensamento da Organização Mundial de Saúde (OMS) a respeito da prática do reuso na agricultura e aquacultura, expressado por seu representante, Dr. Robert Bos e apresentado na terceira edição do "*WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture*",da OMS;

(II) a importância da percepção e aceitação do público para tornar sustentável a prática do reuso em diferentes atividades, apresentada pelo doutor Wade Miller, Diretor Executivo da WateReuse Association, USA;

(III) o maior projeto de irrigação do mundo, realizado no "Vale de Tula", na Cidade do México, apresentado pela professora Dra Blanca Jimenez Cisneros da Universidad Nacional Autônoma do México;

(IV) a inserção do reuso na política nacional de recursos hídricos", apresentado pelo doutor Devanir Garcia dos Santos, gerente de Conservação de Água e Solo da Superintendência de Usos Múltiplos da ANA, que abordou a situação legal do reuso na área agrícola, onde uma resolução específica vem sendo discutida, esperando-se que ela contemple todos os aspectos necessários de segurança a saúde humana e meio ambiente, mas que acima de tudo estimule o uso da prática;

(V) a visão da indústria sobre o reuso pela doutora Anícia A. B. Pio, representante da Fiesp, relatando a situação atual de adoção das práticas de reúso de água pelo setor industrial e o papel da Fiesp em conjunto com parceiros estratégicos, para a consolidação dessa prática. Foi apresentado também um estudo de caso, pelo senhor. Pedro Wilson Stefanini, sobre o programa de redução de consumo de água da empresa Lwarcel Celulose em seus processos industriais;

(VI) a recarga de aqüíferos com águas residuárias apresentada pelo professor-doutor Robert Arnold, da University of Arizona (Tucson, USA), que discutiu sobretudo os

aspectos sanitários do reuso e os problemas atuais de contaminações por fármacos;

(vii) os problemas e soluções encontrados no Japão, apresentados pelo doutor Nagaharu Okuno, da University of Shiga Prefecture, através de duas experiências importantes nas cidades de Fukuoka e Tóquio, com uso de águas residuárias em residências e edifícios não residenciais (escritórios, administrativos, hotéis, etc.).

Após cada conferência, foi aberto um espaço para debates e durante o evento os palestrantes ficaram a disposição para responder a outros questionamentos ou discutir temas específicos abordados. A troca de experiências deixou bastante claro que o reuso de água surge como um instrumento adicional para a gestão dos recursos hídricos, visando à redução da pressão sobre os mananciais de abastecimento, liberando as águas de melhor qualidade para os fins mais nobres, e trazendo uma série de benefícios específicos aos usuários, tais como o aumento de produtividade agrícola, a redução de custos com a compra de água e a preservação dos aquíferos subterrâneos.

As mesas redondas, discutindo dois temas de fundamental importância para o reuso no Brasil, "Situação atual do reuso no Brasil" e "Legislação e Normalização do reuso", evidenciaram, por meio dos debates entre os componentes das mesas e o público presente, a preocupação e o engajamento dos participantes com o tema, sobretudo no que se refere à legislação e normalização da prática do reuso no Brasil. Para a primeira mesa redonda, sob a mediação da professora-doutora Maria de Lourdes Florêncio dos Santos (Universidade Federal de Pernambuco), foram convidados palestrantes do setor acadêmico que descreveram o desenvolvimento das pesquisas sobre reuso realizadas no Brasil, nos diversos setores. O professor-doutor Ivanildo Hespanhol, diretor do CIRRA/Escola Politécnica/USP e professor-doutor Asher Kiperstok, Universidade Federal da Bahia, enfocaram a situação do reuso urbano e industrial no País. O professor-doutor Ricardo Franci Gonçalves (Universidade Federal do Espírito Santo) tratou do reuso predial, e a situação atual do reuso agrícola e florestal foi abordada pelo professor-doutor José Marques Junior, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/Jaboticabal.

Da segunda mesa redonda sobre "legislação e normalização do reuso", mediada pelo professor-doutor Adolpho José Melfi, USP, participaram os palestrantes brasileiros doutor Regis Nieto (Cetes), sra.Teresa (C. E. Oliveira - CNRH-CRH-DF), doutor Álvaro Almeida (ABNT) e engenheiro Américo Sampaio (Sabesp), e o doutor Wade Miller (WateReuse Association), para trazer informações sobre a legislação adotada nos EUA. Ficou evidente que a comunidade aprova esta prática desde que realizada com responsabilidade e, neste caso, ressalta-se a importância da regulamentação e aplicação de uma política de boas práticas para as diferentes modalidades de reuso que foram temas deste workshop. Considera, igualmente, que os governos estaduais e federal devem iniciar, imediatamente, processos de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reuso, tanto em relação aos aspectos associados diretamente ao uso de efluentes, como aos planos estaduais ou nacionais de recursos hídricos. Linhas de responsabilidade e princípios de alocação de custos devem ser estabelecidas entre os diversos setores envolvidos, ou seja, empresas responsáveis pela coleta e tratamento de esgotos, os usuários que se beneficiarão dos sistemas de reuso, e o Estado, ao qual compete o suprimento adequado de água, a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Em adição, e para assegurar a sustentabilidade, deve ser dada atenção adequada aos aspectos organizacionais, institucionais e socioculturais do reuso.

Da esquerda para a direita; Américo de Oliveira Sampaio, gerente do Departamento de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da Sabesp; prof.dr Sérgio Salles Filho, Departamento de Políticas Cientifica e Tecnológica da UNICAMP; prof. dr. Adolpho José Melfi Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / NUPEGEL/USP e diretor do Centro Brasileiro de Estudos da América Latina e representante da Fapesp; dr. Ricardo Toledo Piza, secretário Adjunto da Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo; prof. dr. César Ades, Diretor do Instituto de Estudos Avançados da USP e profa. dra. Célia Regina Montes, Centro de Energia Nuclear na Agricultura/ NUPEGEL/USP.

Aporte de carbono e nitrogênio e atividade microbiana de solo sob pastagem irrigada com esgoto tratado

CARBON AND NITROGEN INPUT AND SOIL MICROBIAL ACTIVITY IN PASTURE IRRIGATED WITH SEWAGE TREATED EFFLUENT

Alessandra Monteiro de Paula[1]
Sandra Furlan Nogueira[2]
Adriel Ferreira da Fonseca[3]
Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso[4]
Adolpho José Melfi[5]

[1]Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Pós-doutoranda da ESALQ/USP
[2]Dr. em Ciências, Pesquisadora Embrapa Monitoramento por Satélite (CNPM)
[3]Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Professor Adjunto da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) – Depto de Ciência do Solo e Eng. Agrícola (DESOLO)
[4]Dr. em Patologias de Plantas, Professora Titular da ESALQ/USP
[5]Dr. em Geociências, Professor Titular da ESALQ/USP.

Endereço: Av. Pádua Dias, 11, Agronomia – 13418-900, Piracicaba, SP – Brasil – e-mail: ampaula@esalq.usp.br.

RESUMO

*A irrigação de áreas agrícolas com esgoto tratado é interessante e atrativa, quando realizada de forma controlada, e vem despertando o interesse da sociedade. Para avaliar o potencial dessa prática de reuso foi conduzido um experimento com lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado em área de pastagem de capim Tifton 85 (*Cynodon dactylon Pers. X C. niemfuensis *Vanderyst) no município de Lins (SP), ao lado da estação de tratamento de esgoto operada pela Sabesp, por 18 meses. A irrigação com esgoto tratado promoveu aumento do carbono microbiano e da relação C:N no período avaliado. Apesar de não ter sido observada variação significativa da respiração basal e qCO_2, foi verificada elevada atividade microbiana nas áreas irrigadas com esgoto tratado. A irrigação com até 100% de excesso de EET mostrou-se eficiente fornecer nutrientes, especialmente nitrogênio, considerando o período de 18 meses de irrigação.*

ABSTRACT

*Crop irrigation with treated sewage effluent (TSE) is an interesting and attractive practice, when applied in a controlled manner and recently is an issue that concerns the society. To evaluate the potential of this reuse practice a field experiment was designed with surplus irrigation of a Tifton 85 pasture (*Cynodon dactylon Pers. X C. niemfuensis *Vanderyst) with TSE. The experiment was installed next to the sewage treatment plant from Sabesp, at Lins district, SP, during 18 months. The TSE irrigation increased the soil microbial carbon and the soil C:N ratio, during the experimental period. Despite no statistical differences among the treatments was observed for the soil microbial activity attributes, like soil respiration and qCO_2, the effluent irrigation improved soil microbial activity. The use of up to 100% suplus TSE irrigation showed suitable to supply nutrients to the pasture, especially nitrogen, considering the 18 months of irrigation.*

Palavras-chave: aporte de nitrogênio no solo; atividade microbiana do solo; reuso de água; irrigação de pastagem
Keywords: Soil nitrogen input; soil microbial activity; water reuse; pasture irrigation

INTRODUÇÃO

A irrigação de áreas agrícolas com esgoto tratado é de interesse de diversos setores da sociedade, em especial, os setores agrícola e ambiental (da Fonseca *et al.*, 2007). O esgoto tratado além de ser uma fonte alternativa de água para irrigação, contém nutrientes e a sua utilização pode resultar em aporte de menor quantidade de fertilizantes minerais para alto rendimento das culturas, sobretudo, de capim-Tifton 85 (*Cynodon dactylon Pers. X C. niemfuensis* Vanderyst) (Fonseca *et al.*, 2007a).

O sistema de tratamento de esgoto doméstico com lagoas de estabilização é o mais utilizado nas cidades de pequeno e médio porte (Feigin *et al.*, 1991), sobretu-

do, no interior do Estado de São Paulo. Este sistema gera efluentes, ou seja, esgotos tratados, que apresentam sólidos inorgânicos e material orgânico em suspensão ou dissolvido, características de águas residuárias, segundo Pescod (1992).

Embora o processo de tratamento por lagoas de estabilização seja capaz de reduzir consideravelmente as concentrações de nutrientes e matéria orgânica, os efluentes de lagoas de estabilização normalmente apresentam concentrações, principalmente de fósforo e nitrogênio, acima do permitido pela legislação para a disposição em cursos d'água. Dessa forma, alternativas para a disposição dos efluentes são discutidas em diversos trabalhos (Fonseca *et al.*, 2007b; Hamilton *et al.*, 2007).

O reuso agrícola de esgotos tratados destaca-se como alternativa mais econômica para a disposição ambiental desse resíduo (Asano *et al.*, 1996), utilizado em diversos países (Filip et al., 1999). Contudo, a utilização intensiva e continuada de esgotos tratados na agricultura resulta em alta carga de sais minerais dissolvidos e sólidos suspensos, alterando as características químicas, físicas e biológicas do solo (Filip *et al.*, 1999; Balks *et al.*, 1998; Bond, 1998; Friedel *et al.*, 2000). As variações nas condições locais de solo, cobertura vegetal e composição do esgoto tratado são fatores determinantes da extensão dessas alterações, modificando (Mohammad & Mazahreh, 2003) ou não (Mancino & Pepper, 1992; Wang *et al.*, 2003) a qualidade do solo.

O aporte de material orgânico via irrigação com esgoto tratado pode promover alterações na atividade microbiana do solo (Ramirez-Fuentes *et al.*, 2002) ou manter a atividade microbiana semelhante a áreas não irrigadas com esgoto tratado (Wang *et al.*, 2003). Este fato está intimamente relacionado com a espécie vegetal irrigada e, no caso de gramíneas, o estímulo no crescimento promovido pela irrigação pode ser estendido ao ambiente rizosférico, influenciando a comunidade microbiana do solo. Um estímulo à atividade microbiana pode ser compreendido como um fenômeno positivo, dada a sua participação no processo de ciclagem de nutrientes. Porém, a intensa atividade dos microrganismos pode acarretar em liberação de nitrogênio em quantidades acima da demanda da cultura, resultando em lixiviação deste nutriente e conseqüente contaminação de águas subterrâneas.

A irrigação de culturas agrícolas com esgoto tratado possibilita dois grandes benefícios: (I) a reutilização dos nutrientes contidos no esgoto tratado pelas culturas; (II) a redução da descarga de esgotos tratados nos corpos d'água. A aplicação de lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado permite avaliar o máximo potencial da cultura, do solo, do lençol freático e da atmosfera para receber esses esgotos tratados, sem maiores conseqüências, com a principal finalidade de preservar os recursos hídricos. Dessa forma, viabilidade da disposição do esgoto tratado, na forma de irrigação, pode ser aumentada com a utilização de lâminas excedentes à demanda da cultura. Porém, há dúvidas se essa prática pode acarretar em prejuízos aos atributos químicos e microbiológicos do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de lâminas excedentes de esgoto tratado na irrigação de uma área de pastagem sobre o aporte de carbono e nitrogênio e seu efeito na atividade microbiana do solo, por um período de 18 meses de irrigação.

METODODOLOGIA

O experimento foi conduzido no município de Lins (SP), ao lado da estação municipal de tratamento de esgoto, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). O estudo foi iniciado dezembro de 2005 e teve duração de 18 meses. O capim-Bermuda Tifton 85 foi cultivado em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico de textura média-argilosa, caracterizado por apresentar baixa fertilidade natural (Tabela 1).

Tabela 1- Características químicas e físicas do solo por ocasião da instalação doexperimento. Média de 16 amostras

pH[1]	H + Al	Al	Ca	Mg	K	Na	CTC[3]	V[4]
				$mmol_c\ Kg^{-1}$				%
4,90	15,17	1,00	10,26	5,61	1,45	ND[2]	32,49	53,31

P	CT[5]	NT[6]	Areia	Silte	Argila		Classe text. [9]
					AT[7]	ADA[8]	
$mg\ Kg^{-1}$				$g\ Kg^{-1}$			
6,23	5,97	0,46	740	60	200	21	MAre

(1) pH em solução de CaCl2 0,01 mol L^{-1}

(2) ND: elemento químico não detectado

(3) CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0, $CTC = H + Al + Ca + Mg + K + Na$

(4) V: saturação por bases, $V = \frac{Ca + Mg\ K + Na}{CTC}$

(5) CT: carbono total

(6) NT: nitrogênio total

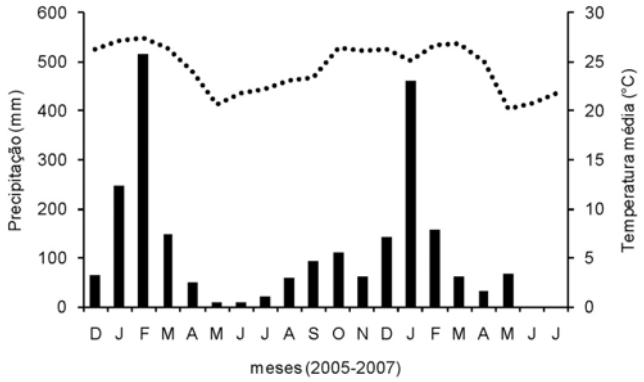
(7) AT: concentração total de argila

(8) ADA: concentração de argila dispersa em água

(9) Classe text.: classe textural (MAre: textura média-arenosa).

O clima da região caracteriza-se como mesotérmico de inverno seco, com temperaturas médias variando de 18 a 26°C e uma precipitação anual entre 1100 a 1300 mm (Ciiagro, 2007) (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação mensal (colunas, em mm) e temperatura média mensal (linha pontilhada, em °C) do município de Lins, SP, no período de dezembro de 2005 a julho de 2007.



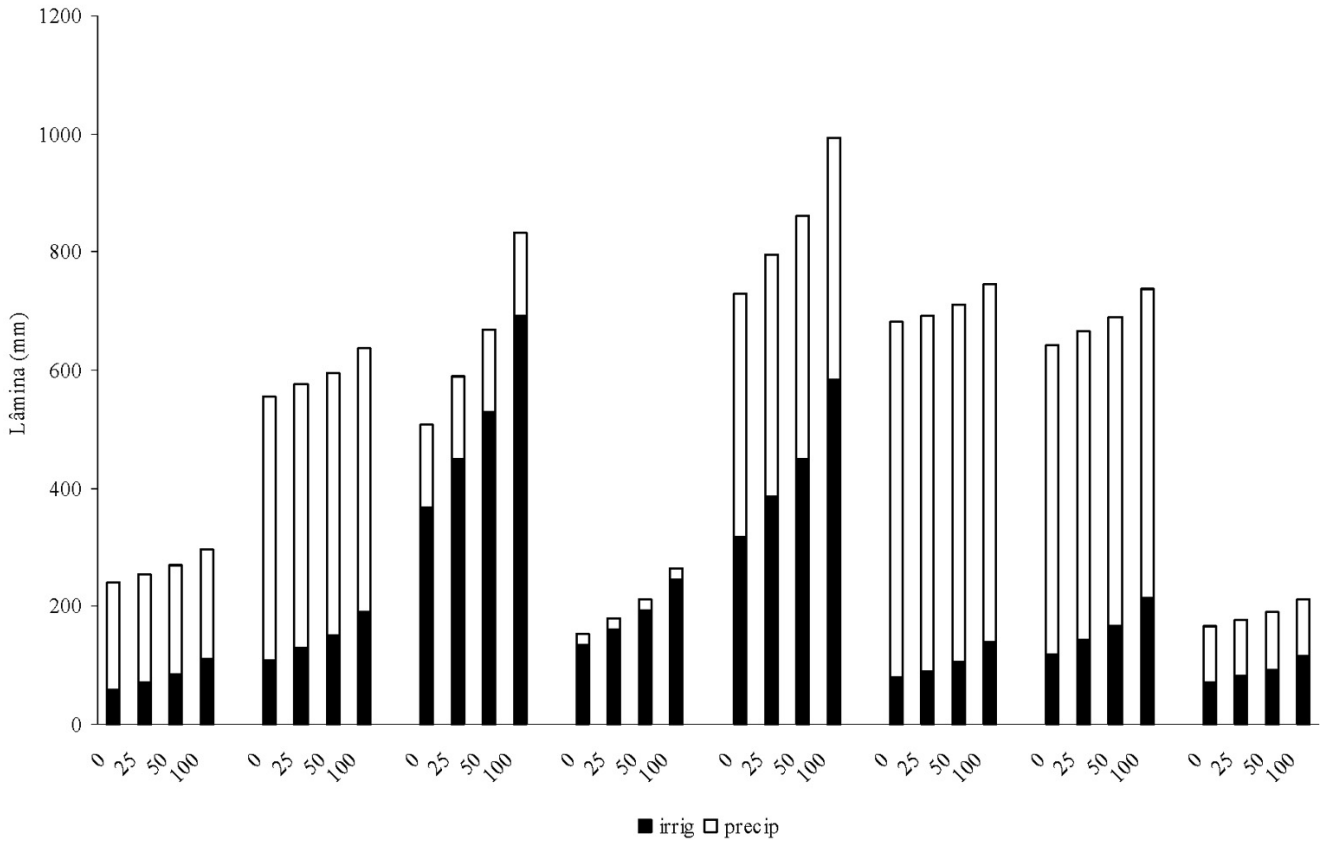
O delineamento experimental constituiu-se de faixas (quatro repetições) com quatro tratamentos, como segue: uma lâmina controle de irrigação com esgoto tratado (0% de excesso) e três lâminas excedentes (25, 50 e 100% de excesso) em relação à lâmina controle, baseando-se na capacidade de água disponível para a cultura. Cada parcela, com o tamanho de 7,0 x 12,0 m e bordadura de 1 m de cada lado, apresentando uma área útil de 50 m².

A irrigação foi realizada por aspersão convencional. O manejo da irrigação foi realizado com base na umidade crítica do solo na camada 0 a 60 cm, para as parcelas da lâmina controle. O potencial mátrico (ψ_m) foi monitorado diariamente, a partir de leituras de tensiômetros instalados no meio das camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, nas parcelas da lâmina controle. A capacidade de água disponível (CAD) para o capim-Bermuda Tifton 85 foi estimada na lâmina controle (0% de excesso) para a camada de 0-60 cm, a partir da diferença entre a umidade volumétrica em ψ_m -20 kPa e ψ_m -1500 kPa. O início da irrigação ocorria sempre que a umidade volumétrica do solo correspondia a 70% da CAD no tratamento controle.

O esgoto tratado utilizado na irrigação era proveniente da estação de tratamento de esgoto doméstico, localizada adjacente ao experimento e operada pela Sabesp, composta de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, com tempo de retenção hidráulica de aproximadamente 5 e 15 dias, respectivamente.

O capim foi cortado bimestralmente, a uma altura de aproximadamente 5,0 cm, e a biomassa produzida foi retirada da parcela com o auxílio de rastelos. A fertilização do experimento considerou um sistema de produção de forragem para fenação (Werner *et al.*, 1996), no qual foram aplicados fertilizante mineral fosfatado (superfosfato simples), à taxa de 100 kg ha^{-1},

Figura 2. Precipitação (precip) e lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado (irrig), aplicadas na área de pastagem de capim Tifton 85 (0, 25, 50 e 100% de excesso) por 18 meses, no período de dezembro de 2005 a julho de 2007, em Lins, SP.



a cada 6 meses; 50 kg ha^{-1} de fertilizante mineral nitrogenado (nitrato de amônio) e 80 kg ha^{-1} de fertilizante mineral potássico (cloreto de potássio), aplicados imediatamente após cada corte do capim (Premazzi *et al.*, 2003).

As amostras de solo foram coletadas da camada 0-10 cm e foram realizadas de forma a acompanhar o efeito da irrigação com esgoto tratado no início e final das estações chuvosa (novembro a abril) e seca (maio a outubro). Assim, as coletas foram realizadas no tempo zero (início do experimento) e aos três (março/2006), sete (julho/2006), nove (setembro/2006), 12 (dezembro/2006), 13 (janeiro/2007), 15 (abril/2007) e 18 meses (julho/2007). Foram determinadas as concentrações de carbono (CT) e nitrogênio total (NT) do solo, por combustão a seco. Para análise da atividade microbiana foram determinados: o carbono microbiano do solo, pelo método da fumigação-extração (Vance *et al.*, 1987), respiração basal do solo (Anderson, 1982) e o índice quociente metabólico (qCO_2), que representa a atividade específica da biomassa microbiana.

Os resultados foram submetidos à análise estatística univariada, aplicando o procedimento GLM, considerando como fontes de variação a lâmina de irrigação e o tempo de avaliação no período de 18 meses, utilizando o programa SAS Versão 7.1 (SAS Institute Inc., 2002).

RESULTADOS

No período de dezembro de 2005 a julho de 2007, a quantidade de irrigação acumulada variou de 1254 a 2296 mm, na menor e maior lâmina de irrigação respectivamente e, a precipitação acumulada no mesmo período foi de 2422 mm. A precipitação ocorreu de acordo com o esperado para a região de Lins, SP, com chuvas concentradas nos meses de outubro a março e estiagem de abril a setembro (Figura 1).

Os maiores volumes de esgoto tratado foram aplicados nos períodos de novembro de 2006 a janeiro de 2007 (Figura 2), correspondentes aos períodos mais quentes do ano, o que colabora com o crescimento e com o aumento da evapotranspiração do capim Tifton 85. Nos meses de maio a agosto, nos quais são observadas as menores temperaturas médias do ano (Figura 1), a taxa de crescimento do capim Tifton 85 é menor (Nogueira, 2008), bem como sua evapotranspiração, exigindo menores volumes de água.

A aplicação de esgoto tratado proporcionou adição de material orgânico, que variou de 784 kg ha^{-1}, para a menor lâmina até 1441 kg ha^{-1}, para a maior (Tabela 2). Deste material orgânico, 35% correspondem ao carbono (carbono particulado total, CPT) e 6,6% ao nitrogênio (nitrogênio particulado total, NPT). A fase particulada dos esgoto tratado por lagoas de estabilização é composta principalmente por algas (Snow *et al.*, 1999; Von Sperling, 2002), que possui uma baixa relação C:N (Carbono:Nitrogênio).

A adição de nitrogênio via esgoto tratado na forma mineral (NH_4^+, NO_2^- + NO_3^-) foi de 337,1 kg ha^{-1} para a lâmina controle e de 618,2 kg ha^{-1} na lâmina com 100% de excesso de irrigação. Esses valores, somados ao nitrogênio mineral fornecido via fertilizante (390 kg ha^{-1} ano^{-1}), proporcionaram uma entrada de nitrogênio da ordem de até 1000 kg ha^{-1} na lâmina com 100% de excesso de irrigação. Na presença de irrigação com esgoto tratado, o capim-Tifton 85 aumentou linearmente o rendimento de massa seca até 856 kg N ha^{-1} ano^{-1}, sendo 520 kg N ha^{-1} ano^{-1} na forma de nitrogênio mineral e 336 kg N ha^{-1} ano^{-1} de nitrogênio do esgoto tratado (Fonseca *et al.* 2007). Estes fatos demonstram a elevada capacidade do capim-Tifton 85 em utilizar o nitrogênio tanto da adubação mineral quanto do N-esgoto tratado, mesmo na maior lâmina, com 100% de excesso.

A disponibilidade de nitrogênio no solo é favorecida pela adição de materiais com baixa relação C:N (Buchanam & Gliessman, 1991). Dessa forma, a adição ao solo do esgoto tratado, de baixa relação C:N (1,77:1), somada à entrada de massa seca, resultante da deposição natural de folhas mortas, de alta relação C:N do capim-Bermuda Tifton 85 (21:1), e à relação C:N do solo, em torno de 14:1 (Tabela 2), em conjunto com as condições favoráveis de umidade e temperatura configuram um cenário propício ao metabolismo microbiano.

Tabela 2. Caracterização do esgoto tratado quanto aos conteúdos de frações particuladas e dissolvidas de C e N; quantidade adicionada pela aplicação das lâminas de irrigação com esgoto tratado (0, 25, 50 e 100% de excesso de irrigação) ao solo destas frações no período de janeiro de 2006 a julho de 2007, de N via fertilizante, carbono orgânico, N total e relação C:N

	Irrig.	SST(1)	CPT(2)	NPT(3)	CID(4)	COD(5)	NO_2+ NO_3^-	NH_4^+	COT(6)	NT(7)	COT:NT(8)
		mg L^{-1}									
Esgoto tratado		128	44,9	8,5	88,3	17,8	3,8	23,1			
Lâminas	m^3 ha^{-1}	kg ha^{-1}									
0%	12542,2	1605	561,1	106,6	1107,5	223,2	48,1	289	784,1	443,1	1,77
25%	15094,0	1932	677,2	128,3	1333,2	269,1	57,3	349	946,3	534,3	1,77
50%	17722,9	2268	796,1	151,1	1565,1	316,1	67,3	409	1112,1	627,3	1,77
100%	22966,0	2939	1032	195,2	2028,1	409,1	87,2	531	1441,1	813,1	1,77

(1)Sólidos solúveis totais; (2)Carbono particulado total; (3)Nitrogênio particulado total; (4)Carbono inorgânico dissolvido; (5)Carbono orgânico dissolvido; (6) Carbono orgânico total; (7)Nitrogênio total; (8)Relação carbono orgânico total (via esgoto tratado): nitrogênio total.

Para os atributos respiração basal do solo, carbono microbiano e o índice qCO_2, não foi constatado efeito significativo da irrigação com lâminas excedentes de esgoto tratado. Para a respiração basal do solo e o índice qCO_2 foi constatada uma grande variabilidade nos resultados, o que certamente comprometeu a avaliação do efeito dos tratamentos sobre esses atributos (Tabela 3).

O CT, NT e a relação C:N também não foram influenciados pelas lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado (Tabela 3). Entretanto, para a média dos tratamentos ao longo dos 18 meses de irrigação, observou-se um aumento significativo de cerca de 40% no CT (Figura 2a), no período de 8 a 15 meses de irrigação. Contudo, esta tendência de aumento não se manteve, sendo verificada uma redução dos valores de CT aos 18 meses. Assim como o CT, o NT também aumentou ao longo do tempo (Figura 2b), com o maior valor aos 12 meses de irrigação com esgoto tratado (0,75 mg kg^{-1}) e, após esse período os valores diminuíram, retornando ao patamar verificado antes de iniciar a irrigação com esgoto tratado (0,62 mg kg^{-1}).

Considerando a média das lâminas de irrigação com esgoto tratado, o Cmic variou em torno de 141,34 (coleta de referência) a 300 µg g^{-1} (aos 8 e aos 12 meses de aplicação do esgoto tratado). No período de 18 meses, considerando apenas a coleta de referência e a última coleta realizada, o Cmic teve um aumento médio de aproximadamente 34% (Figura 2c).

A relação C:N manteve-se em torno de 12:1 nos primeiros quatro meses de irrigação com esgoto tratado e, a partir do oitavo mês de avaliação, observou-se um aumento de mais de 40% que se manteve até a última avaliação, aos 18 meses de aplicação do esgoto tratado, considerando a média das quatro lâminas de irrigação (Figura 2d). Não foi constatado efeito das lâminas excedentes de irrigação com esgoto tratado sobre a variação da relação C:N, ao longo dos 18 meses de estudo.

DISCUSSÃO

Embora alguns autores apresentem valores limites para identificar uma condição de estresse em uma comunidade microbiana, como o valor de 2 mg C-CO_2 g^{-1} Cmic h^{-1}, proposto por Anderson (2003), as interpretações de índices como o qCO_2 devem ser conduzidas em conjunto com a avaliação de todo o cenário, ou seja, analisando simultaneamente outros parâmetros microbiológicos de atividade microbiana, como a atividade de enzimas no solo (Nogueira *et al.*, 2006).

Os elevados valores de qCO_2 observados nesse trabalho possivelmente estão relacionados com a alta atividade metabólica dos microrganismos, estimulada principalmente pelo manejo do capim e a irrigação com esgoto tratado. O manejo do capim realizado bimestralmente representava entradas de carbono, a partir da senescência natural das folhas e também como resultado do cisalhamento das plantas nos momentos de corte, assim como entradas de nitrogênio, proveniente tanto da adubação mineral como do esgoto tratado. Es-

Figura 2. a) carbono total (CT); b) nitrogênio total (NT); c) Carbono microbiano (Cmic) e d) relação carbono:nitrogênio (C:N) de uma área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de esgoto tratado (0, 25, 50 e 100% de excesso) e coeficiente de variação (CV). Média das quatro lâminas de irrigação e erro-padrão.

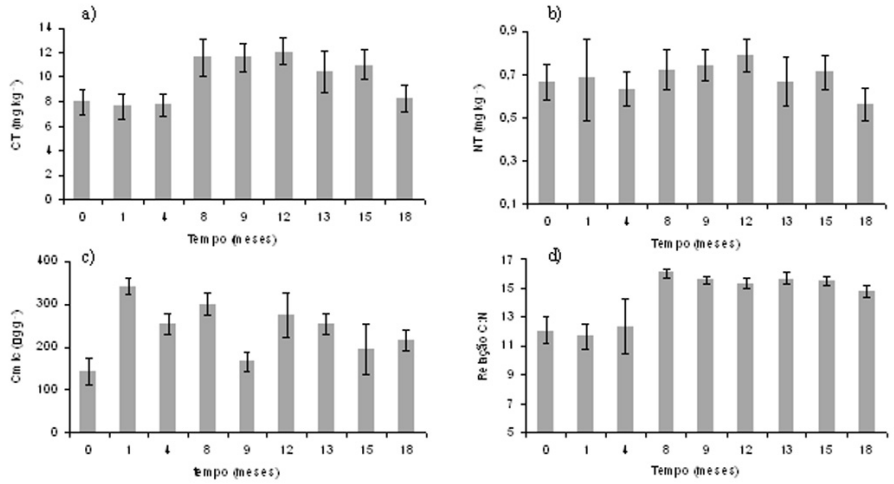


Tabela 3 - Respiração basal (C-CO2), quociente metabólico (qCO2), carbono microbiano (Cmic), carbono total (CT), nitrogênio total (NT) e relação carbono:nitrogênio (C:N) de uma área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de esgoto tratado (0, 25, 50 e 100% de excesso) e coeficiente de variação (CV). Média de oito tempos de avaliação, seguidas do erro-padrão.

Variáveis analisadas	0	25	50	100	CV (%)
C-CO_2 (mg g^{-1} h^{-1})	1,56 ± 0,28	1,14 ± 0,26	1,25 ± 0,22	1,23 ± 0,22	69
Cmic (□g g^{-1})	241,57 ± 70,61	242,62 ± 70	242,22 ± 79,41	224,94 ± 64,01	29
qCO_2 (mg C-CO_2 g^{-1} Cmic h^{-1})	5,86 ± 1,14	5,69 ± 1,51	5,05 ± 0,97	6,28 ± 1,02	74
CT (g kg^{-1})	9,89 ± 2,01	9,91 ± 2,06	10,00 ± 2,27	9,51 ± 2,25	21
NT (g kg^{-1})	0,67 ± 0,09	0,7 ± 0,14	0,71 ± 0,10	0,66 ± 0,10	16
C:N	14,96 ± 1,43	14,64 ± 1,55	14,49 ± 2,00	14,58 ± 1,64	12

sas interferências, somadas ao aumento da umidade do solo pela irrigação com esgoto tratado, indicam um cenário favorável à atividade microbiana.

Nogueira (2008), ao monitorar a dinâmica do CT e NT do solo em uma área de pastagem de capim-Bermuda Tifton 85, irrigada com esgoto tratado e adubada com diferentes doses de nitrogênio, no mesmo campo experimental deste trabalho, observou reduções no estoque de CT do solo nas áreas irrigadas tanto com água como com esgoto tratado, quando comparado com o tratamento sem irrigação e adubação nitrogenada, após 3 anos de manejo da área. Avaliações de curto prazo, entre 12 e 18 meses, como a realizada neste trabalho, não se mostraram suficientes para confirmar uma tendência de aumento ou redução nos teores de CT e NT no solo cultivado com pastagem irrigada com esgoto tratado.

Mudanças expressivas no CT, NT e C:N, ocasionadas pela irrigação com esgotos têm sido observadas em áreas irrigadas, porém em condições de longos períodos de aplicação, com mais de 40 anos, como descrito nos estudos realizados por Friedel *et al*. (2000), Ramirez-Fuentes et al (2002) e Walker e Lin (2008). De acordo com Ramirez-Fuentes *et al*. (2002), aumento nos teores de CT e NT em áreas irrigadas com esgotos está relacionado tanto com a entrada direta de carbono e nitrogênio particulado e dissolvido nos esgotos, como também com o estímulo promovido pela irrigação no crescimento das raízes das plantas, e conseqüentemente, deposição de raízes mortas, compostos orgânicos exsudados pelas raízes e crescimento da biomassa microbiana do solo.

A disposição de esgotos tratados no solo por longos períodos tem promovido diferentes efeitos no carbono da biomassa microbiana. Aumento do carbono microbiano tem sido relatado em diversos estudos (Meli e*t al.*, 2002; Ramirez-Fuentes *et al.*, 2002; Gelsomino et al., 2006), em concordância com o que foi verificado neste trabalho, para a média das lâminas de irrigação aplicadas ao longo de 18 meses. Entretanto, em alguns trabalhos relatam a ausência de efeito da irrigação com esgotos tratados sobre o carbono microbiano (Schipper *et al*, 1996; Wang *et al*., 2003), o que possivelmente está relacionado com a capacidade de resiliência da comunidade microbiana de se adaptar às mudanças no ambiente edáfico, retornando às condições existentes antes da interferência no meio ambiente.

A aplicação de lâminas de irrigação com esgoto tratado, excedente em até 100% da capacidade de água disponível para a cultura, não promoveu modificações significativas na atividade microbiana e nos teores de CT e NT, em relação a lâmina controle. Entretanto, ao longo dos 18 meses, a irrigação com esgoto tratado promoveu um estímulo no crescimento da biomassa e na atividade microbiana no solo. Esse aumento pode ser um indicativo de mineralização de matéria orgânica e, conseqüentemente do nitrogênio, devendo ser monitorado, a fim de evitar perdas de nitrogênio e contaminação do lençol freático.

CONCLUSÕES

No período de avaliação de 18 meses de irrigação, constatou-se aumento do Cmic e da relação C:N no período avaliado e manutenção dos demais parâmetros. Apesar de não ter sido observada variação significativa da respiração basal e qCO_2, verificou-se elevada atividade microbiana nas áreas irrigadas com esgoto tratado.

A irrigação com até 100% de excesso de esgoto tratado mostrou-se eficiente em fornecer nutrientes, considerando o período de 18 meses de irrigação. Entretanto, um monitoramento da atividade microbiana do solo deve ser conduzido, de forma a acompanhar possíveis impactos do excesso de nitrogênio no sistema solo-planta.

REFERÊNCIAS

AMERICAM PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) – AMERICAM WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). 20th ed. *Standard methods for examination for water and wastewater.* Washington, 1999, 1220p.

ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Madison: ASA/SSSA, 1982. chap 7, pt 2,p. 837-871.

ANDERSON, T.-H. *Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality.* Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 98, n. 2, p. 285-293, 2003.

ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, Oxford, v.34, n. 1, p.219-226, 1996.

BALKS, M.R.; BOND, W.J.; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. *Australian Journal of Soil Research*. Melbourne, v.36, n. 5, p.821-830, 1998.

BOND, W.J. Effluent irrigation - an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.36, n. 4, p.543-555, 1998.

BUCHANAM, M.; GLIESSMAN, S. How compost fertilization affects soil nitrogen and crop yield. *Biocycle*, Emmaus, v. 12, p.2-7, 1991.

CIIAGRO/Instituto agronômico. Monitoramento climático. Disponível em:

http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/. Acesso em: 10 Ago. 2007.

FILIP, Z.; KANAZAWA, S.; BERTHELIN, J. Characterization of effects of a long-term wastewater irrigation on soil quality by

microbiological and biochemical parameters. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Tokyo, v. 162, n. 4, p. 409-413, 1999.

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*, Amsterdam, v. 87, n. 3, p. 328-336, 2007a.

FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTORIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p.194-209, 2007b.

FRIEDEL, J.K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. B*iology and Fertility Soils*, Berlin, v.31, n. 5, p.414-421, 2000.

GELSOMINO, A.; BADALUCCOB, L.; AMBROSOLIC, R.; CRECCHIOD, C.; PUGLISIE, E.; MELI, S.M. Changes in chemical and biological soil properties as induced by anthropogenic disturbance: A case study of an agricultural soil under recurrent flooding by wastewaters. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 38, n. 8, p. 2069–2080, 2006.

HAMILTON, A.J.; STAGNITTI, F.; XIONG, X.; KREIDL, S.L.; BENKE, K.K.; MAHER, P. Wastewater irrigation: the state of play. *Vadoze Zone Journal*, v. 6, n. 4, 823-840.

MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. *Agronomy Journal*, Madison, v. 84, n. 4, p.650-654, 1992.

MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S. A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameter in citrus orchard under Mediterranean condition. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.285, n. 1, p.69-77, 2002.

MOHAMMAD, M.J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Communications in *Soil Science and Plant Analysis*, New York , v.34, n. 9-10, p. 1281-1294, 2003.

NOGUEIRA, M.A.; ALBINO, U.B.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M.F.; DIAS, B.A.; DUARTE, R.T.D.; GIOPPO, N.M.R.; MENNA, P.; ORLANDI, J.M.; RAIMAN, M.P.; RAMPAZO, L.G.L.; SANTOS, M.A.; SILVA, M.E.Z.; VIEIRA, F.P.; TOREZAN, J.M.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* , Amsterdam, v. 115, n. 3-4, p. 237–247, 2006.

NOGUEIRA, S.F. Efeitos da irrigação com esgoto tratado e fertilização nitrogenada na ciclagem de carbono e nitrogênio e no metabolismo microbiano de um solo cultivado com capim-Bermuda Tifton 85. 2008. 138p. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PESCOD, M.B. Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: FAO, 1992. 125p. (*Irrigation and Drainage* Paper, 47)

PREMAZZI, L.M.; MONTEIRO, F.A.; CORRENTE, J.E. Tillering of Tifton 85 Bermudagrass in response to nitrogen rates and time of application after cutting. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, n. 3, p.565-571, 2003.

RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, Essex, v.85, n. 2, p.179-187, 2002.

SAS SYSTEM. SAS Institute Inc. Release 8.02. Cary: The SAS Institute Inc. 2002.

SCHIPPER, L.A.; WILLIAMSON, J.C.; KETTLES, H.A; SPEIR, T.W. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 25, Sep./Oct., p. 1073-1077, 1996.

SNOW, V.O.; SMITH, C.J.; POLGLASE, P.J.; PROBERT, M.E. Nitrogen dynamics in a eucalypt plantation irrigated with sewage effluent or bore water. *Australian Journal of Soil Research*, Wellington, v. 37, n. 3, p. 527-544, 1999.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VON SPERLING, M. *Lagoas de estabilização*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 134p.

WALKER, C; LIN, H.S. Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. *Catena*, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 63-74, 2007.

WANG, Z.; CHANG, A.C.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. *Geoderma*, Amsterdam, v.114, n. 3/4, p.261-278, 2003.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: 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 Agronômico, 1996. p.263-273. (*Boletim Técnico*, 100).

Aporte de nutrientes e estado nutriconal da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção

NUTRIENTS INPUT AND NUTRITIONAL STATE OF SUGARCANE IRRIGATED WITH DISINFECTED AND NON-DISINFECTED TREATED SEWAGE EFFLUENT

Tamara M. Gomes[1]
Adolpho José Melfi[2]
Célia R. Montes[3]
Elisabete da Silva[4]
Gilberto C. Sundefeld Júnior[5]
Magnus Dall'Igna Deon[6]
Roque Passos Piveli[7]

[1]Pós-Doutoranda NUPEGEL/ESALQ/USP
[2]Prof. Titular LSO/NUPEGEL/ESALQ/USP
[3]Prof. Doutora NUPEGEL/CENA/USP
[4]Graduanda em Biologia UNIMEP
[5]Doutorando em Eng. Civil-Hidráulica, POLI/USP
[6]Doutorando em Agronomia, LSO/NUPEGEL/ESALQ/USP
[7]Prof. Associado POLI/USP.

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – São Judas – 13418-900, Piracicaba, SP – Brasil – e-mail: tmgomes@esalq.usp.br.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo quantificar o aporte de nutrientes e avaliar o estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE) e EETE desinfectado (EETED) no município de Piracicaba-SP. Para a caracterização do EETE e EETED foram realizadas análises químico-físico-microbiológicas. Foi avaliado o estado nutricional das plantas nos tratamentos sem irrigação (SI) e irrigados com EETE e EETED. A desinfecção do efluente atingiu o objetivo sanitário e muito pouco foi alterado na constituição do EETED, havendo apenas incremento no teor de $P\text{-}PO_4^-$. Foi constatado pelas análises de diagnose foliar que a irrigação com EETE e EETED supriu totalmente a necessidade de adubação mineral para P e S, proporcionando incrementos de Ca, Mg e Zn, na cana-de-açúcar quando comparado ao tratamento SI.

ABSTRACT

The objectives of this study were to quantify the nutrient input and to evaluate the nutritional state of sugarcane irrigated with treated sewage effluent (TSE) and disinfected TSE (DTSE). The experiment was carried out in Piracicaba, São Paulo State, Brazil. For characterization of TSE and DTSE, chemical physical and microbiological analyses were carried out. The nutritional state of sugarcane plants without and with irrigation with TSE and DTSE were evaluated by foliar analysis. The disinfection of the effluent with sodium hypochlorite reached the sanitary regulations. The composition of STPE was slightly modified by disinfection, showing higher P-PO4- concentration. The foliar diagnosis showed clearly that the irrigation with ESTS and ESTSD could meet the P and S requirements of sugarcane, and provided significant increases in Ca, Mg and Zn foliar levels compared with the un-irrigated area.

Palavras-chave: nutrientes, cana-de-açúcar, efluente, gotejamento subsuperficial, hipoclorito de sódio.
Keywords: nutrients, sugarcane, effluent, subsurface drip, sodium hypochlorite.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade de água para o consumo humano tem levado à procura de usos alternativos para as águas de menor qualidade. A aplicação de águas residuárias provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na agricultura torna-se uma excelente opção como forma de preservação dos recursos hídricos próximos aos centros urbanos e como fonte de água e nutrientes para as culturas. Muitos pesquisadores têm encontrado benefícios na produtividade das culturas irrigadas com efluente de ETE (FONSE-

CA *et al*., 2007; LEAL, 2007). No que se refere ao desenvolvimento nutricional das plantas, o efluente de esgoto apresenta características agronomicamente desejáveis como a presença dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (FONSECA, 2001).

Entretanto, não é uma prática isenta de riscos, principalmente devido à presença de determinados constituintes característicos de esgoto doméstico, como por exemplo, o sódio e organismos patogênicos, prejudiciais ao solo, às plantas e, consequentemente, ao ser humano. A cultura da cana-de-açúcar, destinada à produção de etanol, apresenta grande potencial de ser irrigada com efluente de ETE, principalmente em áreas sujeitas a déficit hídrico. O cenário nacional sucroalcoleiro tem expandido a cada ano, com previsão de 8,9 milhões de hectares para a safra 2008/09 (AGRIANUAL, 2009).

A legalização do uso de águas residuárias na agricultura certamente colocará parâmetros bacteriológicos que tornarão necessárias a desinfecção do efluente para o controle de doenças veiculadas pela água. Dentre as formas mais utilizadas para desinfecção está a cloração, que pode ser realizada, dentre outras maneiras, na forma de aplicação de solução de hipoclorito de sódio, que age como oxidante de material celular. Entretanto o cloro empregado em águas rica de compostos orgânicos, como o caso de efluentes de ETE, pode levar a formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, como compostos organoclorados (DANIEL, 2001). Como conseqüência do poder oxidante do cloro pode haver alterações nos constituintes do efluente relacionados ao suprimento de nutrientes a planta e sua disposição no solo. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o aporte de nutrientes e avaliar o estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar irrigada com efluente de ETE *in natura* e efluente de ETE desinfectado por solução de hipoclorito de sódio.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no município de Piracicaba-SP (22°46'24" S, 47°36'32" W), sob clima subtropical úmido do tipo Cwa segundo classificação de Köppen, com temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18 C°, em área canavieira pertencente ao grupo COSAN, ao lado da ETE operada pelo SEMAE (Serviço municipal de água e esgoto).

A ETE é composta por lagoas de estabilização do tipo Australiano com lagoa anaeróbia, lagoa facultativa primária e lagoa facultativa secundária. Atualmente, atende aproximadamente 7.000 habitantes e recebe também lodo de caminhões limpa-fossa e chorume de aterro sanitário. A vazão média da ETE medida no período desta pesquisa foi de 10,16 L s^{-1}.

O solo predominante foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico. A variedade da cana-de-açúcar plantada foi SP 903414, que se destaca pelo porte ereto, por não florescer, isoporizar pouco e pela alta produção. A adubação foi realizada de acordo com análise química do solo, segundo a recomendação de Raij *et al.* (1996) (120 kg ha^{-1} de N, 30 kg ha^{-1} de P_2O5 e 120 kg ha^{-1} de K_2O), entretanto a dose de nitrogênio foi reduzida à metade (60 kg ha^{-1} de N), com intuito de ser complementado pelo efluente.

O delineamento experimental adotado para avaliação do estado nutricional da cultura foi em faixas com três tratamentos e quatro repetições. O tamanho das parcelas foi de 10 x 30m, perfazendo uma área total de 300 m^2, com seis linhas de plantio espaçadas a 1,4 m. Das seis linhas de plantio apenas cinco foram irrigadas e as três centrais foram consideradas úteis para avaliação, perfazendo uma área de 84 m^2. Os tratamentos empregados foram baseados na irrigação com efluente de ETE *in natura* (EETE), com efluente de ETE com desinfecção (EETED) por solução de hipoclorito de sódio e sem irrigação (SI).

O período de irrigação foi de out/2007 a Jul/2008, referente a 1ª soca da cana-de-açúcar. O sistema de irrigação adotado foi do tipo gotejamento subsuperficial instalado ao lado de cada linha de plantio, enterrado à profundidade de 20cm. Os gotejadores estavam espaçados a cada 0,50 cm, com vazão e pressão de serviço de 1,75 L h^{-1} e 100 kPa, respectivamente. A lâmina de irrigação aplicada foi determinada com base no balanço hídrico considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação pluvial. A ETc foi estimada pela evaporação do tanque Classe A instalado em área próxima à área experimental, utilizando os coeficientes de cultura (Kc) proposto por Doorenbos & Pruitt (1977) que leva em consideração os diferentes estádios de desenvolvimento. A precipitação pluvial total referente ao cultivo da 1ª soca foi de 1.521 mm.

Para a determinação dos conteúdos foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al, Cr, Ni, Pb, foi amostrado o terço central de 25 folhas +1 com a nervura da folha descartada. A coleta das folhas diagnóstico ocorreu aproximadamente 4 meses após a rebrota, segundo recomendação de Malavolta *et al*. (1997). Para determinação do nitrogênio, uma fração representativa do material vegetal seco e moído (1,600 mg) foi condicionada em cápsulas de estanho e encaminhadas ao analisador elementar (Carlo Erba, modelo EA 1110) acoplado a um espectrômetro de massa Finigan Delta Plus. Para a avaliação das concentrações dos outros nutrientes foi realizada digestão nítrico-perclórica e leitura através de espectrometria de emissão atômica em plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

Os resultados da diagnose foliar foram submetidos a análise de variância com significância estatísitica de 5%. Todas as análises estatisticas foram

realizadas mediante o emprego do programa de computador SAS versão 9.1.

A captação do efluente da ETE foi realizada a partir da saída da lagoa facultativa secundária, alimentando um sistema de filtro de areia pressurizado, como tratamento terciário da ETE uma vez que a concentração média de sólidos em suspensão (SS) do efluente desta ETE é 110,77±36,89 mgSS L^{-1}. O sistema de desinfecção por solução de hipoclorito de sódio, foi construído com tanque de contato de cloro (TCC). Inicialmente adotou-se para operação do TCC a dosagem de 17 $mgCl_2$ L^{-1} devido a grande concentração de SS no efluente da ETE, ajustando-a até 6 $mgCl_2$ L^{-1} onde se encontrou a dosagem com eficiência satisfatória na remoção de coliformes e menor concentração de cloro residual possível. Neste sistema foram determinados SS por secagem de amostra em estufa à 103º, em mufla à 550º e pesagem; coliformes por contagem em substrato cromogênico e cloro residual livre e combinado pelo método *N, N-Dietil-p-fenildiamina* (DPD-Colorimétrico).

A caracterização químico-física do EETE e EETED foi realizada pela coleta de doze amostras com freqüência mensal. Foram determinados pH e CE. Parte das amostras foi preservada com solução de cloreto de mercúrio 30 mmol L^{-1} para posterior determinação da concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID), pelo uso do equipamento Shimadzu TOC-5000A. O material particulado retido pela microfibra de vidro foi utilizado para a determinação de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT), por combustão a seco. A determinação de K, Na, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al,Cd, Cr, Ni, Pb foi realizada por ICP-OES e a determinação de P-PO4$^-$, SO_4^-, N-NH_4^+, N-NO_2^-, N-NO_3^-, Cl^-, foi realizada por análise continua por injeção em fluxo (FIA). Com os valores de Na, Ca, e Mg determinados, foi calculada a razão de adsorção de sódio (RAS) pela equação descrita por Ayers & Westcot (1999). Para os doze valores de efluente analisados foram calculados a média e o desvio padrão. Por ocasião da colheita foi determinada a produtividade da área sem irrigação e das áreas irrigadas com EETE e com EETED , pesando-se os colmos cortados dentro da área útil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina de irrigação total aplicada, referente à demanda hídrica da cultura, durante o cultivo da 1° soca da cana-de-açúcar nos tratamentos com EETE e EETED foi de 565 mm. As produtividades obtidas foram 110,20 Mg ha^{-1}, 148,38 Mg ha^{-1} e 137,43 Mg ha^{-1} para os tratamentos SI, EETE e EETED, respectivamente.

O sistema de filtração apresentou eficiência média de 29% na remoção de sólidos em suspensão levando a concentração no efluente a 79,00±37,52 mgSS L^{-1}. Os resultados médios obtidos relacionados à *Escherichia Coli* (*E. Coli*), pertencente ao grupo dos coliformes termotolerantes e coliformes totais (CT) nas amostras afluentes ao TCC foram 6,56x104 ±3,75 x10^4 *E. Coli*/100 mL e 1,87x10^4±1,96 x10^4 CT/100 mL, respectivamente. Entretanto as análises do efluente desinfectado, após o TCC, foram em média da ordem de 40±105 *E. Coli*/100 mL e 200±466 CT/100 mL, valor abaixo do limite máximo recomendado pela Resolução CONAMA 357/2005, para uma aplicação média de 9,76±3,37 $mgCl_2$ L^{-1} em tempo de contato aproximado de 50 minutos, garantindo desta forma a segurança da saúde pública através da proteção dos operadores deste sistema de irrigação. No Brasil, os limites estabelecidos anteriormente pela Resolução Conama 20/86 para águas de classe 2 destinadas à irrigação de vegetais, sem ingestão direta eram de 1.000 coliformes fecais (CF)/100 mL e 5.000 coliformes totais (CT)/100 mL. Atualmente vigora a Resolução Conama 357/2005 que enquadra na Classe 3 a irrigação de arbóreas e forrageiras sendo que não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mL. A concentração de cloro residual livre teve média de 0,49±0,50 mgCl2 L-1 e cloro residual combinado 0,61±0,44 $mgCl_2$ L^{-1}, somando 1,00 $mgCl_2$ L^{-1} de cloro residual total (CRT). Este valor atende as orientações das diretrizes da USEPA (2004) para o uso agrícola de esgoto sanitário, proveniente de processo de tratamento secundário com desinfecção onde CRT deve ser igual ou maior a 1,00 $mgCl_2$ L^{-1} com tempo de contato mínimo de 30 minutos.

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de EETE e EETED, com os respectivos aportes de nutrientes fornecidos pela lâmina de irrigação aplicada e porcentagem de atendimento da necessidade da cultura (ANC) com base na exportação de nutrientes pela colheita de 140 Mg (valor considerado médio para as produtividades obtidas) de colmos de cana-de-açúcar adaptado de Orlando Filho Jr. (1983). As concentrações dos constituintes determinados são característicos de esgotos domésticos segundo Metcalf & Eddy (2003), principalmente pela presença de N, P, Na, Cl e S e por valores abaixo do limite de detecção (LD) pelo método utilizado para metais pesados como Cd, Cu, Ni, Pb e Zn. A variação representada por altos valores de desvio padrão para determinados constituintes é característica da sazonalidade. Dentre os constituintes analisados as maiores diferenças nas concentrações entre EETE e EETED foram observadas para P-PO_4^- e S, sendo que os demais valores pouco se alteraram. Com relação ao P-PO_4^- houve considerável aumento no EETED, sugerindo que a aplicação da solução de hipoclorito de sódio oxidou a matéria orgânica existente, disponibilizando este constituinte. Souza & Daniel (2005) também verificaram alterações nos constituintes de água rica em matéria orgânica, resultante da oxidação da mesma pela desinfecção com hipoclorito de sódio. A presença de Na na solução de desin-

fecção não alterou a concentração do mesmo no EETED, mantendo o valor da RAS em níveis aceitáveis (Richards, 1954) contra o risco de sodificação do solo.

Observando o aporte de nutrientes em relação a uma projeção ao atendimento à necessidade da cultura, pela exportação de P, S, N, Ca, Mg, K, B, Cu, Fe, Mn, e Zn, para a produção de 140 Mg de cana-de-açúcar, adaptado de Orlando Filho Jr. (1983), verificamos que a irrigação com EETE e EETED seria capaz de suprir completamente a adubação de S, N, Ca, K e B e

Tabela 1. Resultados de análises (média de 12 amostras, coletadas mensalmente) de efluente de estação de tratamento de esgoto in natura (EETE) e desinfectado com hipoclorito de sódio (EETED), exportação de nutrientes pela colheita de 140 Mg de colmos de cana-de-açúcar, aporte de nutrientes, atendimento da necessidade da cultura (ANC)

		in natura			Desinfectado		
Constituintes	**Exportação[1] (kg 140 Mg^{-1})**	**EETE[2] mg L^{-1}**	**Aporte Kg ha^{-1}**	**ANC %**	**EETED[2] mg L^{-1}**	**Aporte Kg ha^{-1}**	**ANC %**
CID[3]	-	234,50±103,42	1324,93	-	218,94±64,83	1237,03	-
COD[4]	-	23,52±12,87	132,91	-	23,99±5,59	135,54	-
P-PO_4^-	15,4	2,53±1,94	14,30	93	4,82±1,38	27,21	177
S	36,4	36,78±21,90	207,79	571	24,49±13,24	138,38	380
N-NH_4^+	-	26,33±4,29	148,77	-	24,86±4,94	140,46	-
N-NO_2^-	-	0,02±0,01	0,12	-	0,07±0,06	0,42	-
N-NO_3^-	-	0,07±0,03	0,40	-	0,16±0,11	0,88	-
NT[5]	-	2,51±1,01	14,19	-	1,97±0,93	11,12	-
N – Total[6]	116,2	28,94±3,90	163,48	141	27,06±4,71	152,87	131
CT	-	13,69±5,34	77,34	-	11,38±5,71	64,30	-
C/N	-	5,49±0,23	31,03	-	5,74±0,21	32,44	-
Cl^-	-	75,01±48,56	423,81	-	79,65±43,71	450,02	-
Ca	65,8	14,15±8,87	79,95	121	15,72±9,86	88,79	135
Mg	46,2	4,97±1,81	28,05	61	5,20±1,43	29,40	64
Na	-	66,90±26,50	377,97	-	67,43±19,92	380,96	-
K	109,2	25,73±9,89	145,38	133	26,61±10,53	150,37	138
Al	-	< LD[9]	-	-	<LD	-	-
B	0,209	0,08±0,04	0,45	215	0,074±0,004	0,42	201
Cd	-	< LD	-	-	< LD	-	-
Cr	-	0,007±0,01	0,04	-	0,007±0,01	0,04	-
Cu	0,328	0,013±0,02	0,07	22	0,012±0,01	0,07	20
Fe	1,95	0,043±0,04	0,25	12	0,024±0,01	0,14	7
Mn	1,473	0,031±0,04	0,18	11	0,036±0,02	0,20	13
Ni	-	< LD	-	-	< LD	-	-
Pb	-	< LD	-	-	< LD	-	-
Zn	0,517	< LD	-	0,00	< LD	-	0
RAS[7]	-	3,82±1,22	-	-	3,86±1,42	-	-
pH	-	7,47±0,24	-	-	7,64±0,11	-	-
CE[8]	-	821,00±118,04	-	-	892,83±114,21	-	-

[1]Adaptado de Orlando Filho Jr.(1983); [2]Média ± desvio padrão; [3]Carbono Inorgânico Dissolvido; [4]Carbono Orgânico Dissolvido; [5]nitrogênio total no material particulado; [6]nitrogênio total presente no EETE; [7]razão de adsorção de sódio (mmol L^{-1})$^{1/2}$; [8]condutividade elétrica (μS cm^{-1}); [9]limite de detecção.

ainda a irrigação com EETED seria suficiente também para suprir o P.

A avaliação do estado nutricional da cultura pela análise química foliar (Tabela 2 e 3) revelou efeitos positivos da irrigação sobre as concentrações foliares de fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e zinco, indicando maior disponibilidade destes nutrientes para a cultura nos tratamentos irrigados (EETE e EETED). Os demais elementos N, B, Cu, Fe e Mn não sofreram alterações quando irrigados com efluente.

Mesmo com as plantas apresentando teores foliares de fósforo considerados adequados por Malavolta *et al*. (1997) no tratamento sem irrigação, esta foi capaz de incrementar as concentrações foliares deste elemento (Figura 1A) tanto na irrigação com EETE como na irrigação com EETED. Embora o fósforo tenha-se apresentado mais disponível no efluente desinfectado, como apresentado anteriormente, com relação ao estado nutricional da planta não foi verificado diferenças entre os tratamentos irrigados. O fósforo é um nutriente imóvel no solo e de manejo crítico na maioria dos solos brasileiros. Apesar da pequena quantidade que fornece deste nutriente frente à recomendação de fertilizante mineral, o efluente pode ser considerado fonte potencial de fósforo, por apresentar formas desse elemento mais disponíveis, em virtude do pH próximo da neutralidade e do fornecimento conjunto com água.

A concentração foliar de S apresentou-se abaixo da faixa considerada adequada (2,5 - 3,0 g kg-1) no tratamento não irrigado e dentro da faixa de normalidade nos tratamentos irrigados, indicando a melhora do estado nutricional da cultura para esse elemento pela irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto (Figura 1B). Cálcio e magnésio foram dois nutrientes com teores foliares abaixo do considerado normal pela tabela de interpretação preconizada por Malavolta *et al.* (1997) em todos os tratamentos, no entanto, as plantas que receberam irrigação com EETE e EETED apresentaram elevação desses teores em relação ao tratamento que não recebeu irrigação (Figuras 1C e 1D) o que indica a possibilidade de melhorar a nutrição para estes elementos com a irrigação continuada com efluente.

Com relação à concentração foliar de potássio houve diminuição com a irrigação (Figura 1E), apesar do fornecimento deste nutriente pelos efluentes empregados na irrigação. Este tipo de comportamento pode ser explicado pelo melhor desenvolvimento vegetativo da planta com diluição do elemento nos tecidos, ou pela inibição competitiva da absorção por outros cátions presentes no efluente, como Ca, Mg e Na. A concentração deste nutriente situou-se na faixa considerada deficiente por Malavolta *et al*. (1997), mas sem que tenham sido observados prejuízos à produção ou sintomas de deficiência.

Os resultados da diagnose foliar para os micronutrientes (Tabela 3) também foram comparados com os valores apresentados por Malavolta *et al*. (1997). A concentração de Zn indica que esse elemento encontra-se abaixo dos valores considerados adequados no tratamento não irrigado. Porém as concentrações do Zn aumentaram significativamente com o uso do efluente, representando uma melhoria do estado nutricional na cultura pela irrigação com efluente (Figura 1F).

O aporte de nutrientes pela irrigação com efluente,

Tabela 2. Concentração média dos macronutrientes nas folhas diagnóstico da cana-de-açúcar (folha +1) aos 4 meses após a rebrota, não irrigada (SI), irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto in natura (EETE) e desinfectado com hipoclorito de sódio (EETED)

Elemento	Concentração (g kg^{-1})			Referência Malavolta et al., 1997 (g kg^{-1})
	SI	EETE	EETED	
N	21,5±0,07	22,3±0,24	22,2±0,05	20 – 22
K*	13,59±0,85	11,55±0,22	11,56±0,38	13 – 15
P*	1,98±0,12	2,53±0,11	2,53±0,20	1,8 – 2,0
Ca*	4,05±0,50	4,96±0,09	4,96±0,15	5,0 – 7,0
Mg*	1,48±0,03	1,78±0,06	1,78±0,11	2,0 – 2,5
S*	2,08±0,14	2,84±0,15	2,84±0,27	2,5 – 3,0

*: análise de variância significativa ($p < 0,05$)

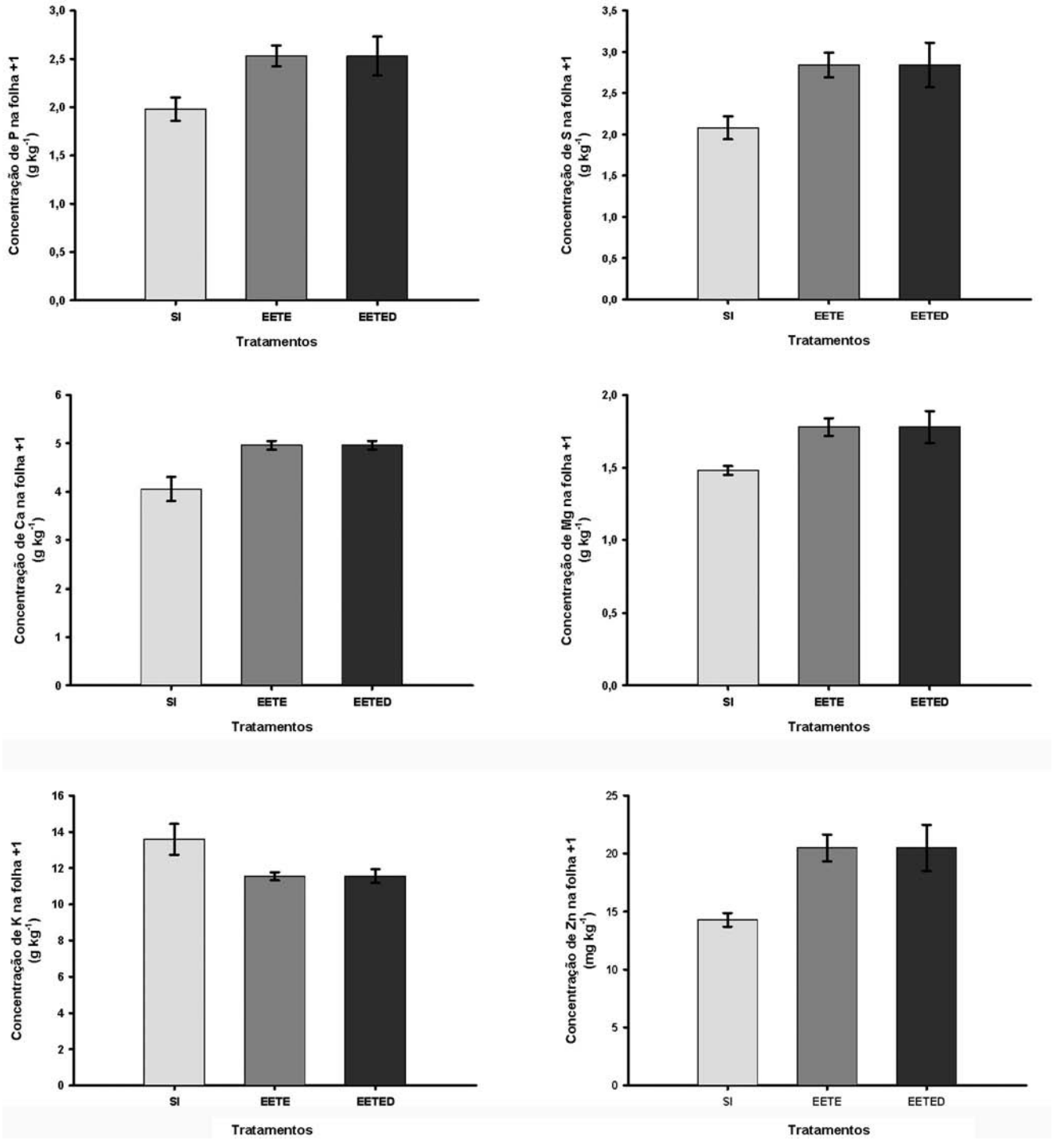
Tabela 3. Concentração dos micronutrientes nas folhas diagnóstico da cana-de-açúcar (folha +1) aos 4 meses após a rebrota, não irrigada (SI), irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto in natura (EETE) e desinfectado com hipoclorito de sódio (EETED)

B	4,37±3,44	3,72±0,68	3,73±1,36	-
Cu	4,37±0,18	4,09±0,24	4,09±0,43	8 – 10
Fe	97,91±6,04	102,81±4,58	102,81±7,71	80 – 150
Mn	62,71±8,57	65,78±8,25	65,78±14,30	50 – 125
Zn*	14,29±0,59	20,49±1,15	20,49±1,99	25 – 30

*: análise de variância significativa ($p < 0,05$)

diante as projeções de ANC, foi efetivo no fornecimento de P e S em substituição total à adubação mineral, como verificado pelas análises do estado nutricional das plantas. Entretanto para os elementos N, K, Ca e B o aporte esperado não foi verificado no momento da análise foliar, embora tenha havido um incremento significativo de Ca, Mg e Zn nos tratamentos irrigados. Esse comportamento pode ser atribuído ao manejo da irrigação baseado na demanda hídrica da cultura sujeito às variações climáticas e ao desenvolvimento fenológico das plantas. Desta forma, embora o efluente apresente quantidades de nutrientes suficientes para suprimir a adubação mineral, as necessidades nutricionais da cultura podem não ser atendidas, em situações de precipitação elevada, situação na qual seria também necessário o armazenamento do EETED ou sua disposição em corpos d'água.

Figura 1. Teores foliares de fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, potássio e zinco na folha +1 da cana-de-açúcar aos 4 meses após a brotação da soqueira. Barras de erro indicam o erro padrão da média (n=4). SI sem irrigação; EETE irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto *in natura*;EETED irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto desinfectado com hipoclorito de sódio



CONCLUSÕES

A desinfecção do efluente com hipoclorito de sódio atingiu o objetivo sanitário, tornando o efluente seguro para aplicação pela irrigação. Muito pouco foi alterado na constituição do EETED em relação EETE, havendo incremento no teor de $P\text{-}PO_4^-$, o que beneficia o desenvolvimento da cultura. A irrigação EETE e com EETED supriu totalmente a necessidade de adubação mineral na cana-de-açúcar para P e S, e proporcionou incrementos significativos de Ca, Mg e Zn, quando comparado ao tratamento sem irrigação, constado pelas análises de diagnose foliar. A prática do reuso agrícola pode ser realizada de forma segura, trazendo benefícios à cultura, além da economia de insumos como água e fertilizantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, COSAN E SEMAE pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. São Paulo, 2009. p. 235-256: Cana-de-açúcar.

AYRES, R. S., WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno., v. 29 revisado 1 (FAO). Tradução de Water quality for agriculture. Campina Grande: UFPB, 1999, 218p.

CONAMA nº 20. Resolução 20/1986 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: www.mma.gov.br/conama.

CONAMA nº 357. Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: www.mma.gov.br/conama.

DANIEL, L. A. Alternativas para desinfecção de esgoto sanitário. In: I SEMINÁRIO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO. Anais...Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 6p. 2001.

DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requeriments. Rome: FAO, 1977. 179p. (*Estudos FAO: Irrigação e Drenagem,* 24).

FONSECA, A. F. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. Piracicaba, 2001. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

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. *Agric. Water Management.* v. 87, p. 328-336, 2007.

LEAL, R. M. P. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

METCALF & EDDY, INC. *Wastewater engineering: treatment disposal and reuse*. 4. ed. Nova York, Mc Graw-Hill, 2003.

ORLANDO FILHO, Jr. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.* Piracicaba, 1983. 369p. (coleção Planalsucar).

SOUZA, J. DANIEL, L. A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de E. coli, colifagos e C. perfringens em água com elevada concentração de matéria orgânica. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 10, n.2, p. 111-117, 2005.

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 Agronômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).

RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. Washington DC, US Department of Agricultura, 1954. 160p. (*USDA Agricultural Handbook*, 60).

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidelines for water reuse.* 2° ed. Washington DC: USEPA, 2004. (Report N° EPA/625/R-04/108). Disponível em: www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf.

Avaliação química-bromatológica e produtiva do capim Tifton 85 (*Cynodon SSP.*) irrigado com esgoto doméstico tratado

PRODUCTIVITY AND CHEMISTRY-BROMATOLOGY EVALUATION OF GRASS TIFTON 85 (*CYNODON SSP.*) IRRIGATED WITH TREATED SEWAGE

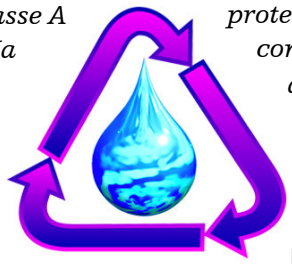
Carmem Cristina Mareco de Sousa[1]
Francisco Marcus Lima Bezerra[2]
Suetônio Mota[3]
Boanerges Freire Aquino[4]

[1]Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Manejo em Irrigação e Drenagem, pela UFC
[2]Doutor em Irrigação e Drenagem, Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias da UFC
[3] Dr. em Saúde Ambiental, Professor Titular do Centro de Tecnologia da UFC
[4]Doutor em Solos, Professor Titular do Centro de Ciências Agrárias da UFC

Endereço: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Bloco 713. CEP: 60455.760 Fortaleza, Ceará, Brasil – e-mail: suetonio@ufc.br

RESUMO

*A pesquisa teve como objetivo avaliar o uso de esgoto doméstico tratado na irrigação do capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*) no município de Aquiraz, CE. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos (T1, água do poço 75% ECA - Evaporação do tanque Classe A + adubação; T2, água de esgoto, 150 kg Na ha^{-1} ano^{-1}; T3, água de esgoto, 300 kg Na ha^{-1} ano^{-1}; T4, água de esgoto, 600 kg Na ha^{-1} ano^{-1}; T5, água de esgoto, 1200 kg Na ha^{-1} ano^{-1}) e quatro repetições. Foram realizadas quatro coletas de amostras do capim, quando o mesmo atingia uma altura aproximada de 0,45 m do solo. Foram realizadas, no período de março a agosto de 2008, as análises químico-bramatológicas e químicas do capim, análises de água e de solo nas camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m. Os resultados das análises químico-bramatológicas para os parâmetros nitrogênio, proteína bruta e fósforo apresentaram, para o capim Tifton 85, níveis de concentração satisfatórios quando aplicado as lâminas 132, 265, 530 e 1061 mm ano^{-1}.*



ABSTRACT

*The present research had the objective of evaluating the use of domestic treated sewer in the irrigation of the grass Tifton 85 (*Cynodon spp.*) grown in a soil area located at the Aquiraz county (CE, State). The experimental design consisted of randomized blocks, with five treatments (T1, water of well 75% ECA + fertilization; T2, treated sewer + 150 Kg Na ha^{-1} year^{-1}; T3, treated sewer + 300 Kg Na ha^{-1} year^{-1}; T4, treated sewer + 600 Kg Na ha^{-1} year^{-1}; T5, treated sewer + 1200 kg Na ha^{-1} year^{-1}) and four replicates. Leaf samples were collected four times along the period of the experiment by cutting the plants always when they reached a height of 0,45m. The following analyses were performed: chemical-bramatological and chemical analyses of the plant leaves; water and soil (0-20 cm and 20-40 cm layers) chemical analyses were also carried out (from March to August, 2008). The results obtained from the chemical-bramatological analyses (Tifton 85 leaf samples) and as related to nitrogen, crude protein and phosphorus leaf contents were considered adequates for the 132, 265, 530 and 1061mm year-1 applied blade levels.*

Palavras - chave: reuso de águas; fertirrigação de forrageiras; capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*); avaliação química-bramatológica.
Key-words: water reuse; fertirrigation of crops; grass Tifton 85 (*Cynodon spp.*); chemical-bramatological analyses.

INTRODUÇÃO

A aplicação de efluentes de estações de tratamento de esgoto na irrigação tem tido sucesso na produção de plantas forrageiras, devido ao elevado acúmulo de nutrientes que proporciona ao solo, contribuindo para uma longa estação de crescimento das plantas e recobrimento do solo pelas mesmas. Constitui, também, uma forma de minimizar o impacto causado pelo fósforo e pelo nitrogênio dos efluentes de sistemas de tratamento de esgoto doméstico, quando lançados em corpos receptores.

Gomes Filho *et al*. (2001) demonstraram que o aproveitamento de águas residuárias proporcionou produtividade de até 31,5 t ha^{-1} ano^{-1} de aveia forrageira e melhoria significativa na qualidade do efluente. Em outro estudo, com milho, a água residuária promoveu incremento de produção de 78,73% em relação ao cultivo com água de abastecimento, comprovando a sua capacidade de fertirrigação.

Azevedo *et al.* (2005) sugerem que o uso de efluentes pode substituir em até 60 kg ha^{-1} de N para o milho forrageiro sob condições de clima semi-árido e solo com textura franco-argilo-arenoso.

As gramíneas do gênero *Cynodon*, originárias da África e consideradas bem adaptadas às regiões tropicais e subtropicais, são recomendadas como forrageiras para alimentação de animais em todo o mundo (VILELA; ALVIM, 1999). O *Cynodon spp*., Tifton 85, apresenta características, como porte mais elevado, colmos mais compridos, folhas mais extensas e de coloração verde mais escura e estolões que se expandem rapidamente, possuindo rizomas grandes e em menor número do que das outras cultivares desse gênero.

A avaliação da composição químico-bramatológica da forrageira fertirrigada com esgoto doméstico é fundamental para o controle da eficiência do tratamento, pela remoção de macro e micro nutrientes pela cultura e seu uso na alimentação de animais (FONSECA *et al.*, 2001).

O uso da irrigação e de insumos empregados, principalmente o nitrogênio, em forrageiras elimina e reduz, drasticamente, os efeitos de produção estacional de forragem, já que em condições naturais e normais de precipitação pluviométrica, sua produção se resume a um período máximo de quatro meses durante todo o ano (RODRIGUES et al., 2005).

O gênero *Cynodon sp*. apresenta uma alta resposta a fertilizações e alto valor alimentício em função de elevados níveis nutricionais e uma boa disgestibilidade (55 a 60%) em relação às outras plantas forrageiras, sendo estes os principais componentes que determinam o valor nutritivo de um alimento. Contudo, o Tifton 85, promissor do gênero resultante de melhoramentos genéticos, tem uma alta exigência em fertilidade do solo, não sendo recomendado em solos ácidos e pobres em nutrientes (TONATO; PEDREIRA, 2008).

Silva et al. (1996) ressaltam que o valor nutritivo de uma pastagem depende basicamente da composição química, da quantidade de nutrientes ingerida pelo animal e de sua digestibilidade.

Silva; Queiroz (2002) afirmam que o consumo de matéria seca é fundamental para formulação de dietas, para que, assim, possa atender as exigências nutricionais dos animais, além de predizer o ganho de peso diário do animal e estimar a lucratividade da exploração.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso de esgoto doméstico tratado na irrigação do capim Tifton 85 (*Cynodon spp*.).

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no município de Aquiraz, Ceará. O solo da área de estudo é um Argissolo, textura franca arenosa média. Cerca de 90% das precipitações pluviométricas no local ocorrem no primeiro semestre do ano.

O delineamento experimental foi em blocos casualisados, com cinco tratamentos e quatro repetições, constituído de quatro lâminas de esgoto tratado, determinadas com base na concentração de sódio de 4,42 mmol L-1 e uma lâmina de irrigação com água de poço (testemunha). Os tratamentos aplicados foram:

- T1: água do poço (75% da evaporação do tanque Classe A - ECA) + adubação (30 kg P_2O_5 ha^{-1}; 30 kg K_2O ha^{-1}; 20 kg N ha^{-1})
- T2: esgoto tratado, 150 kg Na ha^{-1} ano^{-1}
- T3: esgoto tratado, 300 kg Na ha^{-1} ano^{-1}
- T4: esgoto tratado, 600 kg Na ha^{-1} ano^{-1}
- T5: esgoto tratado, 1200 kg Na ha^{-1} ano^{-1})

As lâminas de esgotos referentes aos tratamentos T2, T3, T4 e T5 foram 132 mm ano-1, 265 mm ano^{-1}, 530 mm ano-1 e 1061 mm ano-1, respectivamente. Para lâmina de água (T1), considerou-se 75% da evaporação do tanque classe A.

A área total do experimento foi de 402,6 m^2, onde foram distribuídas as 20 unidades experimentais com área de 7 m^2 (3,50m de comprimento por 2,00 m de largura). Foram abertos, em cada parcela, quatro sulcos fechados espaçados de 0,5m. Para evitar o fluxo horizontal e vertical de água entre as parcelas, foram instaladas mantas de polietileno, desde a superfície até um metro de profundidade.

Antes do plantio foi realizada calagem (1,5 kg m^{-2}), conforme os resultados da análise do solo, para correção do pH, e adubação orgânica (21 kg m^{-2}); a recomendação de adubação com os macronutrientes fósforo e potássio foi definida de acordo com os teores médios desses elementos presentes nas profundidades amostradas; para o nitrogênio, a quantidade aplicada foi a estabelecida por UFC (1993), e os valores foram os seguintes: 14 g m^{-2} de nitrogênio, 21 g m^{-2} de fósforo e 21 g m^{-2} de potássio, nas formas de uréia, super-

fosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. A adubação foi realizada de modo convencional, a lanço, em cada parcela de cada tratamento.

As irrigações foram feitas em intervalos de 2 a 3 dias, logo após a leitura da evaporação no Tanque Classe A (75% ECA) instalado na área experimental, tanto no período chuvoso como no de estiagem.

O plantio das mudas ocorreu no mês de fevereiro de 2008. Foram realizadas quatro coletas de amostras do capim, quando o mesmo atingia uma altura aproximada de 0,45 m do solo: duas no período chuvoso (38 dias); e duas no período de seco (32 dias).

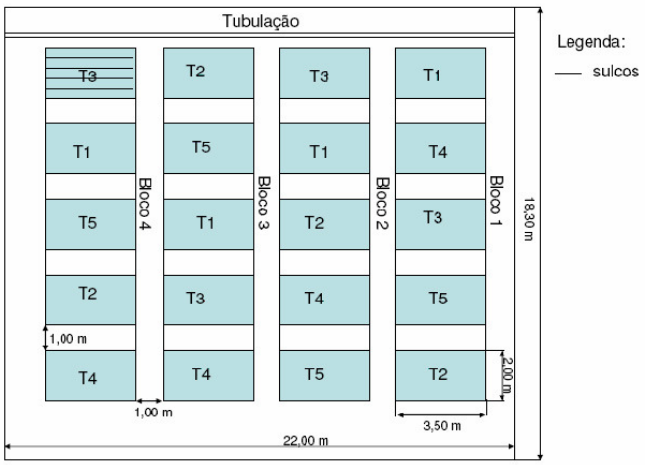
O esgoto utilizado foi o efluente final da estação de tratamento de esgotos domésticos da cidade de Aquiraz, Ceará, composta por quatro lagoas de estabilização em série (uma anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação).

A aplicação da água e do esgoto tratado foi feita pelo método de escoamento superficial. O terreno da área experimental apresentava uma declividade de 2% em toda a extensão.

Na Figura 1 mostra-se um esquema da distribuição dos tratamentos na área da pesquisa.

O sistema de irrigação foi composto de 2 linhas de derivação de 50 mm de diâmetro que continham 5 registros, para controle das lâminas de esgoto tratado e da água do poço, ligados a uma mangueira de polietileno de 32 mm de diâmetro com 4 saídas de água, uma para cada sulco de cada tratamento experimental, espaçadas a 0,5 m. No início da área foram instalados 4 "cavaletes" com 2 registros para controle das lâminas de água e esgoto tratado aplicadas nas unidades de cada bloco. A vazão do sistema era de 1,53 L h-1, a uma pressão de serviço de 300 kPa. Cada sistema de irrigação era constituído por uma bomba centrífuga, tubulação de PVC e uma válvula de descarga para cada tratamento. O esgoto tratado e a água eram bombeados da última lagoa de maturação da estação de tratamento e do poço d'água, respectivamente.

Figura 1 – Distribuição dos tratamentos no campo experimental.



As análises de água e esgoto foram realizadas quinzenalmente, durante o desenvolvimento da pesquisa, seguindo a metodologia aplicada pelo Standard Methods (APHA, 1995). As análises químico-bramatológicas do nitrogênio (N) e proteína bruta (PB) observaram a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (1990) e os teores nutritivos cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P) e sódio (Na) foram obtidos por intermédio do método de Miyazawa *et al*. (1984).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5%; em seguida, procedeu-se à análise de

Figura 2 - Vista do plantio do capim Tifton 85. Aquiraz, CE. 2008.

Tabela 1. Valores médios (de 12 amostras) das características físicas, químicas e microbiológicas da água e do esgoto efluente da segunda lagoa de maturação. Aquiraz, Ceará. 2008.

Parâmetro	Unidades	Água de Poço	Esgoto Tratado
pH	-	6,13	7,37
CEa	dS cm^{-1}	0,208	0,749
N - amoniacal	mg L^{-1}	0,25	8,24
Nitrato	mg L^{-1}	0,13	0,14
K^+	mg L^{-1}	11,30	28,30
Na^+	mg L^{-1}	18,38	42,53
Ca^{2+}	mg L^{-1}	16,03	50,10
Mg^{2+}	mg L^{-1}	20,66	27,96
RAS	$(mmol_c\ L^{-1})^{0,5}$	1,34	1,71
DBO_{5dias}	mg O_2 L^{-1}	16,00	39,34
DQO	mg O_2 L^{-1}	63,48	97,68
Alcalinidade	mg $CaCO_3$ L^{-1}	28,70	195,54
Cloretos	mg Cl^- L^{-1}	48,80	155,06
E. coli	NMP (100 mL)$^{-1}$	93,85	108,20
Ovos de Helmintos	ovos L^{-1}	zero	zero

RAS – Razão de adsorção de sódio; DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; DQO – Demanda química de oxigênio; CEa – Condutividade elétrica aparente.

regressão múltipla de acordo com o modelo experimental. Quando verificado efeito significativo na análise de variância, as médias obtidas nos diferentes tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional para análises estatísticas "SAEG 9.1", desenvolvido pela Fundação Arthur Bernardes da Universidade Federal de Viçosa (2001) e o programa computacional "Excel".

Na Figura 2 tem-se uma vista da área do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características da água e do esgoto utilizados

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises dos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do esgoto efluente da última lagoa de estabilização.

De acordo com WHO (2006), os valores encontrados para E. coli e ovos de helmintos nas análises de água e esgoto tratado, estão dentro dos padrões aceitáveis para irrigação de culturas forrageiras.

Em relação aos parâmetros químicos (condutividade elétrica aparente – CEa e Razão de Adsorção de Sódio – RAS), tanto a água quanto o efluente final do sistema de lagoas de estabilização apresentaram grau de restrição baixo a moderado para uso em irrigação, segundo Ayers; Westcot (1991), não representando riscos de alterações estruturais do solo.

Características do solo

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo, textura franca arenosa média, fase caatinga hiperxerófila relevo plano (EMBRAPA, 1999). Este tipo de solo apresenta bom desempenho agrícola, com limitações decorrentes da fertilidade natural e da textura arenosa em superfície.

A Tabela 2 contém dados sobre as características físicas do solo na área experimental, antes do início do plantio, enquanto na Tabela 3 são apresentados seus principais atributos químicos.

O solo apresentou acidez média a baixa, baixo a médio teores de Ca, baixos teores de Mg, Na e K, com baixas concentrações de sais (CE), consequentemente, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), conforme TROEH; THOMPSON (2007).

Tabela 2 – Atributos físicos do solo da área da pesquisa, antes da implantação do experimento. Dezembro de 2007.

Profundidade (m)	Composição Granulométrica (%)				Classificação textural
	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	
0,00 – 0,22	46,9	40,0	4,9	8,2	Areia franca
0,22 – 0,65	34,5	48,2	6,3	10,9	Areia franca

Tabela 3 Atributos químicos do solo da área nas profundidades 0,00 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, antes da implantação do experimento. Dezembro de 2007.

Profundidade de 0,00 – 0,20 m		
Parâmetro químico	Unidades	Concentrações
P assimilável	$mg.kg^{-1}$	41
K	$cmol_c.kg^{-1}$	0.08
Mg	$cmol_c.kg^{-1}$	1,20
Ca	$cmol_c.kg^{-1}$	1,10
Na	$cmol_c.kg^{-1}$	0,04
MO	$g.\ kg^{-1}$	5,58
N	$g.\ kg^{-1}$	0,33
pH	-	6,4
CE	$dS.m^{-1}$	0,26
Profundidade de 0,20 – 0,40 m		
Parâmetro químico	Unidades	Concentrações
P assimilável	$mg.kg^{-1}$	42
K	$cmol_c.kg^{-1}$	0,05
Mg	$cmol_c.kg^{-1}$	0,09
Ca	$cmol_c.kg^{-1}$	1,00
Na	$cmol_c.kg^{-1}$	0,14
MO	$g.\ kg^{-1}$	3,52
N	$g.\ kg^{-1}$	0,18
pH	-	5,4
CE	$dS.m^{-1}$	0,24

Dados pluviométricos

Na região da pesquisa, ocorrem anos de chuvas excessivas e anos de baixas precipitações com períodos de estiagem prolongados. A distribuição de chuvas durante o ano é muito irregular, com cerca de 90% das precipitações ocorrendo no primeiro semestre, sendo o período de março a maio o mais chuvoso (ARAÚJO, 1999).

A medição das chuvas foi realizada diariamente, utilizando um pluviômetro instalado na área do experimento. Na Figura 3 (pág. seguinte) constam as médias mensais da precipitação pluvial no período de março a agosto de 2008.

A temperatura média anual variou de 26ºC a 28ºC, com máximas em torno de 36°C.

Matéria seca e produtividade do capim Tifton 85

Na Tabela 4 constam os resultados da análise de variância da matéria seca e da produtividade, verificando-se que não ocorreu efeito significativo (p?0,05), pelo teste F, para as lâminas de esgoto aplicadas. Ambos os parâmetros analisados não se ajustaram a nenhum modelo de regressão.

Figura 3. Médias mensais da precipitação pluvial no período de março a agosto de 2008.

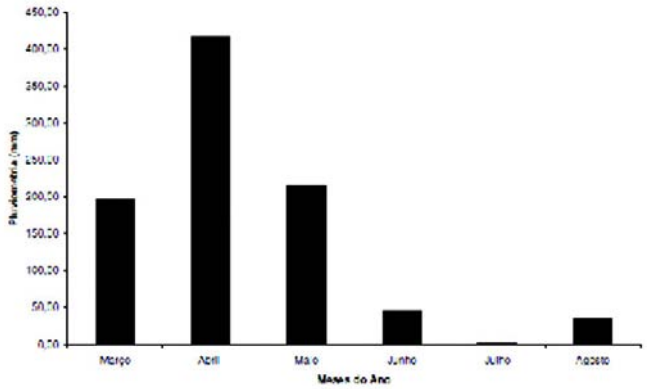


Tabela 4. Resumo das análises das variâncias da matéria seca e produtividade do capim Tifton 85. 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Matéria Seca	Produtividade
Tratamentos	4	0,013^{NS}	397,68^{NS}
Resíduo	15	0,010	911,34
CV (%)	-	21,81	37,35

NS – Não significativo; GL – Grau de liberdade.

A concentração de matéria seca na planta é determinante para verificar-se a melhor ingestão de nutrientes. Assim, uma planta com maior quantidade de matéria seca está ligada a um maior potencial energético. O maior consumo de matéria seca contribui para um melhor ganho de peso do animal. Como isso, pode-se afirmar que qualquer lâmina de esgoto aplicada no capim Tifton 85 apresentará uma concentração de matéria seca e um índice de produtividade equivalente à água aplicada com adubação. Logo, a menor lâmina de esgoto (132 mm ano^{-1}) apresenta menor gasto em energia elétrica (bomba de irrigação), além de apresentar menor risco em relação à salinização e sodicidade do solo, e possíveis contaminações do lençol freático.

Estes resultados podem ser considerados similares aos obtidos por Benevides (2007), que, trabalhando com efluentes de esgoto tratado na irrigação do capim Tanzânia, na mesma região, constatou que nos tratamentos irrigados com esgoto, principalmente os que foram adubados, os níveis de matéria seca foram ligeiramente superiores aos obtidos com irrigação com água de poço. Logo, a irrigação com esgoto apresentou uma melhor produção de forragem e, consequentemente, proporcionou um potencial energético de capim Tanzânia. Contudo, o autor afirma que os tratamentos que receberam adubação não foram superiores aos outros, indicando uma qualidade de nutrientes já satisfatórios na composição do efluente utilizado na irrigação, contribuindo, assim, para um bom desenvolvimento do capim.

Também, Queiroz *et al.* (2001), avaliando algumas forrageiras de verão, observaram que o capim Tifton-85 apresentou melhor desempenho agronômico utilizando rampas de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial.

Já Santos (2004) observou que a produção de massa seca do capim Tifton 85 foi reduzida no período de inverno, independentemente dos tratamentos, devido à estacionalidade da produção observada para forrageiras. No entanto, conclusões sobre a eficiência da irrigação com efluentes dependem não somente de estudos relacionados à produção de matéria seca, mas também de estudos sobre a nutrição mineral do capim.

Fonseca *et al*. (2001) afirmaram que o teor de matéria seca é menor nas forrageiras irrigadas com esgoto, devido o crescimento exuberante da vegetação fertirrigada com esgoto, ou seja, o capim coastcross irrigado com esgoto, para todos os quatro cortes, obteve uma menor matéria seca do que o que não recebeu esgoto, porque a disponibilidade de água e nutrientes fez com que houvesse a produção de uma massa verde mais volumosa, embora menos concentrada.

Análise químico-bramatológica do capim Tifton 85

Pelos quadrados médios do bloco, verificou-se efeito significativo nas lâminas de esgoto aplicadas, sobre as concentrações de nitrogênio, fósforo e proteína bruta, referentes ao capim Tifton 85 ($p<0,05$) pelo teste F (Tabela 5).

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios						
		N	P	K	Ca	Mg	Na	PB
Tratamentos	4	0,17*	0,17*	0,10^{NS}	0,004^{NS}	0,001^{NS}	0,062^{NS}	8,16*
Resíduo	15	0,041	0,052	0,23	0,001	0,001	0,12	2,19
CV (%)	-	10,55	15,15	15,47	9,72	10,28	19,19	11,69

Tabela 5. Resumo das análises das variâncias dos parâmetros químico-bramatológicos do capim Tifton 85. 2008.

NS – Não significativo; GL – Grau de liberdade; PB – Proteína bruta.
(*) Significativo a 5 %, pelo Teste F.

Benevides (2007), trabalhando com capim Tanzânia irrigado com esgoto tratado, concluiu que, independentemente da irrigação com esgoto, com ou sem fertilizantes artificiais, há uma tendência de melhor

qualidade do capim, indicando uma qualidade de nutrientes já satisfatória na composição do efluente utilizado na irrigação, contribuindo, assim, para um bom desenvolvimento da forrageira.

Observa-se, na Tabela 6, que houve diferença significativa nos teores de nitrogênio, fósforo e proteína bruta ao nível de significância de 5%, nos distintos tratamentos.

Tabela 6. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e proteína bruta (PB), em função das lâminas de esgoto. 2008.

Tratamentos	N(%)	P(%)	PB(%)
1 (testemunha)	1,18 b	1,56 b	10,16 b
2 (132 mm ano^{-1})	1,45 a,b	1,96 a,b	13,12 a,b
3 (265 mm ano^{-1})	1,63 a,b	2,07 a	13,69 a
4 (530 mm ano^{-1})	1,59 a,b	2,04 a	13,35 a,b
5 (1061 mm ano^{-1})	1,69 a	1,98 a,b	13,05 a,b
DMS	0,50	0,44	3,24

DMS - diferença mínima significativa.

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p?0,05).

Verifica-se que o tratamento 3 (265 mm ano^{-1}) apresentou diferença significativa em relação à testemunha no teor de proteína bruta, 13,69 % e 10,16 %, respectivamente. Quanto às concentrações de nitrogênio no capim, apenas o tratamento 5 (1061 mm ano^{-1}) apresentou efeito significativo em relação à testemunha, 1,69 % e 1,18 %, respectivamente.

As concentrações de proteína bruta acima de 7% são bem correlacionadas com o consumo, porém, abaixo desse nível ocorre decréscimo na ingestão pelos animais (VAN SOEST, 1994). Considera-se que é recomendado de 8,5% a 10,7% de proteína bruta na matéria seca, para manutenção e ganho no peso dos animais (NRC, 1996).

Benevides (2007) encontrou concentrações de proteína bruta no capim Tanzânia, irrigado com esgoto tratado, acima de 14%. Fonseca *et al*. (2001) também encontraram altos valores protéicos no capim *coastcross* cultivado com esgoto, em todos os cortes, registrando-se valores médios de 18,7 e 19,6%, enquanto para o cultivo sem esgoto registrou-se valor médio de 11%.

Obteve-se, também, que o tratamento 3 (265 mm ano-1) e tratamento 4 (530 mm ano^{-1}) apresentaram diferença significativa em relação à testemunha, quanto ao teor de fósforo, 2,07 %, 2,04 % e 1,56 %, respectivamente.

Fonseca *et al*. (2001) determinaram maiores teores de fósforo na matéria seca do capim coastcross cultivado com esgoto, em relação à cultivada sem esgoto, nos quatro cortes efetuados. Salientaram que houve uma tendência de decréscimo do teor de fósforo com o envelhecimento da planta, principalmente na forragem cultivada sem esgoto, afirmando que isso pode ocorrer em razão da atividade metabólica da planta, que reduz com a idade. Os autores também não encontraram variação nos teores de cálcio, potássio e magnésio no capim *coastcross* irrigado com esgoto, para todos os cortes.

CONCLUSÕES

O uso das lâminas de esgoto tratado sem adubação proporcionou produtividade e produção de massa seca do capim Tifton 85 equivalentes à testemunha (irrigada com água de poço).

Os resultados das análises químico-bramatológicas para os parâmetros nitrogênio (N), proteína bruta (PB) e fósforo (P) apresentaram, para o capim Tifton 85, níveis de concentração satisfatórios quando aplicadas as lâminas 132, 265, 530 e 1061 mm ano^{-1}.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – American Public Health Associotion. *Standart Methods for the examination of water and wastewater.* In: EUA. 19 ed., Washington: D. C. APHA/AWWA-WPCF, 1995.

ARAÚJO, L. F. P. Lagoas de estabilização na Região Metropolitana de Fortaleza – RMF: Qualidade e potencialidades de reuso de efluente final. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. *Official Methods of Analysis*. In: EUA. 15 ed., Washington: D. C., 1990.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 1991.

AZEVEDO, M. R. Q. A.;KONIG, A. BELTRÃO, N. E. M.; CEBALLOS, B. S. O.; TAVARES, T. L. Análise comparativa da produção de milho irrigado com água residuária tratada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Anais... Rio de Janeiro: Abes, 2005.

BENEVIDIS, R. M. Aspectos sanitários e agronômicos do uso de esgotos tratados na irrigação do capim Tanzânia (Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia) – Aquiraz, Ceará. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FONSECA, S. P. P. ; SOARES, A. A. ; MATOS, A. T. ; PEREIRA, O. G. Avaliação do valor nutritivo e contaminação fecal do capim coastcross cultivado nas faixas de tratamento de esgo-

to doméstico pelo método do escoamento superficial. Engenharia Agrícola, v. 21, n. 3, p. 293-301, 2001.

GOMES FILHO, R. R.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; MARTINEZ, H. E. P. Remoção da carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 5, n. 1. p. 131 – 134, 2001.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. *Ciência e Cultura*, 36. p. 1953-1958, 1984.

NACIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of domestic animals*. Number 4. Nutrients requirements of beef cattle. 5 ed. Washington, DC: Nacional Academy of Science, 1996.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O.G.; OLIVEIRA, R. A. The dry matter yield of forage-grass species in overland flow. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11. Fortaleza: ABID. Anais..., Fortaleza, p. 166-1720, 2001.

RODRIGUES, B. H. N.; LOPES, E. A.; MAGALHÃES, J. A. Teor de proteína bruta do Cynodon spp. cv. Tifton 85 sob irrigação e adubação nitrogenada, em Parnaíba, Piauí. Teresina: Embrapa Meio Norte, Teresina, 2005. (Comunicado Técnico).

SANTOS, A. P. R. Efeito da irrigação com efluente tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim Tifton 85. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVA, E. A.; RIBEIRO, T. R.; PEREIRA, J. C. Avaliação da qualidade de uma pastagem natural utilizando novilhos fistulados no esôfago e o corte manual. Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Anais... Fortaleza, CE, 1996.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. *Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002.

TONATO, F.; PEDREIRA, C. G. S. O capim Tifton 85. Disponível em: <http://www. planoconsultoria.com.br/site/circular7html > Acesso em: 17 mar. 2008.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. *Solos e fertilidade do solo*. 6ª ed. São Paulo: Andrei, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Sistema para análise Estatísticas, SAEG V-9.1. In: Minas Gerais. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, Viçosa, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará. In: Ceará. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

Van SOEST, P. J. *Nutricional ecology of the ruminant*. New York: Cornell University, 1994.

VILELA, D.; ALVIM, M. J. Manejo de pastagens do gênero Cynodon: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 15. 1998, Piracicaba, Anais... Piracicaba: FEALQ/ESALQ, p. 23 – 54, 1999.

WHO. *Guidelines for the safe use of wastewaster, excreta and greywater.* Volume 2. Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Prosab / Finep, ao CNPq, e à Cagece (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), pelo apoio à realização da pesquisa.

Características químicas do solo com aplicação de água residuária na cultura de alface por diferentes sistemas de irrigação

VARIATION OF SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS DUE TO WASTEWATER APPLICATION IN LETTUCE CROP BY IRRIGATION SYSTEMS

Delvio Sandri[1]
Edson E. Matsura[2]
Roberto Testezlaf[3]

[1]Dr. em Eng. Agrícola, Pós-doutor UnB, Prof. Nível V da Universidade Estadual de Goiás
[2]Dr. em Eng. Agrícola, Prof. Titular. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas
[3] Ph.D. em Eng. Agrícola, Prof. Titular . Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas

Endereço: BR 153, n. 3.105, CP 459, 75132-400, Anápolis, GO - Brasil - e-mail: sandri@ueg.br.

RESUMO

*Objetivou-se avaliar a variação dos constituintes químicos do solo, nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, devido à aplicação de água residuária, comparando com água proveniente de um depósito de fonte superficial, durante dois ciclos da alface (*Lactuca sativa L.*), cv "Elisa", utilizando os sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial. A concentração de sódio no 1º ciclo elevou-se nos tratamentos irrigados com água residuária, em ambas as camadas de solo; enquanto que o manganês elevou-se na camada de 0-0,10 m na irrigação por aspersão e gotejamento superficial. No 2º ciclo os tratamentos irrigados com água residuária apresentaram elevação do nitrogênio total. A irrigação com água residuária manteve os constituintes químicos do solo dentro dos limites aceitáveis, não apresentando, de maneira geral, correlação entre os parâmetros químicos do solo e os sistemas de irrigação.*

ABSTRACT

*The purpose is to evaluate the variation of soil chemical constituents, in the soil layers of 0-0,10 m and 0,10-0,20 m, due to wastewater and surface water reservoir applications, during two cycles of the lettuce crop (*Lactuca sativa L.*), cv "Elisa", using sprinkle, surface and subsurface drip irrigation systems. The elevation of sodium concentration in the 1st cycle for the treatments irrigated with wastewater, in both soil layers; the manganese concentration increased in this 1st cycle at the soil layer of 0-0,10 m for the sprinkler and surface drip irrigation. In the 2nd cycle, the treatments with wastewater presented an elevation of total nitrogen. The wastewater irrigation kept the analyzed soil chemical constituents within the acceptable levels, it was not observed correlation between the variations of soil chemical parameters and irrigation systems.*

Palavras-chave: irrigação; características químicas do solo; água residuária.
Keywords: irrigation; chemical characteristics of soil; wastewater.

INTRODUÇÃO

A irrigação de culturas com água residuária foi introduzida inicialmente em propriedades rurais na Europa, América do Norte e Austrália, tornando-se popular em fins do século XIX e início do século XX. Porém com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento das águas residuárias e da preocupação com a contaminação por microrganismos, houve significativa redução do uso destas águas para fins de irrigação, tornando-se menos popular e praticamente desaparecendo por completo logo após a Primeira Guerra Mundial (STEIN e SCHWARTZBROD, 1990).

Nas duas últimas décadas, houve um aumento na retomada desta prática, tanto em países industriali-

zados como em desenvolvimento, devido a fatores como a escassez de água, especialmente em zonas áridas, semi-áridas e em regiões subtropicais, onde ocorre elevada concentração populacional e industrial, resultando em maior demanda de oferta de água, reconhecimento da presença de nutrientes no esgoto doméstico, reduzindo as despesas com fertilizantes, custo elevado das estações de tratamentos avançados de efluentes, melhor aceitação sócio-cultural e reconhecimento do valor desta prática como responsável pelo planejamento, melhor uso da água e do avanço tecnológico. Novos projetos de disposição e reuso de água residuária são verificados todos os anos em várias regiões do mundo como na China, Oriente Médio e região do Mediterrâneo, América do Sul, Estados Unidos, dentre outros (ANDRADE NETO, 1992 e FRIEDLER et al. 1996).

Segundo Tarchitzky *et al*. (2007) a utilização de águas residuárias tratadas para irrigação das culturas é uma alternativa para substituição do uso água natural, válido para todos os paises nos quais a água é escassa. Em regiões áridas e semi-áridas, o uso de águas residuárias permitiu disponibilizar maiores quantidades de água natural para uso doméstico.

A aplicação de efluentes ao solo é vista como forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas podendo reduzir os custos com tratamento e ainda servir como fonte de nutriente para as plantas reduzindo, assim, os custos, com a aquisição de fertilizantes químicos comerciais (MEDEIROS *et al*., 2005).

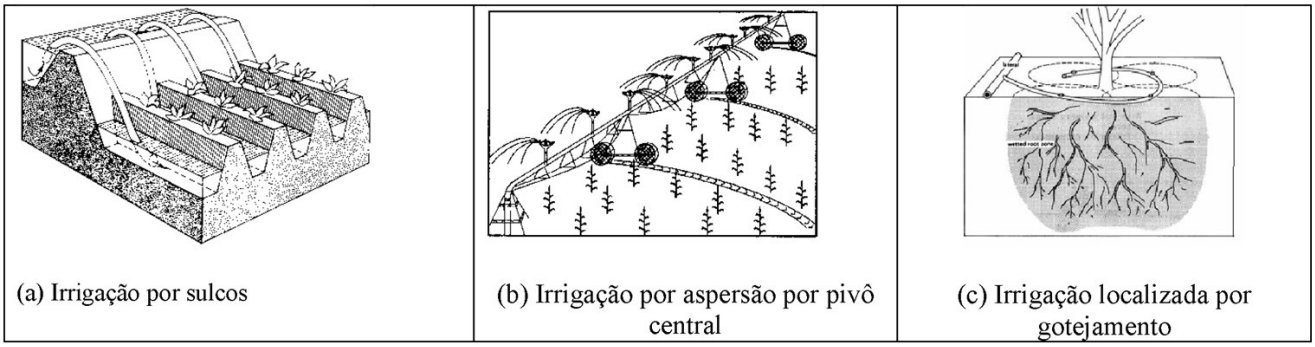
A aplicação de efluente secundário na irrigação por gotejamento de tomate, pimenta, cebola, pepino, feijão e melão, foi estudado por Neilsen et al. (1989), concluindo que após 4 anos de irrigação, o conteúdo de sódio nos primeiros 0,30 m de solo, não foi prejudicial para as culturas. A camada de solo de 0-0,15 m apresentou menor valor de cálcio trocável e maior de magnésio não trocável e uma grande mudança na concentração de sódio trocável, quando comparada ao solo irrigado com água superficial. A condutividade elétrica não foi afetada, entretanto, a longo tempo de uso de efluentes, requererá monitoramento do balanço de cátions no solo, restringindo a solubilidade de muitos micronutrientes, incluindo o zinco.

Em um outro trabalho Jnad *et al.*, (2001a), analisaram as mudanças nas características químicas do solo devido a aplicação de efluente tratado em tanque séptico (tratamento primário) seguido de leitos cultivados com macrófitas (tratamento avançado) utilizando o gotejamento subterrâneo como sistema de disposição no solo em quatro locais diferentes. Constatou que a aplicação de água residuária resultou em aumento significativo de sódio no solo quando a concentração do mesmo no efluente era alta, e a concentração inicial no solo era baixa. A concentração de P aumentou significativamente próximo do emissor e na superfície do solo, por estar a linha de gotejador instalada a uma profundidade pequena. Não houve uma mudança drástica na concentração de nitrogênio total, Ca, Mg, K, carbono orgânico total e no conteúdo de sais no perfil do solo. Ainda de acordo com estes autores, a aplicação de água residuária utilizando a irrigação por gotejamento subterrâneo é relativamente recente, por isso poucas informações são encontradas sobre o impacto do uso deste tipo de água sobre as propriedades químicas do solo nas vizinhanças do emissor.

De uma maneira geral segundo Leal *et al.* (2009), a irrigação com águas residuárias pode beneficiar as culturas agrícolas com água e nutrientes essenciais (especialmente nitrogênio), observaram mudanças de pequena magnitude no pH e de outros cátions trocáveis do solo ao longo do tempo de irrigação da cultura da cana-de-açúcar. Observam que a irrigação com águas residuárias deverá adquirir importâncias crescentes, exigindo atenção detalhada ao balanço entre o aporte de nutrientes via irrigação e as quantidades requeridas para a otimização da produtividade da cultura.

Para Duarte *et al.* (2008) a irrigação com esgoto sem tratamento adequado pode afetar a fauna e flora, transmitir doenças pelo contato com os trabalhadores e contaminação das culturas irrigadas, pode causar toxidade do solo, contaminação dos aqüíferos, especialmente por nitratos. Neste sentido é muito impor-

Figura 1 - Diferentes métodos de aplicação de água de irrigação (adaptado, FAO 1988).



(a) Irrigação por sulcos

(b) Irrigação por aspersão por pivô central

(c) Irrigação localizada por gotejamento

tante conhecermos as diferentes maneiras de aplicação da água residuária a partir da irrigação. Podemos dividir a irrigação baseada na quantidade de água aplicada e tipos de equipamentos empregados. Desta forma teremos a irrigação por gravidade ou superfície, por aspersão e localizada. Estes métodos são ilustrados pelas Figuras 1a, b e c, onde podemos verificar a forma de distribuição de água na planta e no solo.

Um dos primeiros métodos de aplicação de água residuária utilizado foi a da irrigação por superfície devido ao custo baixo de aplicação e tecnologia empregada. No entanto este método tinha alguns problemas como o odor exalado e o pouco controle da água, provocando a perda por percolação profunda. O método é ainda bastante utilizado em condições topográficas adequadas e, sobretudo com água residuárias oriunda da suinocultura e das agroindústrias. O segundo método de aplicação, o de aspersão possui a característica de distribuição de água, imitando a chuva e seu uso contempla as culturas que sua parte aérea não são comestíveis.

Segundo Armon *et al*. (1994), a irrigação de culturas sem controle com efluentes pode se tornar um dos principais problemas de saúde pública. Um estudo feito por estes autores, utilizando a irrigação por aspersão para as culturas da alface, salsa, flores, couve, cebola, cenoura, rabanete e tomate, com dois tipos de efluentes, mostrou uma clara correlação entre a qualidade do efluente e o grau de contaminação nos vegetais irrigados com efluentes altamente contaminados por coliformes fecais e *Salmonella spp*. A irrigação por aspersão pode aumentar os efeitos contaminantes nas culturas devido ao alto contato entre o efluente e o vegetal.

A irrigação por aspersão com água residuária é mais perigosa que outros métodos em termos de saúde pública. Pode formar aerossóis, contendo microrganismos, que são transportados pelo vento a distâncias superiores a um quilômetro, causando riscos a saúde das pessoas devido a inalação de patógenos presentes nos aerossóis (SCALOPPI e BAPTISTELLA, 1986).

Dentre todos os métodos de irrigação, a localizada possui características importantes para a aplicação de água residuária por propiciar uma melhor eficiência de aplicação, reduzindo a possibilidade de contaminação das culturas, porém, está sujeita a entupimentos, exigindo a filtração da água antes de atingir os gotejadores. Este método permite o uso da fertirrigação, ou seja, a aplicação de fertilizantes na água de irrigação. Segundo Bastos *et al*. (2003), na fertirrigação a aplicação de fertilizantes é monitorada, de maneira a permitir o seu parcelamento, nos diversos estágios da cultura, suprindo suas necessidades nutricionais. Desta forma as águas residuárias de esgoto domestico pode ser uma fonte complementar de nutrientes as plantas.

Nas propriedades localizadas no "cinturão verde" do município de Campinas, SP e outros grandes centros urbanos do Brasil, são cultivadas várias hortaliças, a maioria de ciclo curto, sendo a alface a que apresenta maior importância econômica, pois compreende a hortaliça folhosa de maior produção e consumo, visto que, a nível de Estado de São Paulo o consumo *per capita* foi estimado em 2 kg por pessoa ao ano, sendo 40% dos seus gastos totais com verduras destinados à compra da alface, além da importância nutricional, já que, encontra-se presente regularmente na dieta da população brasileira

Dado as características dos métodos de aplicação de água de irrigação, este trabalho teve como objetivo conhecer as características químicas do solo, de uma cultura de alface irrigada partir de uma água residuária tratada com leitos cultivados com macrófitas e água do depósito de fonte hídrica superficial. Os seguintes métodos de irrigação foram utilizados: por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP), Campinas, SP, com Latitude de 22º 53'S e Longitude de 47º 05'. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico A textura do solo na camada de 0-0,20 m, foi classificada como argilosa (56,9% de argila, 19,2% de silte e 23,9% de areia). Realizou-se dois ciclos da cultura da alface (*Lactuca sativa L.*) cv Elisa, compreendendo os períodos de 08/06 a 23/07/01 (1º ciclo) e de 17/08 a 03/10/2001 (2º ciclo). O clima, segundo a classificação de Köppen, é uma transição entre Cwa e Cwf, isto é, subtropical de altitude, seco no inverno e chuvoso e quente no verão, com precipitação média anual em torno de 1370 mm, temperatura média anual de 21,7ºC e umidade relativa do ar de 66,2%.

A aplicação de água para a cultura foi diária, determinando-se a lâmina de irrigação a partir da evapotranspiração de referência do dia anterior, obtida pela equação de Penman-Monteith a partir de dados de uma estação climática automática, instalada a 150 metros do local do experimento. Utilizaram-se os sistemas de irrigação por aspersão (aspersores com vazão de 0,45 $m^3\ h^{-1}$, espaçados de 12,00 x 12,00 m) e gotejamento subterrâneo e superficial (utilizaram-se duas linhas de gotejadores tipo labirinto por canteiro, totalizando 6 linhas de gotejadores por tratamento, com espaçamento entre emissores na linha lateral de 0,40 m e vazão de 2,3 $L\ h^{-1}$). No gotejamento subterrâneo as linhas laterais foram enterradas a uma profundidade de 0,10 m da superfície do solo.

O monitoramento químico do solo e da água de irrigação foi realizado nos dias 6, 26 e 46 após o transplantio (DAT) para o 1º ciclo e aos 7, 27 e 49 DAT para o 2º ciclo. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, no início, no

meio e no final de cada canteiro, que foram misturadas e resultaram em três amostras compostas (uma por canteiro) por camada estudada. O local de coleta das amostras de solo no canteiro foi sempre entre duas plantas de alface, em uma das linhas de plantas centrais consideradas úteis. Os sistemas de tratamento, assim como a rede de distribuição de água com as duas qualidades usadas são apresentados pela Figura 2 e Figura 3, descrito abaixo.

Para cada sistema de irrigação foram construídos 3 canteiros (repetições), com 1,20 m de largura, 10,0 m de comprimento e 0,2 m de altura, no mesmo local durante os dois ciclos. Foram incorporados na camada de 0-0,20 m, tanto no 1º como no 2º ciclos, 33 kg ha^{-1} de N, 116 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 67 kg ha^{-1} de K_2O, considerando-se a recomendação de Trani e van Raij (1997) e mais 20,8 toneladas por ha de um condicionador de solo à base de turfa. Em cobertura foram aplicados, por vez, 15 g m^{-2} de sulfato de amônia com 20% de N, aos 20 e 32 dias após o transplantio (DAT) no 1º ciclo e aos 10, 20 e 32 DAT no 2º ciclo. Constatou-se, no 1º ciclo uma precipitação de 40 mm, concentrada na última semana antes do final do mesmo, enquanto no 2º ciclo foi de 197 mm, distribuídos ao longo do ciclo da cultura.

Tabela 1 - Análise da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial durante o 1º ciclo aos 06, 26 e 46 DAT.

	Aspersão					
	Água residuária			Água do depósito		
Parâmetro	06	26	46	06	26	46
	mg.L^{-1}					
Dureza	100,7	87,3	85,7	21,15	18,2	20,7
Enxofre	2,0	3,0	3,0	1,0	1,0	1,0
Ferro	0,5	0,5	2,0	0,8	0,6	0,3
Boro	0,1	0,1	0,1	*	*	*
P total	1,65	2,10	1,30	0,02	0,15	0,01
P_2O_5	3,75	4,85	2,80	0,05	0,34	0,03
NH_4^+ - N	26,50	31,50	28,75	0,00	0,00	0,00
NO_3^- - N	0,3	0,0	0,4	0,3	0,0	0,4
Sólidos suspensos totais	13	4	18	2	2	3
DBO_5	28	0	55	0	0	0
DQO	46	5	124	2	0	14
Sólidos dissolvidos totais[1]	323,8	290,6	331,5	33,9	24,3	30,7
Sódio (meq.L^{-1})	0,78	0,83	0,78	0,04	0,09	0,09
Cálcio (meq.L^{-1})	1,85	1,50	1,55	0,30	0,20	0,25
Magnésio (meq.L^{-1})	0,17	0,25	0,17	0,13	0,17	0,17
Potássio (meq.L^{-1})	0,23	0,23	0,28	0,03	*	0,01
RAS (mmol$_c$ L^{-1})$^{1/2}$	0,78	0,88	0,84	0,09	0,20	0,19
CE (dS.m^{-1})	0,51	0,45	0,52	0,05	0,04	0,05
Turbidez (FAU)	22	5	35	4	4	6
pH	7,3	7,3	7,1	6,4	7,2	6,7
	Gotejamento subterrâneo e superficial					
Dureza	98,2	78,2	88,2	28,65	20,7	23,2
Enxofre	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ferro	0,3	0,8	1,5	0,9	0,7	0,4
Boro	0,1	0,1	0,1	*	*	*
P total	1,60	1,45	1,10	0,02	0,04	0,01
P_2O_5	3,60	3,40	2,60	0,02	0,10	0,03
NH_4^+ - N	24,00	32,00	30,50	0,00	0,00	0,00
NO_3^- - N	0,5	0,1	0,5	0,3	0,0	0,4
Sólidos suspensos totais	42	12	100	1	3	3
DBO_5	33	6	22	3	0	0
DQO	9	8	62	0	0	0
Sólidos dissolvidos totais[1]	323,8	283,5	332,8	33,9	25,6	34,6
Sódio (meq.L^{-1})	0,65	0,74	0,87	0,04	0,09	0,09
Cálcio (meq.L^{-1})	1,80	1,40	1,60	0,45	0,25	0,30
Magnésio (meq.L^{-1})	0,17	0,17	0,17	0,13	0,17	0,17
Potássio (meq.L^{-1})	0,21	0,23	0,28	0,03	*	0,01
RAS (mmol$_c$ L^{-1})$^{1/2}$	0,66	0,84	0,93	0,08	0,19	0,18
CE (dS.m^{-1})	0,51	0,44	0,52	0,05	0,04	0,05
Turbidez (FAU)	54	8	43	4	1	6
pH	7,2	7,4	7,1	6,8	7,1	7,1

* Abaixo do limite de detecção; 1 Fonte: PAGANINI (1997), CE = condutividade elétrica, SDT(mg.L-1) = CE (dS.m-1) x 640.

Utilizou-se água residuária tratada com tanques sépticos modificados seguidos por leitos cultivados com macrófitas e água proveniente de depósito superficial, sendo a água coletada após o sistema de filtragem para a irrigação por gotejamento (Tabelas 1 e 2).

Os elementos químicos analisados no solo foram fósforo, potássio, sódio, nitrogênio total, manganês, cálcio, magnésio e sais totais. A técnica de determinação analítica utilizada seguiu os procedimentos descritos por Silva (1999). A avaliação estatística foi realizada comparando-se os valores médios dos tratamentos, independentemente dos sistemas de irrigação, apenas em função das épocas de coleta das amostras de solo (6, 26 e 46 dias após o transplantio - DAT para o 1º ciclo e aos 7, 27 e 49 dias após o transplantio para o 2º ciclo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor máximo na água residuária de Ca^{2+} foi de 1,85 meq L^{-1} no 1º ciclo e de 1,55 meq L^{-1} no 2º no ciclo, enquanto que o Na^{2+} foi de 0,87 meq L-1 e o Mg^2+ foi de 0,25 meq L^{-1}, tanto no 1º ciclo como no 2º ciclos (Tabelas 1 e 2), valores considerados normais para água de irrigação segundo Ayers e Westcot (1991). O valor da RAS considerando-se os dois ciclos foi de no máximo 0,97 mmolc $L^{-1\ 1/2}$ para a água residuária e de 0,23 mmolc $L^{-1\ 1/2}$ para a água do depósito, não de-

vendo causar efeitos negativos ao solo (Ayers e Westcot, 1991), sendo adequado entre 4,5 a 7,9 $mmol_c\ L^{-1}$ 1/2 (FEIGIN *et al.*, 1991). Os valores de N - NH4+ foram considerados críticos na água residuária para irrigação de hortaliças, com média de 28,9 mg L^{-1} no 1º ciclo e de 28,8 mg L^{-1} no 2º ciclo (TRANI, 2001), enquanto na água do depósito não se detectou sua presença. Na irrigação de hortaliças consumidas cruas o limite do nitrogênio amoniacal para pH = 7,5, situação deste trabalho, é de 3,5 mg L^{-1}; assim, os resultados obtidos estão acima dos padrões recomendados. Os valores normais de N - NH_4^+ em água de irrigação estão entre 0 e 5,0 mg L^{-1},nas em águas residuais domésticas ou das fábricas processadoras de alimentos, estão entre 10 e 50 mg L^{-1}. Os parâmetros S, Fe, B, K, P total, P_2O_5, N - NO_3^-, DQO, SDT, EC e pH, apresentaram valores dentro dos níveis aceitáveis para água de irrigação (AYERS & WESTCOT, 1991). Observa-se nas Tabelas 1 e 2 que o pH médio foi ligeiramente básico para a água residuária, em ambos os ciclos da alface, sendo que nas águas a serem utilizadas para irrigação, segundo os autores acima, recomendam que o valor se encontre entre 6,5 a 8,4, portanto, dentro do aceitável. Conforme Duarte *et al.* (2008) a concentração H^+ e OH^-, contida nas águas de irrigação, pode exercer influência na disponibilidade e absorção de nutrientes por parte das plantas, na estrutura e propriedades do solo e nos sistemas de irrigação.

Tabela 2 - Qualidade da água residuária e do depósito superficial utilizada na irrigação por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial no 2º ciclo aos 10, 25 e 47 DAT.

	Aspersão					
	Água residuária			Água do depósito		
Parâmetro	10	25	47	10	25	47
	mg.L^{-1}					
Dureza	78,2	83,2	89,8	18,2	15,7	18,2
Enxofre	3,0	3,0	4,0	1,0	1,0	2,0
Ferro	1,0	0,7	0,5	0,4	0,9	0,9
Boro	*	0,1	0,1	*	*	0,4
P total	1,50	2,60	1,50	0,05	0,02	0,13
P_2O_5	3,41	5,90	,41	0,12	0,04	0,32
NH_4^+ - N	35,75	32,25	36,00	0,00	0,00	0,00
NO_3^- - N	0,6	1,0	0,2	0,2	0,4	0,2
Sólidos suspensos totais	6,0	4,0	5,0	7,0	9,0	7,0
DBO_5	**	**	**	**	**	**
DQO	28,0	59,0	7,0	21,0	37,0	0,0
Sólidos dissolvidos totais[1]	325,1	327,7	390,4	31,4	28,8	30,7
Sódio (meq.L^{-1})	0,78	0,83	0,78	0,09	0,09	0,04
Cálcio (meq.L^{-1})	1,40	1,50	1,55	0,20	0,15	0,20
Magnésio (meq.L^{-1})	0,17	0,17	0,25	0,17	0,17	0,17
Potássio (meq.L^{-1})	0,21	0,28	0,31	0,01	0,01	0,03
RAS ($mmol_c\ L^{-1})^{1/2}$	0,88	0,90	0,82	0,20	0,22	0,10
CE (dS.m^{-1})	0,51	0,51	0,61	0,05	0,05	0,05
Turbidez (FAU)	7	3	9	9	12	14
pH	7,2	7,3	7,4	6,7	6,9	6,6
	Gotejamento subterrâneo e superficial					
Dureza	84,8	83,2	87,3	20,7	18,2	18,2
Enxofre	2,0	3,0	4,0	1,0	1,0	3,0
Ferro	1,1	0,8	0,5	0,4	0,9	0,9
Boro	*	0,1	0,1	*	*	0,2
P total	1,60	2,10	1,40	0,18	0,02	0,13
P_2O_5	3,40	4,80	3,25	0,42	0,05	0,31
NH_4^+ - N	36,50	32,75	38,75	0,00	0,00	0,00
NO_3^- - N	1,0	1,3	0,3	0,3	0,3	0,1
Sólidos suspensos totais	4,0	2,0	8,0	8,0	2,0	5,0
DBO_5	**	**	**	**	**	**
DQO	18,0	47,0	2,0	9,0	47,0	0,0
Sólidos dissolvidos totais[1]	333,4	336,0	409,6	37,1	32,0	30,7
Sódio (meq.L^{-1})	0,78	0,87	0,83	0,09	0,09	0,04
Cálcio (meq.L^{-1})	1,45	1,50	1,50	0,25	0,20	0,20
Magnésio (meq.L^{-1})	0,25	0,17	0,25	0,17	0,17	0,17
Potássio (meq.L^{-1})	0,26	0,28	0,31	0,01	0,01	0,03
RAS ($mmol_c\ L^{-1})^{1/2}$	0,85	0,95	0,88	0,19	0,20	0,10
CE (dS.m^{-1})	0,52	0,53	0,64	0,06	0,05	0,05
Turbidez (FAU)	3	7	14	10	5	12
pH	7,2	7,4	7,3	7,0	7,2	7,2

* Abaixo do limite de detecção; ** Análise não realizada; 1Fonte: PAGANINI (1997), CE = condutividade elétrica, SDT (mg.L-1) = CE (dS.m-1) x 640.

Nota-se uma mudança não regular dos valores de P entre as épocas de coleta de solo, em ambas as camadas analisadas, que pode ser atribuída ao fato de não se ter considerado a posição de coleta das amostras de solo em relação ao emissor e, sim, somente uma distância em relação à lateral de gotejadores que em virtude da baixa mobilidade no solo (Tabela 3). Nos tratamentos Gbr, Gbd, Gpr e Gpd no 1º ciclo, de maneira geral, houve tendência de elevação de P, embora não significativo, até aos 26 DAT, reduzindo aos 46 DAT, podendo ter sido influenciado pela absorção deste íon pela alface na segunda metade de seu ciclo, concordando com Duarte *et al*. (2008). Resultados contrários foram observados por Kouraa *et al*. (2002), quando irrigaram batatinha e alface com esgoto bruto, água residuária tratada e água potável, onde depois de um ano de cultivo não houve alterações nos teores de fósforo do solo, sendo que para ocorrer mudanças nas características químicas do solo, relatam que são necessários vários anos de irrigação, visto que a dinâmica deste ocorre muito lentamente.

Observou-se redução significativa de K dos 26 aos 46 DAT, especialmente no 2º ciclo, sendo que a difusão e a sua absorção são favorecidas

pela manutenção de alta concentração deste nutriente na solução do solo e pela ausência de impedimentos físico e químico, fatores que podem ter influenciado nos resultados obtidos, como também observado por Costa et al. (2009). Duarte et al. (2008) observou teores médios de potássio trocável no solo ao final de um ciclo da cultura do pimentão igual a 0,21 cmolc dm-3 para a água residuária filtrada por filtro de areia e discos, inferior aos obtidos neste trabalho. De acordo com Raij et al. (2001) teores de potássio trocável no solo acima de 6 mmolc dm^{-3} são considerados altos; entretanto, para exercer efeito deletério quanto à disponibilidade de cálcio e magnésio às plantas é necessário que as relações K/Ca e K/Mg estejam em desequilíbrio.

O Na^{2+} foi o elemento químico que apresentou maior elevação no solo, considerando o valor aos 6 em relação ao 46 DAT (Tabela 3), sendo que no 1º ciclo chegou a 188% no gotejamento subsuperficial para a camada de 0-0,10 m e de 166% na camada de 0,10-0,20 m. Notou-se tendência de elevação progressiva de Na nas três épocas de coleta de solo (6, 26 e 46 DAT) em todos os tratamentos e nas duas camadas de solo; concluiu-se que pode ter ocorrido que os teores de Na presente na água residuária tenham sido superiores à capacidade de absorção pela alface, promovendo acúmulo deste íon no solo, independente do sistema de irrigação, sendo mais evidente no 1º ciclo, enquanto que no 2º ciclo foi menos acentuado, possivelmente pela maior lixiviação, tanto pela água de irrigação como pela precipitação natural, que foi maior neste ciclo, acúmulo de Na trocável ao longo do tempo nos tratamentos irrigados, também foi comprovado por Leal *et al*. (2009).

Observou-se, no 1º ciclo, aumento significativo na concentração de NT, dos 6 aos 46 DAT nos tratamentos Ar, Gbd, Gpr e Gpd na camada de solo de 0-0,10 m e nos tratamentos Ar, Ad, Gpr e Gpd na camada de solo de 0,10-0,20 m (Tabela 3). Medeiros et al. (2005) ao contrário, não detectaram aumentos nas concentrações de NT com a aplicação de água residuária doméstica bruta, filtrada com filtro de areia e de disco e aplicada por gotejamento durante o período de 270 dias. No 2º ciclo a elevação foi significativa dos 27 aos 49 DAT nos tratamentos Ar, Gbr, Gbd e Gpr na camada de solo de 0-0,10 m, sendo maior no solo irrigado com água residuária na aspersão e gotejamento superficial. As elevações de NT sejam no 1º ou no 2º ciclos, são devidas à grande quantidade de N na água de

FIgura 2 - Sistema de captação, tratamento e distribuição da água residuária aos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

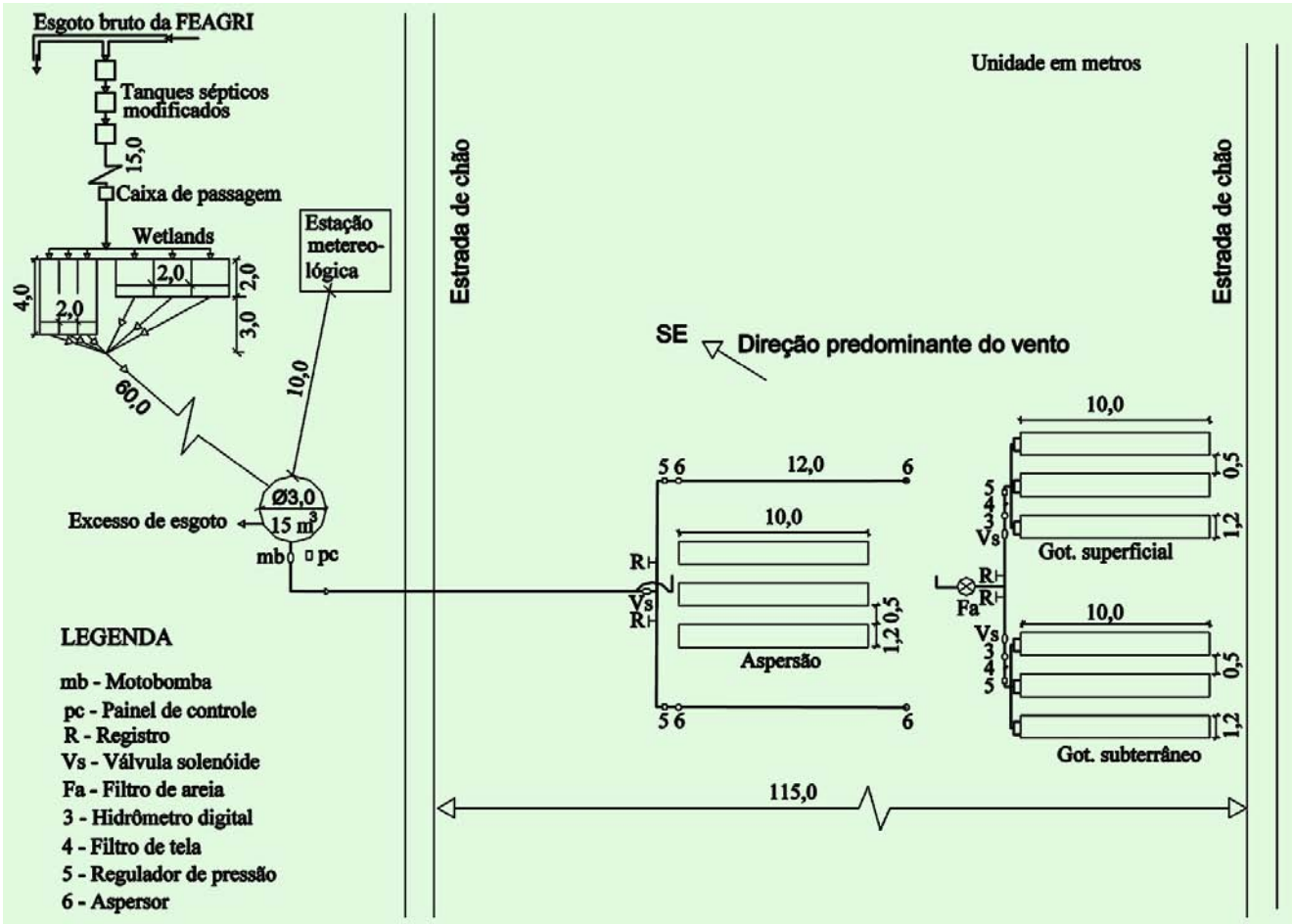


Tabela 3 - Valores médios de fósforo, potássio, nitrogênio total e sódio no solo irrigado com os tratamentos avaliados.

	Tratamentos											
	Ar	Ad	Gbr	Gbd	Gpr	Gpd		Ar	Ad	Gbr	Gbd	Gpr	Gpd
	1ºciclo							2º ciclo					
	Fósforo (mg dm^{-3})												
DAT	Camada de 0-0,10 m						DAT	Camada de 0-0,10 m					
6	47,7a	33,0b	55,7a	32,3a	48,3a	40,3a	7	44,3a	54,3a	59,7a	33,3a	55,0a	54,7a
26	52,3a	47,3a	57,3a	33,3a	40,7a	57,0a	27	61,7a	52,3a	63,7a	41,0a	49,3a	46,3a
46	44,3a	56,7a	50,0a	34,3a	60,7a	46,0a	49	42,3a	42,7a	63,3a	36,3a	48,0a	48,3a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	39,0a	32,0b	50,3a	36,0a	41,3a	35,7a	7	51,3a	42,7a	59,7a	25,0a	41,7a	47,0a
26	45,7a	40,3a	56,7a	25,7a	49,7a	44,0a	27	54,3a	42,3a	56,7a	24,7a	42,0a	39,7a
46	40,3a	53,0a	50,7a	35,0a	40,7a	51,0a	49	54,3a	48,3a	62,0a	31,3a	55,0a	40,0a
	Potássio (cmol dm^{-3})												
6	0,38a	0,49b	0,49a	0,45a	0,43a	0,63a	7	0,33a	0,70a	0,39a	0,40a	0,40a	0,40a
26	0,37a	0,72a	0,43a	0,44a	0,51a	0,46a	27	0,30a	0,60a	0,40a	0,40a	0,40a	0,40a
46	0,33a	0,70a	0,36a	0,41a	0,45a	0,44a	49	0,17b	0,40b	0,30a	0,20b	0,30a	0,30a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	0,34a	0,44b	0,57a	0,45a	0,43a	0,63a	7	0,30a	0,60a	0,36a	0,40a	0,45a	0,49a
26	0,40a	0,65a	0,42a	0,45a	0,52a	0,49a	27	0,30a	0,60a	0,39a	0,30a	0,37a	0,40b
46	0,39a	0,68a	0,38b	0,44a	0,45a	0,48a	49	0,30a	0,50a	0,24b	0,30a	0,33b	0,33b
	Nitrogênio total (cmol dm^{-3})												
6	1,8b	2,2a	2,0a	1,8b	1,8b	2,0b	7	2,9ab	2,6a	2,9ab	2,0b	2,4ab	3,0a
26	2,7a	2,7a	2,8a	2,3a	2,6a	3,4a	27	1,3b	2,4a	2,0b	2,0b	2,0b	2,4a
46	2,6a	2,4a	2,6a	2,6a	2,8a	3,2a	49	3,5a	3,2a	4,4a	3,5a	3,4a	2,6a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	1,5b	1,5b	2,4a	2,4a	1,8b	2,0b	7	2,0ab	1,8b	2,0b	1,1b	1,8ab	1,3b
26	2,7ab	3,0a	2,1a	3,5a	2,8a	3,2a	27	1,1b	1,5b	1,3b	1,3b	1,3b	2,0ab
46	3,0a	2,4ab	2,8a	3,0a	2,8a	3,0a	49	3,0a	2,8a	4,1a	2,6a	2,8a	2,8a
	Sódio (mg dm^{-3})												
6	7,0b	4,1b	6,0b	3,8a	6,4b	5,2a	7	12,2b	4,4a	8,6a	3,0a	7,8a	3,4a
26	8,6ab	4,8ab	10,0b	3,7a	8,5ab	6,8a	27	10,5b	5,6a	9,1a	3,8a	12,3a	5,7a
46	14,3a	6,0a	17,3a	4,5a	12,0a	6,7a	49	17,2a	5,0a	6,8a	2,9a	7,1a	3,9a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	6,7a	4,6a	6,3c	4,7a	7,9b	4,7a	7	12,3a	4,3a	8,9a	3,6a	9,4a	3,7a
26	9,5ab	6,4ab	11,9b	5,0a	9,9b	5,7a	27	11,8a	4,8a	9,0a	3,8a	14,5a	4,4a
46	10,0b	7,3b	16,8a	5,6a	15,2a	5,1a	49	15,3a	5,0a	10,6a	3,8a	10,5a	3,5a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a nível de 10% de de significância.

Ar - Aspersão com água residuária, Ad - aspersão com água do depósito, Gbr - gotejamento subterrâneo com água residuária, Gbd - gotejamento subterrâneo com água do depósito, Gpr - gotejamento superficial com água residuária e Gpd - gotejamento superficial com água do depósito

irrigação como pela aplicação em cobertura de sulfato de amônia.

O teor do Mn^{2+} do solo, de maneira geral (Tabela 4), no 1º ciclo em ambas as camadas de solo, apresentou tendência de elevação até aos 26 DAT e diminuição em relação aos 46 DAT, influenciada, possivelmente, pela absorção pelas plantas, uma vez que em ambos os tipos de água sempre se mantiveram abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado nas análises, sendo significativo entre no início e final do 1º ciclo nos tratamentos Ar, Ad e Gpr na camada de solo de 0-0,10 m. A disponibilidade do Mn^{2+} no solo depende, sobretudo do pH, do potencial de oxi-redução, da matéria orgânica e do equilibro com outros cátions, como o ferro, cálcio e magnésio.

O teor de Ca^{2+} no solo de maneira geral apresentou tendência de redução (Tabela 4), que segundo Jnad *et al.* (2001), pode ser devida à reação do Ca^{2+} com carbonato e sulfato presentes em alta concentração em efluentes e em virtude, também, a sua precipitação.

Observa-se, no 1º ciclo, elevação significativa no Mg dos 6 aos 46 DAT no tratamento Ad em ambas as camadas, sendo estas de 25%; já no 2º ciclo, se constatou elevação no teor de Mg somente no tratamento Ar, dos 7 as 49 DAT na camada de solo de 0,10-0,20 m, de 20%. Jnad *et al.* (2001), constataram que o teor de Mg foi sempre mais elevado no solo irrigado com efluente com tratamento secundário, que no solo controle, em todos os pontos analisados.

Figura 3 - Sistema de captação e distribuição da água do depósito superficial aos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento subterrâneo e superficial.

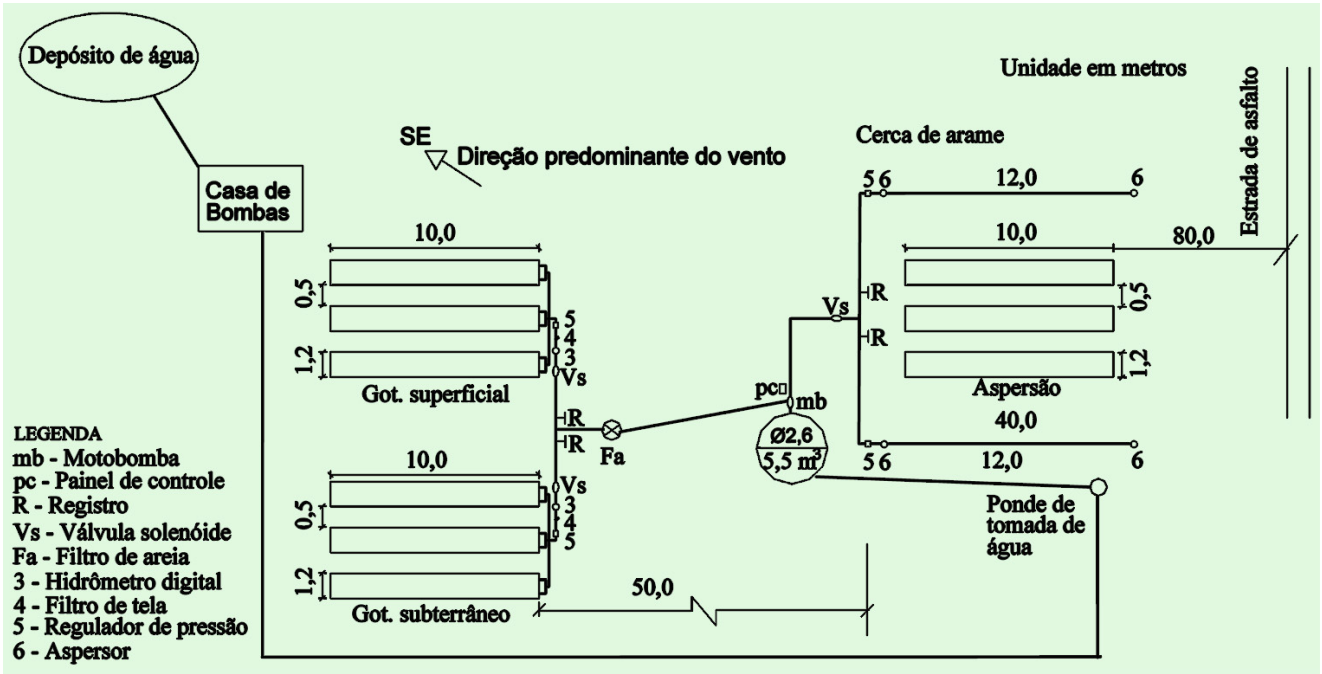


Tabela 4 - Valores médios de cálcio, manganês, magnésio e condutividade elétrica no solo irrigado com os tratamentos avaliados.

	Tratamentos												
	Ar	Ad	Gbr	Gbd	Gpr	Gpd		Ar	Ad	Gbr	Gbd	Gpr	Gpd
	1ºciclo							2º ciclo					
	Cálcio (mg dm^{-3})												
DAT	Camada de 0-0,10 m						DAT	Camada de 0-0,10 m					
6	4,4a	3,7b	4,9a	3,4a	4,4a	4,2a	7	4,3a	4,9a	4,6a	3,6a	4,9a	4,2a
26	4,2a	4,5a	4,5a	3,8a	4,5a	3,7a	27	4,5a	5,2a	4,6a	3,7a	5,0a	4,4a
46	4,3a	4,6a	4,7a	3,6a	4,4a	3,7a	49	4,6a	5,0a	4,2a	4,0a	4,5a	4,5a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	4,2a	3,8b	4,3a	3,6a	4,3a	4,3a	7	4,4a	4,9a	4,9a	3,5a	5,2a	4,0a
26	3,9a	4,3ab	5,1a	3,2a	4,4a	3,5a	27	4,4a	4,9a	4,8a	3,6a	4,8a	4,2a
46	4,2a	4,8a	4,2a	3,6a	4,5a	3,9a	49	4,7a	4,9a	4,5a	3,6a	4,5a	5,1a
	Manganês (mg dm^{-3})												
6	26,9b	24,6b	32,7a	24,9a	32,0b	34,8a	7	34,4a	53,5a	42,2a	31,6a	48,1a	30,2a
26	34,3a	41,2a	38,4a	29,6a	48,4a	33,8a	27	32,1a	43,8a	38,2a	28,8a	41,3a	37,2a
46	30,9a	41,3a	36,0a	26,8a	40,2a	32,7a	49	24,8a	34,1b	30,2a	21,4b	31,5b	28,7a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	27,7a	23,8b	33,1a	25,3a	35,9a	34,8a	7	33,0a	48,2a	45,7a	31,2a	54,7a	34,7a
26	35,5a	42,7a	36,7a	31,0a	49,1a	29,9a	27	31,8a	40,1a	36,8a	28,5a	42,7b	34,8a
46	34,3a	37,5a	36,5a	29,2a	42,2a	31,7a	49	30,2a	38,2a	26,8b	20,3b	34,5b	26,8a
	Magnésio (mg dm^{-3})												
6	1,2a	1,2b	1,5a	1,2a	1,4a	1,5a	7	1,4a	1,7a	1,7a	1,3a	1,5a	1,5a
26	1,3a	1,6a	1,8a	1,5a	1,6a	1,5a	27	1,5a	1,7a	1,6a	1,3a	1,5a	1,5a
46	1,2a	1,5a	1,4a	1,2a	1,4a	1,3a	49	1,5a	1,8a	1,7a	1,5a	1,6a	1,5a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	1,2a	1,2b	1,7a	1,3a	1,5a	1,5a	7	1,5ab	1,7a	1,8a	1,3a	1,8a	1,8a
26	1,3a	1,5a	1,4a	1,3a	1,5a	1,4a	27	1,4b	1,7a	1,7a	1,3a	1,5a	1,5a
46	1,2a	1,5a	1,3a	1,2a	1,3a	1,2a	49	1,8a	1,8a	1,8a	1,4a	1,7a	1,7a
	Condutividade elétrica (dS m^{-1})												
6	0,16a	0,15a	0,19a	0,13b	0,20a	0,13a	7	0,24a	0,17a	0,19a	0,16a	0,25a	0,15a
26	0,15a	0,17a	0,19a	0,12b	0,21a	0,13a	27	0,28a	0,28a	0,22a	0,18a	0,23a	0,17a
46	0,22a	0,19a	0,20a	0,19a	0,27a	0,18a	49	0,22a	0,14a	0,24a	0,23a	0,25a	0,21a
	Camada de 0,10-0,20 m												
6	0,14a	0,25a	0,25a	0,30a	0,35a	0,20a	7	0,24a	0,24a	0,28a	0,19a	0,34a	0,22a
26	0,19a	0,26a	0,15a	0,18b	0,17b	0,18a	27	0,27a	0,25a	0,25a	0,19a	0,25b	0,21a
46	0,18a	0,24a	0,17a	0,19b	0,21b	0,20a	49	0,20a	0,15b	0,22a	0,23a	0,24b	0,22a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a nível de 10% de de significância.

Ar - Aspersão com água residuária, Ad - aspersão com água do depósito, Gbr - gotejamento subterrâneo com água residuária, Gbd - gotejamento subterrâneo com água do depósito, Gpr - gotejamento superficial com água residuária e Gpd - gotejamento superficial com água do depósito

A condutividade elétrica, de maneira geral, não apresentou variações significativas (Tabela 4), no entanto, houve pequenas oscilações, atribuídas ao Na^{2+}, que atua sobre a dispersão das partículas, que depende do teor total eletrolítico na solução do solo, sendo que o aumento da salinidade reduz o potencial de dispersão do solo devido ao aumento de sodicidade (JNAD *et al.*, 2001).

De uma maneira geral a irrigação com água residuária manteve os elementos químicos do solo dentro dos limites aceitáveis para o bom desenvolvimento da cultura da alface nos três sistemas de irrigação avaliados.

CONCLUSÕES

O íon sódio foi o que apresentou maior elevação de seu teor no solo irrigado com água residuária em ambas as camadas de solo, sendo maior no sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. No 1º ciclo o manganês apresentou elevação nos tratamentos Ar e Gpr na camada de solo de 0-0,10 m. O nitrogênio total apresentou elevação no 1º ciclo no solo irrigado com água residuária, em ambas as camadas avaliadas na aspersão e gotejamento superficial. Os sistemas de irrigação utilizados para aplicação de água residuária mantiveram os constituintes químicos do solo dentro dos limites aceitáveis para o bom desenvolvimento da cultura da alface, não apresentando, de maneira geral, evidente correlação entre as variações observadas dos parâmetros químicos do solo com os sistemas de irrigação.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo auxílio concedido, e à Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.

REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, C.O. O uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9, 1991, Natal, Anais... Natal: Abid, p.1961-2006, Natal, RN, 1992.

ARMON, R.; DOSORETZ, C.G.; AZOV, Y.; SHELEF, G. Residual contamination of crops irrigated with effluent of different qualities: A field study. *Water Science and Technology*, v.30, n.9, p.239-248, 1994.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A *qualidade da água na agricultura*. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1.

BASTOS, R.K.X.; ANDRADE NETO, C.O.; CORAUCCI FILHO, B.; MARQUES, M.O. Introdução. In: *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. BASTOS, R.K.X (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMa. Projeto Programa de Saneamento Básico - PROSAB. 2003. 267p.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.1, p.56-62, 2009.

KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; OUAZZANI, N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). *Urban Water*, v.4, p.373-378, 2002.

DUARTE, A.S.; AIROLDI, R.P.S.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A. SOARES, T.M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.12, n.3, p.302-310, 2008.

FAO. Irrigation water management: irrigation methods, Series title: *Irrigation water management, Training manuals* 5. 1988. Disponível em :http://www.fao.org/docrep/S8684E/s8684e01.htm#preface.Acesso: 15 de Junho de 2009.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protec-*

tion. Berlin: Springer, 1991. 224p.

FRIEDLER, E.; JUNIACO, M. Tratament and storage of wastewater for agricultural irrigation. *Agritech*/1996 (Agronitech Technology Ltda.). Tel-Aviv, Israel, 1996.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. Transaction of the ASAE, St. Joseph. v.44, n.5, p.1149-1157, 2001.

LEAL, R.M.P.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J.; PIEDADE, S.M. De S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. *Sci. Agric*. (Piracicaba, Braz.), v.66, n.2, p.242-249, March/April 2009.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; SOUZA, J.A.A.; SOUZA, J.A.; MATOS, A.T. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.9, (Suplemento), p.268-273, 2005.

NEILSEN, G.H.; STEVENSON, D.S.; FITZPATRICK, J.J.; BROWNLLE, C.H. Yield and plant nutrient content of vegetbles trickle-irrigated with municipal wastewater. *HortScience*. v.24, n.2, p.249-252, 1989.

PAGANINI, W.S. *Disposição de esgotos no solo: Escoamento à superfície*. São Paulo. AESABESP, 1997. 232p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 2001, 343p.

SCALOPPI, E. J.; BAPTISTELLA, M J. R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. 12, Anais... Brasília, p.1049-1067, 1986.

SILVA, F.B. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizante. Brasília: *Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia*, 1999. 370p.

STEIN, J.L.; SCHWARTZBROD, J. Experimental Contamination of vegetables with Helminth Eggs. *Water Science and Technology*. v.22, n.9, p.51-57, 1990.

TARCHITZKY, J.; LERNER, O.; SHANI, U.; RYE, G.; LOWENGART-AYCICEGI, A.; BRENER, A.; CHEN, Y. Water distribution pattern in treated wastewater irrigated soils: hydrophobicity effect. *European Journal of Soil Science*, v.58, n.3, p.573-588, 2007.

TRANI, P.E. Hortaliças folhosas e condimentos. In: PEREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; van RAIJ, B.; ABREU, C.A. (ed.) *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.* Jaboticabal: CNPq/FAPESP/ POTAFOS, 2001, p.293-510.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. Van. *Hortaliças.* 2.ed. Campinas: IAC, 1997. p.30-36. (Boletim Técnico, 100).

Caracterização de efluente de lagoa anaeróbia da cidade de Franca - SP para estudo de desinfetante alternativo visando o uso na agricultura

ANAEROBIC POND EFFLUENT CARACTERIZATION FROM FRANCA CITY – SP – TO STUDY AN ALTERNATIVE DESINFECTANT AMING THE AGRICULTURAL USE

Daniele Tonon[1]
Bruno Coraucci Filho[2]
Luana Mattos de Oliveira Cruz[3]
Regiane Aparecida Guadagnini[4]
Warner Arantes Zebalho[1]

[1]Química pela Universidade Estadual Paulista – UNESP e doutoranda em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP
[2]Professor Titular da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP
[3]Doutoranda em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP
[4]Mestranda em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP
(5)Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo CESET – UNICAMP.

Endereço: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. FEC/UNICAMP; Avenida Albert Einstein, 951; Cidade Universitária "Zeferino Vaz"; Caixa Postal 6021; CEP: 13083-852; Campinas - SP. Telefone: 19-3788-2381. E-mail: daniele_tonon2005@yahoo.com.br

RESUMO

A desinfecção de águas residuárias, tanto para atender a padrões de lançamento em corpos receptores quanto para o reúso agrícola, é um processo de tratamento indispensável à proteção da saúde publica. Neste trabalho o hipoclorito de cálcio é apresentado como desinfetante, pois, uma das grandes vantagens desta técnica é que há um residual de cloro em contato com os efluentes capaz de eliminar os organismos causadores das principais doenças de veiculação hídrica. O objetivo geral deste trabalho é a avaliação da desinfecção de efluentes de uma lagoa anaeróbia, situada em Franca, SP e administrada pela Sabesp. Na desinfecção variou-se os tempos de contato em 30, 45 e 60 minutos. Dosagens entre 25 e 32 mg L^{-1} foram necessárias para adequar o efluente aos padrões estabelecidos pela OMS (1989) e pelo CONAMA 357/05 para reuso em culturas agrícolas e padrões de lançamento em corpos receptores - E. coli < 103 NMP 100 mL^{-1} e Helmintos < 1 ovo L^{-1}.

ABSTRACT

Wastewater disinfection, not only to attend the discharge into receiving waters patterns but also to for the agriculture reuse, is an indispensable treatment process to the public health protection. In this investigation the Calcium Hypochlorite is shown as a disinfectant, because, one of the great advantages from this technique is that there is residual chlorine in contact with the effluents which is able to eliminate organisms that cause the mainly water-borne diseases. General aim of this study is the disinfection evaluation of an anaerobic pond effluent, located in Franca city, SP and managed by Sabesp (São Paulo State Basic Sanitary Company). In the disinfection, contact times were varied in 30, 45 and 60 minutes. Dosages between 25 to 32 mg L^{-1} were essary to adapt effluent to patterns stablished by WHO (1989) and by CONAMA 357/05 for the agriculture reuse and to the discharge into receiving waters - E. coli < 103 NMP 100 mL^{-1} and helminths < 1 ovo L^{-1}.

Palavras-chave: desinfecção; reúso; hipoclorito de cálcio; efluente de lagoa anaeróbia.
Keywords: disinfection, reuse, Calcium Hypochlorite, anaerobic pond effluent.

INTRODUÇÃO

Levando-se em consideração a estimativa feita pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que em torno de 2025 a população mundial será de 8.9 bilhões e será a máxima que o suprimento de água na terra pode suportar. Algumas providências devem ser tomadas no sentido de minimizar o problema da escassez tornando-se necessário o estudo de técnicas alternativas para a minimização deste problema.

A desinfecção de efluentes sanitários para o uso na agricultura é uma boa alternativa encontrada para diminuir a demanda de água potável utilizada na irrigação, pois, de acordo com ANA (2003), no Brasil a irrigação consome cerca de 60% de água potável do país, o que não é diferente da demanda global que corresponde a 70% de toda a água consumida no planeta (FAO, 2002).

A maioria absoluta das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) no Brasil não possui uma etapa específica para a desinfecção. O tratamento de água e esgotos, entretanto, implica na utilização de substâncias químicas que podem, por sua vez, afetar a saúde daqueles que a utilizam.

A cloração seguramente é a técnica mais empregada, pois, em qualquer dos seus diversos compostos, destrói ou inativa os organismos causadores de enfermidades, sendo que esta ação se dá à temperatura ambiente e em tempo relativamente curto (MEYER et al (1994) e TOMINAGA (1999)). E também, levando-se em consideração que ao final do processo deixa um residual de cloro na rede, item muito importante para a saúde pública, pois, este controle é obrigatório em todas as estações de água para abastecimento público. Os demais reagentes não possuem esta característica e além do mais, não se tem estudos conclusivos com relação à formação de subprodutos da desinfecção. Sua aplicação é simples exigindo equipamentos de baixo custo.

Foi escolhido um desinfetante alternativo para este trabalho, o hipoclorito de cálcio, que possui característica diferente ao do hipoclorito de sódio, este, muito utilizado em estações de tratamento de água (ETA). De acordo com Hotta (2009) um dos grandes problemas na agricultura mundial é a salinização dos solos. Os agricultures irrigam suas plantas o tempo todo, a água evapora e o sal da água acumula-se nas plantas. De modo geral, plantas são bastante sensíveis a sais, em particular os de sódio, por serem considerados micronutrientes. Em contrapartida, sais de cálcio, são mais assimiláveis pelas plantas, pois o cálcio é um macronutriente essencial para seu desenvolvimento.

O inconveniente da técnica é que foram descobertos subprodutos provenientes da desinfecção, principalmente nas formas de cloro livre que associados a precursores como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, brometos ou algas formam diversos compostos classificados como trialometanos (THM).

Os levantamentos epidemiológicos relacionando a concentração dos THM com a morbidade e a mortalidade por câncer não são estatisticamente conclusivos, mas evidenciam associações positivas em alguns casos de carcinomas (MEYER, 1994).

O presente trabalho busca estudar alternativas para uso de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto na agricultura. Verificou-se que a partir de resultados de parâmetros microbiológicos sugeridos pela legislação brasileira a necessidade de inclusão de uma etapa de desinfecção para que se reduzam as concentrações de coliformes e que sejam atingidas as normas estabelecidas para reúso em culturas agrícolas e padrões de lançamento em corpos receptores de acordo com a OMS (1989) e a CONAMA 357/05.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Protótipos Aplicado ao Tratamento de Águas e Efluentes e no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Utilizou-se esgoto coletado de uma lagoa anaeróbia, denominada Paulistano II, de Franca, São Paulo, administrada pela Concessionária SABESP.

Basicamente, o esgoto proveniente da Lagoa Anaeróbia sofria o tratamento em três células em série compostas por lagoas anaeróbia/facultativa/maturação (sistema Australiano), ao final da lagoa anaeróbia o efluente era coletado.

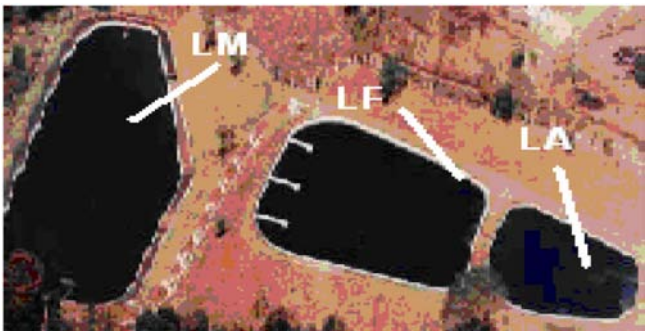
Características do local de coleta

A lagoa anaeróbia, denominada Paulistano II, proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos administrada pela SABESP da cidade de Franca estado de São Paulo, é operada com tempo de detenção hidráulica de 3,2 dias e recebendo vazão de 17,05 L s^{-1}. A cidade de Franca tem cerca de 307.000 habitantes onde 100% do esgoto produzido é tratado.

A lagoa anaeróbia – Paulistano II – tem todo seu esgoto de origem doméstica. O sistema de tratamento utilizado é composto por três células em série, sendo formado por lagoa anaeróbia, seguida de lagoa facultativa e de maturação. Após o efluente passar por esse sistema de tratamento ele é lançado no córrego Palestina, classificado como classe 2. A figura 1 apresenta uma vista geral da lagoa anaeróbia – Paulistano II.

Figura 1. Vista geral da lagoa anaeróbia – Paulistano II

Onde: LA – lagoa anaeróbia; LF – lagoa facultativa; LM – lagoa maturação



Durante aproximadamente dois meses foram coletadas, semanalmente, amostras do efluente da lagoa anaeróbia e acondicionados em frascos de coleta apropriados para a sua caracterização. Os resultados serão discutidos oportunamente.

Arranjo experimental - Desinfecção

Escolha do desinfetante

Após a caracterização do efluente e a verificação através dos resultados obtidos, verificou-se que o efluente da lagoa anaeróbia poderia sofrer o processo de desinfecção. Com relação a escolha do desinfetante, após alguns estudos realizados no departamento de Saneamento da Unicamp, que já havia testado cloro gasoso, hipoclorito de sódio em solução, radiação ultravioleta e ozônio, além de processos oxidativos avançados, na desinfecção de efluentes domésticos, verificou-se a necessidade de se estudar um reagente de baixo custo, fácil manuseio e que desempenhasse a função de desinfetante deixando um residual de cloro na rede coletora, item este, essencial para atender a norma vigente.

O hipoclorito de cálcio foi escolhido, porque o propósito principal desta pesquisa é aliar o tratamento de efluentes doméstico para uso na agricultura e/ou eventualmente obedecer a padrões de lançamento em corpos receptores.

Com relação à agricultura, o hipoclorito de cálcio, contém íons Ca^{+2}, um macronutriente importante às plantas. Isso não acontece com o hipoclorito de sódio, que contém íons Na+1 que podem causar impermeabilização dos solos, caso sua concentração seja relativamente alta.

O cálculo utilizado para se obter a massa hipoclorito de cálcio a ser aplicada no efluente da lagoa anaeróbia foram calculadas conforme recomenda a CETESB (2004), veja a equação 1.

Equação 1

$$P = \frac{C \cdot L}{\%B.10}$$

Onde:

P = gramas do composto de cloro

C = mg L^{-1} de cloro livre desejado na água a ser desinfetada

L = volume de água a ser desinfetada (L)

% B = % cloro livre do produto comercial escolhido para emprego.

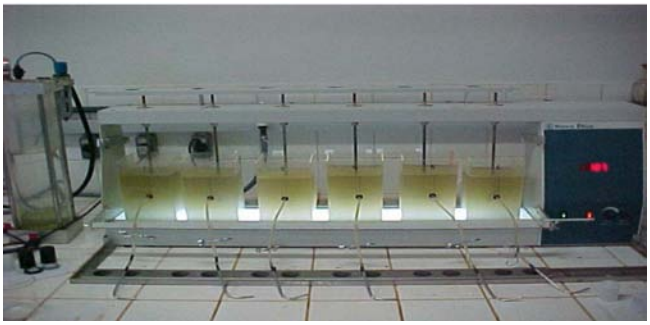
Desinfecção propriamente dita

A desinfecção foi efetuada utilizando um equipamento para ensaio de JAR TEST como câmara de contato entre o hipoclorito de cálcio e o efluente. Foi avaliado uma série de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, antes e após a desinfecção: cloro residual livre, total e combinado, pH, temperatura, condutividade, alcalinidade parcial e total, cor aparente e verdadeira, turbidez, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e orgânico, DQO bruta e DQO filtrada, fósforo total, OD, sólidos totais, totais fixos e totais voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e voláteis, além de coliformes totais, *E. coli,* helmintos e protozoários, parâmetros recomendados por AWWA/APHA/WEF (2001).

O produto desinfetado foi estudado para ser utilizado para irrigação de uma cultura de milho e, portanto, atender os padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989) para uso em culturas agrícolas e/ou descargas em corpos receptores de classe 2 - E.coli < 10^3 NMP 100 mL^{-1} e Helmintos < 1 ovo L^{-1}.

A desinfecção ocorreu utilizando um equipamento para ensaio de JAR TEST como câmara de contato entre o efluente e o hipoclorito de cálcio. A figura 2 ilustra a desinfecção utilizando o equipamento para ensaio de JAR TEST.

Figura 2. Ilustração da desinfecção utilizando o equipamento para ensaio de JAR TEST



Os parâmetros de processo que foram obedecidos a fim de se obter os resultados propostos no objetivo geral foram:

- Agitação lenta – em torno de 80 – 100rpm;
- Tempo de contato estudado de 30, 45 e 60 minutos;
- Dosagens de hipoclorito de cálcio estudadas para a lagoa anaeróbia foram: 6, 9, 12, 15, 18, 21, 25, 28 e 32 mg L^{-1}.

Coleta de amostras

Os frascos utilizados na coleta para análises físico-químicas possui volume de 2 L (tipo PET) e foram lavados, com ácido clorídrico (1:1),em seguida, foram

lavados com água destilada, para evitar possíveis contaminações e interferências nos resultados finais, por exemplo na análise de fósforo. Os frascos de coleta utilizados para as amostras microbiológicas foram lavados e autoclavados. Tal procedimento busca a eliminação de microrganismos que podem interferir no resultado final do experimento.

Após a coleta, imediatamente essas amostras foram colocadas no interior de uma caixa de isopor para melhor acondicionamento e para proteção contra radiação ultravioleta. Houve essa preocupação com relação ao recipiente em que os frascos seriam transportados de um laboratório até outro, pois se colocado em recipientes transparentes e sem proteção contra os raios solares o efluente poderia estar sofrendo desinfecção também por radiação ultravioleta, fazendo com que o resultado final fosse comprometido.

Análise estatística dos resultados

Primeiramente, por se tratar de uma enorme quantidade de dados, foram feitas análises de média de todos os resultados utilizando-se o programa Excel, incluindo a confecção dos gráficos utilizando o mesmo programa.

Os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas foram submetidos a tratamento estatístico fazendo-se uso do programa estatístico SAS (versão 9.1) para interpretação dos dados. Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A princípio foram realizadas análises para caracterização do efluente proveniente da Lagoa Anaeróbia – Paulistano II. A caracterização foi importante no sentido de se saber as características do esgoto a ser estudado. A tabela 1 apresenta a média dos resultados obtidos durante o período de caracterização da amostra.

Após caracterização da amostra iniciou-se a desinfecção para diferentes dosagens de hipoclorito de cálcio e os resultados sofreram uma série de análises estatísticas para as diversas variáveis estudadas. Como mencionado, utilizou-se o programa estatístico SAS (versão 9.1) para interpretação dos dados. Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey ao nível de 5%. A tabela 2 apresenta dados relevantes sobre as análises estatísticas mais especificamente os p-valores. Estudou-se a relação entre as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas e o tempo de contato entre o efluente e o desinfetante.

Os valores da tabela 2 foram obtidos para cada variável estudada e para cada tratamento (dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}) e o tempo de contato

Tabela 1 – Caracterização do efluente da Lagoa Anaeróbia – Paulistano II

Variável analisada	
pH	7,45
Condutividade	874(μS cm^{-1})
Turbidez	89,3 (UNT)
Cor aparente	760 (mg Pt L^{-1})
Cor verdadeira	154 (mg Pt L^{-1})
Alcalinidade parcial	315,5 (mg $CaCO_3$ L^{-1})
Alcalinidade total	441,7 (mg $CaCO_3$ L^{-1})
DQO bruta	1.333 (mg O_2 L^{-1})
Nitrato	4,9 (mg L^{-1})
Nitrito	0,0004 (mg L^{-1})
N amoniacal	49,3 (mg L^{-1})
N orgânico	3,15 (mg L^{-1})
Fósforo Total	2,35 (mg L^{-1})
Sólidos Totais (ST)	925 (mg L^{-1})
Sólidos Totais Fixos (STF)	550 (mg L^{-1})
Sólidos Totais Voláteis (STV)	375 (mg L^{-1})
Sólidos Suspensos (SS)	162 (mg L^{-1})
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	80 (mg L^{-1})
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	82 (mg L^{-1})
E. coli	2,00. 10^7 (NMP 100 mL^{-1})
Coliformes totais	3,00. 10^7 (NMP 100 mL^{-1})
Helmintos	9 (nº de indivíduos L^{-1})
Protozoários	7 (nº de indivíduos L^{-1})

Tabela 2. Dados relevantes sobre as análises estatísticas

*Escherichia coli ** Entamoeba coli

Significância Estatística Se p < 0,05 então pelo menos duas médias são diferentes		
Variável analisada	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	Tempo de Contato (min)
Cloro Residual Livre	<0,0001	0,4350
Cloro Residual Total	<0,0001	0,5424
pH	<0,0001	0,0642
Condutividade	<0,0001	0,4397
Turbidez	0,1053	0,0093
Cor aparente	0,0008	0,0272
Cor verdadeira	<0,0001	0,1123
Alcalinidade parcial	<0,0001	0,3401
Alcalinidade total	<0,0001	0,2826
DQO bruta	0,0002	0,2991
DQO filtrada	0,0882	0,4667
Nitrato	0,0869	0,2468
Nitrito	0,0160	0,1770
N amoniacal	<0,0001	0,5105
N orgânico	0,0041	0,1843
Fósforo Total	<0,0001	0,5679
Sólidos Totais (ST)	<0,0001	0,0298
Sólidos Totais Fixos (STF)	<0,0001	0,2549
Sólidos Totais Voláteis (STV)	0,0724	0,0023
Sólidos Suspensos (SS)	0,0146	0,0162
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	0,2742	0,1973
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	0,0019	0,0073
E. coli*	<0,0001	0,3407
Coliformes totais	<0,0001	0,5876
Cistos de E. coli**	<0,0001	0,2327
Ovos de Ancilostomatídeos	<0,0001	0,6016
Larvas de nematóides	<0,0001	0,0635

(min)), caso os valores obtidos sejam menores que 0,05 significa que as variáveis analisadas dependem ou da dosagem de hipoclorito de cálcio ou do tempo de contato, ou de ambos, ou seja, são dependentes do tratamento. Caso este valor seja superior a 0,05 significa que os fatores do tratamento são independentes, ou seja, a variável analisada não sofre influência do tratamento.

O parâmetro mais relevante para a verificação da eficiência da desinfecção são os dados microbiológicos, mais especificamente, coliformes totais e E. coli, além de ovos de Helmintos. Alguns resultados serão apresentados a seguir.

Coliformes – *E. coli* e totais

Essa variável é a mais importante no sentido de se saber se a desinfecção foi realmente eficaz e se a dosagem aplicada atingiu os valores recomendados pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989), que diz que para padrões de lançamento em rios de classe 2 quantidade de E. coli não deve ultrapassar 1000 organismos por cada 100 mililitros de amostra, este também é um padrão para reúso em culturas agrícolas. As figuras 3 e 4 apresentam a variação da concentração de E. coli e coliformes totais (NMP 100 mL-1) com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L-1) aplicado, respectivamente.

Figura 3. Variação do Log da concentração de E. coli (NMP 100mL-1) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L-1)

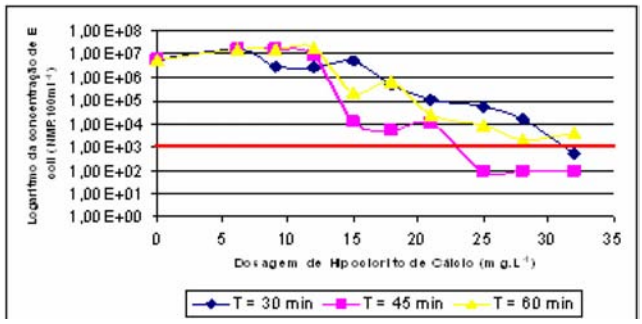
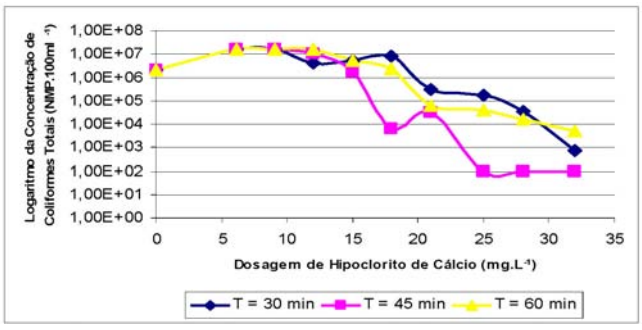


Figura 4. Variação da concentração de Coliformes Totais (NMP 100mL-1) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L-1)



O que pode-se perceber através da figura 3 é que para tempo de contato de 45 minutos o resultado esperado foi alcançado a partir da adição de 25 mg L-1 de hipoclorito de cálcio. Para tempos de contato de 30 e 60 minutos os resultados foram obtidos com dosagens iguais ou superiores a 32 mg L-1 de hipoclorito de cálcio. Nesse caso, é importante salientar que dosagens de hipoclorito de cálcio superiores a 32 mg L-1 não foram testadas por problemas experimentais.

Análises estatísticas foram realizadas e os resultados estão na tabela 3 e 4 que mede a relação entre E. coli e coliformes totais com a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e o tempo de contato, respectivamente.

Tabela 3. Relação entre o E. coli e coliformes totais e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado

	Agrupamento Tukey (1)	Médias (2)	N (3)	Dosagem aplicada (mg L^{-1}) (4)
E. coli (NMP 100 mL^{-1})	A	1,60 E+ 07	3	6,2
	A B	1,12 E+ 07	3	9,1
	A B C	9,66 E+ 06	3	12
	A B C	6,16 E+ 06	3	0
	B C	1,74 E+ 06	3	15
	C	3,90 E+ 05	3	18
	C	4,74 E+ 04	3	21
	C	2,04 E+ 04	3	25
	C	6,10 E+ 03	3	28
	C	1,53 E+ 03	3	32
Coliformes totais (NMP 100 mL^{-1})	A	1,60 E+ 07	3	6,2
	A	1,60 E+ 07	3	9,1
	A B	1,02 E+ 07	3	12
	B C	3,87 E+ 06	3	15
	B C	3,53 E+ 06	3	18
	C	2,14 E+ 06	3	0
	C	1,37 E+ 05	3	21
	C	7,06 E+ 04	3	25
	C	1,76 E+ 04	3	28
	C	1,90 E+ 03	3	32

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L^{-1}

Tabela 4. Relação entre o *E. coli* e coliformes totais e os tempos de contato

	Agrupamento Tukey (1)	Médias (2)	N (3)	Tempo de contato (min) (4)
E. coli (NMP 100 mL^{-1})	A	5,73 E+ 06	10	60
	A	4,63 E+ 06	10	45
	A	3,34 E+ 06	10	30
Coliformes totais (NMP 100 mL^{-1})	A	5,77 E+ 06	10	60
	A	5,18 E+ 06	10	30
	A	4,63 E+ 06	10	45

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos

Embora os resultados desejados tenham sido obtidos com o tempo de 45 minutos e dosagem acima de 25 mg L-1 de hipoclorito de cálcio visto pela figura 3, as médias para os tempos de contato não se diferem estatisticamente, ou seja, a redução independe do tempo, sendo que a redução dos coliformes está apenas influenciada pela dosagem (25, 28 e 32), embora não atinjam, em média, valores abaixo de 1000. O que pode-se ver aqui é uma interação dos fatores, ou seja, os valores de coliforme desejados são conseguidos com tempo de contato 45 minutos e dosagens 25, 28 e 32.

Portanto, conforme já citado por WHITE (1999) que recomenda tempos superiores a 30 minutos e inferiores a 60 minutos para prevenir a produção de THM's, compostos potencialmente carcinogênicos, tempos de contato de 45 minutos entre o efluente e o desinfetante são efetivos. Com relação às dosagens de hipoclorito de cálcio, a partir de 24 mg. L-1 aplicado foram suficientes para atender a legislação CONAMA 357/05 que sugerem uma quantidade de E. coli menor que 1 .103 NMP. 100 mL^{-1} .

Helmintos e Protozoários

As análises de helmintos e protozoários foram realizadas nessa pesquisa no sentido de se saber qual é a efetividade do cloro nesses organismos. O que se sabe é que o cloro é muito eficaz na inativação de bactérias e vírus, porém, não é efetivo na inativação de protozoários e helmintos. Os organismos foram identificados com a consulta à literatura especializada. Os resultados foram expressos como número de ovos e/ou larvas de helmintos e cistos de protozoários por 1000 mL. As figuras 5, 6 e 7 apresentam a concentração de Entamoeba. Coli, ovos de Ancilostomatídeos e larvas de nematóides por 1000 mL com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada, respectivamente.

Foram analisados apenas esses três organismos e análises estatísticas foram realizadas, a tabela 5 e 6 apresentam a relação entre as variáveis: cistos de Entamoeba coli, ovos de Ancilostomatídeos e larvas de

Figura 5. Variação da concentração de cistos de Entamoeba coli em 1000 mL^{-1} versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

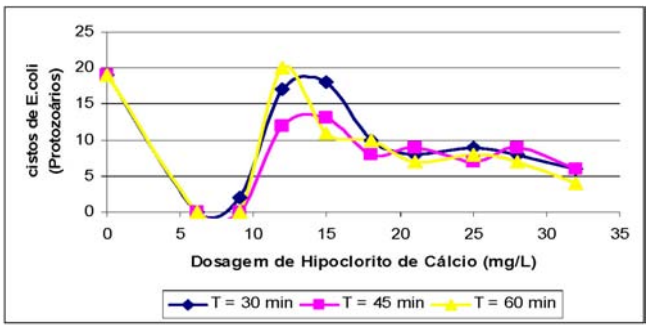


Figura 6. Variação da concentração de ovos de Ancilostomatídeos em 1000 mL-1 versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

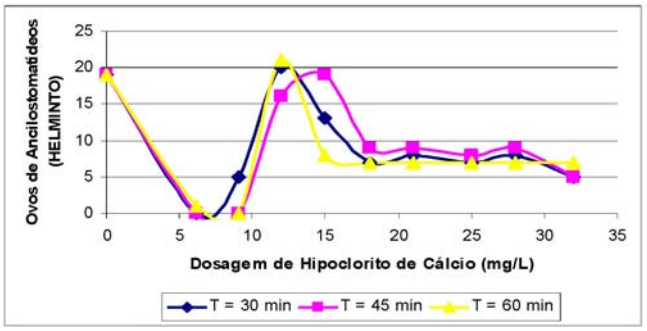
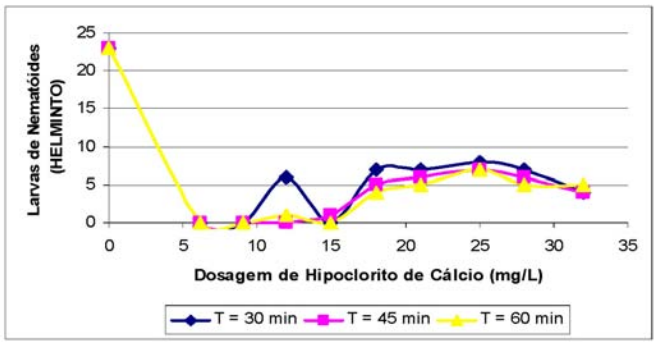


Figura 7. Variação da concentração de larvas de nematóides em 1000 mL-1 versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})



nematóides com relação a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato aplicado, respectivamente.

Pela análise estatística, o que se percebe é que a quantidade de organismos no efluente bruto, ou seja, sem desinfecção foi a maior encontrada. Porém, em alguns casos, em dosagens de 6,2 e 9,1 mg L-1 foram encontrados a menor quantidade de organismos. O que pode ter acontecido é que a amostra separada para a análise não foi suficiente ou não representativa. Visualmente o que se percebe é que após dosagem de 18 mg L-1 a quantidade de organismos tanto de helminto quanto de protozoários diminui. Vale ressaltar que a análise foi feita para se saber sobre presença e ausência desses organismos, portanto, estudos mais aprofundados serão necessários pra que se tenham melhores conclusões, pois, de acordo com literatura pesquisada o cloro não tem eficiência nenhuma com relação aos protozoários e helmintos.

Por meio da relação entre as variáveis e o tempo de contato o que se pode concluir que o tempo de contato não é um tratamento influenciável.

CONCLUSÕES

Foram necessárias dosagens de hipoclorito de cálcio entre 25 e 32 mg. L-1 para a adequação do efluente da lagoa anaeróbia ao valor máximo de coliformes totais estabelecido pela OMS (1989) tendo-se em vista o reúso agrícola e, também quanto a CONAMA 357 (2005) para o lançamento em corpos de água receptores.

A eficiência da inativação de coliformes totais e E. coli, não foi influenciada pelo tempo de contato entre o hipoclorito de cálcio e os efluentes, porém ao analisar estatisticamente o tempo de contato de 45 minutos, constatou-se que foi aquele que expressou melhores resultados.

Turbidez, cor verdadeira e aparente, revelaram-se como as principais causas pela grande demanda de hipoclorito de cálcio e, a princípio, foi o principal causador na ineficiência da inativação dos microrganismos em dosagens baixas no efluente da lagoa anaeróbia. Isso é importante, mas você não discutiu no corpo do artigo.

O método de Hoffman, Pons e Janer modificado, baseado na contagem de organismos patogênicos em microscópio, não permitiu avaliar a eficiência de desinfecção com hipoclorito de cálcio, em organismos como os helmintos e protozoários. Com relação à remoção de helmintos e protozoários, verificou-se que a cloração não é a técnica mais adequada.

Portanto, conclui-se que dosagens iguais ou superiores a 25 mg. L-1 de hipoclorito de cálcio com tempo de contato do desinfetante com o efluente de 45 minutos são suficientes para a inativação de bactérias do grupo coliformes - E. coli, porém, estudos mais conclusivos com relação a protozoários e helmintos de-

Tabela 6 – Relação entre as variáveis: cistos de Entamoeba coli, ovos de Ancilostomatídeos e larvas de nematóides e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey (1)	Médias (2)	N (3)	Tempo de contato (min) (4)
Cistos de E. coli	A	10	10	30
	A	9	10	60
	A	8	10	45
Ovos de Ancilostomatídeos	A	9	10	45
	A	9	10	30
	A	8	10	60
Larva nematóide	A	6	10	30
	A	5	10	45
	A	5	10	60

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Tabela 5. Relação entre as variáveis: cistos de Entamoeba coli, ovos de Ancilostomatídeos e larvas de nematóides e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado

	Agrupamento Tukey (1)	Médias (2)	N (3)	Dosagem aplicada (mg L^{-1}) (4)
Cistos de Entamoeba coli	A	19	3	0
	A	16	3	12
	A B	14	3	15
	B C	9	3	18
	C	8	3	21
	C	8	3	25
	C	8	3	28
	C D	5	3	32
	D	0	3	9,1
	D	0	3	6,2
Ovos de Ancilostomatídeos	A	19	3	0
	A	19	3	12
	A B	13	3	15
	B C	8	3	21
	B C	8	3	28
	B C	7	3	18
	B C	7	3	25
	C D	5	3	32
	C D	1	3	9,1
	D	0	3	6,2
Larvas de nematóides	A	23	3	0
	B	7	3	25
	B	6	3	28
	B	6	3	21
	B C	5	3	18
	B C	4	3	32
	C D	2	3	12
	D	0	3	15
	D	0	3	6,2
	D	0	3	9,1

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L-1.

vem ser considerados realizados, para que o efluente seja utilizado na agricultura, sem que haja a possibilidade de causar algum dano a saúde da população.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais à SABESP – Unidade de Franca – SP pelo apoio didático e financeiro e ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agencia Nacional das Águas. Secretaria de Recursos hídricos. Plano nacional de Recursos hídricos. Documento Base de referencia. Revisão 01, Abril 2003.

AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20.ed. New York: American Public Health Association, 2001.

BRASIL. – Ministério do Meio Ambiente – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA 357/05, de 17/03/2005. Ministério da Saúde.

FAO – Food and Agricultura Organization of the United Nations. http://www.fao.org/, em 15 de out 2002 as 15:30h.

HOTTA, C. Porque não exitem flores no mar? Em Ciência da Vida, jan, 2009. Disponível na World Wide Web: http://scienceblogs.com.br/brontossauros/2009/01/por-que-nao-existem-flores-no-mar.php em 30 de junho 2009.

MEYER, S. T. et al. Chlorine use in water disinfection, trihalomethane formation, and potential risks to public health. Cad. Saúde Pública. [online]. Jan./Mar. 1994, vol.10, no.1, p.99-110. Available from World Wide Web:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X1994000100011&lng=en&nrm=iso. Em 30 de maio de 2005.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE . Directrices sanitárias sobre el uso de águas residuales em agricultura e aquicultura. Séries de reportagens técnicas. 778. OMS, Genebra, 1989.

TOMINAGA, M. Y e MIDIO, A. F. Exposição humana a trialometanos presentes em água tratada. Rev. Saúde Pública. [online]. ago. 1999, vol.33, no.4, p.413-421. Disponível na World Wide Web:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003489101999000400013&lng=pt&nrm=iso> Em 02 de junho de2005.

TONON, D. Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 284p. Dissertação de mestrado.

WHITE, J. C. "Handbook of chlorination and Alternative Disinfectants". 4ª ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, INC. 1999. 1569p.

Crescimento do girassol irrigado com água residuária e adubação orgânica

GROWTH OF SUNFLOWER IRRIGATED WITH WASTEWATER AND ORGANIC MANURING

Reginaldo Gomes Nobre[1]
Hans Raj Gheyi[2]
Leandro Oliveira de Andrade[3]
Frederico Antonio Loureiro Soares[1]
Elka Costa Santos Nascimento[4]

[1] Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Bolsista Prodoc, UAEAg/CTRN/UFCG
[2] Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências Agronômica, Professor Titular UAEAg/CTRN/UFCG
[3] Engenheiro Agrônomo, Doutorando Engenharia Agrícola UAEAg/CTRN/UFCG
[4] Graduanda, Engenharia Agrícola, Bolsista IC/CNPq UAEAg/CTRN/UFCG

Endereço: Avenida Aprígio Veloso 882, Bloco CM, Cx. Postal 10078, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Fone (83) 8760-8023, (84) 3337-2386. E-mail: rgomesnobre@yahoo.com.br

RESUMO

Avaliou-se o crescimento do girassol sob irrigação com água residuária de origem urbana e doses de adubo orgânico, em experimento conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande, PB. Usou-se o delineamento de blocos ao acaso, sendo as reposições hídricas: 40, 60, 80, 100 e 120% da necessidade hídrica da cultura e as doses de adubação orgânica (0; 0,7; 1,4 e 2,1% do volume de solo), em esquema fatorial 5 x 4, com 3 repetições. A adubação proporcionou aumento do número de folhas, altura de plantas, diâmetro de caule, fitomassa fresca e seca da parte aérea somente aos 26 e 39 dias após o semeio (DAS) e até a dose de 1,4%. As lâminas crescentes favoreceram as variáveis estudadas, principalmente aos 63 e 100 DAS, sendo os maiores incrementos na fitomassa fresca e seca da parte aérea, com N5.

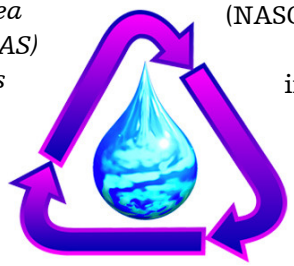
ABSTRACT

Study was to evaluate the growth of the sunflower under irrigation with urban wastewater and levels of organic manuring. An experiment was carried out, at Universidade Federal de Campina Grande, PB, under greenhouse conditions. Using randomized blocks design, with different levels of water: 40, 60, 80, 100 e 120% of hydria necessity of the culture doses organic manuring (0; 0.7; 1.4 e 2.1% of the volume of the soil) arranged in 5 x 4 factorial design, with 3 repetitions. The manuring resulted in increase in number of leaves, plant height and stem diameter were determine, the fresh and dry weights of the aerial parts only during 26 and 39 days after sowing (DAS) and up to the dose of 1.4%. The increasing water depths, favored the studied variables 63 and 100 DAS, being the highest increments observed in the fresh and dry weights of the aerial parts, with N5.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L.; lâminas de água; crescimento.
Keywords: *Helianthus annuus* L.; water depth; growth.

INTRODUÇÃO

Apesar das fontes hídricas serem abundantes, frequentemente elas são mal distribuídas na superfície do planeta. Em alguns locais, a demanda é tão elevada em relação à oferta que a disponibilidade de água superficial está sendo reduzida e os recursos subterrâneos estão esgotando rapidamente (SETTI et al., 2002). Esta demanda é causa de conflitos que hoje ocorrem em grande parte das bacias hidrográficas, sobretudo naquelas com desenvolvimento agrícola e uso urbano significativo (HESPANHOL, 2003); no entanto, algumas alternativas são passíveis de amenizar estes entraves, como o reuso intensivo de água, o controle de perdas físicas nos sistemas de abastecimento de água, técnicas de coleta de água de chuva e a adoção de procedimentos para a economia do consumo de água (NASCIMENTO & HELLER, 2005).



A prática de reúso de água vem sendo intensificada em várias partes do mundo para os mais variados fins. Em relação ao uso agrícola, esta promove a recarga do lençol freático, o crescimento das plantas com o aporte de água e nutrientes (matéria orgânica, nitrogênio, fósforo) dissolvidos em esgotos domésticos (LONDE & PATERNIANI, 2003; CAPRA & SCICOLONE, 2004). Segundo Madeira et al. (2002), a aplicação de esgotos e efluentes no solo é vista como uma forma efetiva de controle da poluição além de alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica, em que

os maiores benefícios desta tecnologia são os aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.

Nascimento & Heller (2005), ressaltam que o reuso da água tem sido empregado com maior intensidade em regiões áridas e semiáridas, devido principalmente ao problema de escassez de água, entretanto, em regiões de maior abundância de recursos hídricos a concentração urbana em regiões metropolitanas, combinada ou não com outros usos intensivos, como a agricultura irrigada ou usos industriais, estão contribuindo com a redução da disponibilidade hídrica e consequentemente aumentando a necessidade de reúso de água.

Hussain et al. (2002) estimam que pelo menos 20 milhões de hectares em 50 países praticam a irrigação com esgoto bruto ou parcialmente tratado. No Brasil o reúso da água ainda é uma prática recente; em muitas cidades do Nordeste, onde a disponibilidade de água não pode ser garantida devido a um desequilíbrio crônico entre a demanda e a oferta hídrica, o uso de águas residuárias provenientes do tratamento de águas pluviais urbanas, dos esgotos e dos efluentes industriais sugere sua reutilização no uso público, na indústria e principalmente na irrigação (HESPANHOL, 2001).

A situação legislativa no Brasil para fixação de princípios e critérios à reutilização da água ainda é insipiente, entretanto, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos através da Resolução nº 54/2005 estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto de águas não potável (CNRH, 2009). Segundo Fink & Santos (2002), a legislação em vigor, ao instituir os fundamentos da gestão de recursos hídricos, cria condições jurídicas e econômicas para a hipótese do "reúso" de água como forma de utilização racional e de preservação ambiental.

Além da possibilidade de estudos que visem o reuso de água para a exploração agrícola, faz-se necessário testar fontes de adubo orgânico como complemento e/ou substituição aos métodos tradicionais de adubação para minimizar os impactos ambientais e ecológicos do sistema de cultivo convencional, que podem causar a inviabilidade econômica da atividade, assim como, devido a possibilidade de favorecimento da agricultura familiar.

A quantidade de esterco e outros resíduos orgânicos a ser adicionada a determinada área depende, entre outros fatores, da composição e do teor de matéria orgânica dos referidos resíduos, classe textural e nível de fertilidade do solo, exigências nutricionais da cultura explorada e condições climáticas regionais (DURIGON et al., 2002).

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é originária da América do Norte, onde foi utilizado como planta ornamental e hortaliça, até o século XVIII, quando começou o seu uso como cultura comercial. Tem sido usada também como planta forrageira para alimentação animal, na alimentação de aves, como espécie melífera e ornamental, além da produção de óleo para alimentação humana (DALL'AGNOL *et al.*, 2005) respondendo por cerca de 13% de todo o óleo vegetal produzido no mundo e apresentando índices crescentes de produção e área plantada a nível mundial (ESTADOS UNIDOS, 2005).

Esta oleaginosa se destaca mundialmente como a quinta em produção de matéria-prima, ficando atrás apenas da soja, colza, algodão e amendoim, quarta em produção de farelo, depois da soja, colza e algodão e terceira em produção mundial de óleo, depois da soja e colza. Os maiores produtores de grãos de girassol são a Rússia, Ucrânia, União Européia e Argentina (LAZARATO *et al.*, 2005).

Devido à carência de informações relacionadas ao uso de água residuária no Nordeste do Brasil, para fins agrícolas, e a necessidade de se identificar fontes alternativas de água e de adubação orgânica favoráveis ao desenvolvimento de culturas agrícolas, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o crescimento e o desenvolvimento do girassol irrigado com águas residuárias (AR) de origem urbana e doses de adubo orgânico.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, vinculada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG – PB), Campina Grande, PB, durante o período compreendido entre julho e outubro de 2008. As coordenadas geográficas do local são: 7º15'18" de latitude sul, 35º52'28" de longitude oeste e altitude de 550 m; o clima da região, conforme a classificação climática de Köeppen, adaptada ao Brasil (COELHO & SONCIN, 1982), é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses), com período chuvoso de outono a inverno e conforme UACA (2009) possui média pluviométrica de 765,5 mm.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, no esquema fatorial 5 x 4, com três repetições e uma planta por parcela experimental, sendo os tratamentos constituído de cinco níveis de reposição hídrica com água residuária (N1 - 40, N2 - 60, N3 - 80, N4 - 100 e N5 - 120% da NH) e quatro doses de adubação orgânica (D1 – controle - 0, D2 - 0,7, D3 - 1,4 e D4 - 2,1% em base volume) utilizando-se, como fonte, o esterco bovino curtido. Avaliaram-se os dados obtidos mediante análise de variância pelo teste 'F'; nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e/ou quadrática (FERREIRA, 2000) através do software estatístico SISVAR-ESAL (Lavras, MG).

A variedade de girassol utilizada foi a Embrapa 122/V-2000, cujas sementes foram fornecidas pela Empre-

sa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, Unidade Soja, escritório de negócios de Dourados, MS. Esta variedade se destaca pela precocidade (ciclo de 100 dias) em comparação com os híbridos atualmente cultivados no Brasil, possui porte baixo (155 cm) e o início do florescimento ocorre em média aos 53 dias; pode atingir média de produtividade de 1800 kg ha^{-1} e teor médio de óleo de 43,5% (EMBRAPA, 2006).

Vasos plásticos com 23 L de capacidade, foram utilizados e preenchidos com 0,2 kg de brita (número zero) a qual cobria a base e 20 kg de material de solo denominado Neossolo tipo franco-arenoso, não salino e não sódico, proveniente de uma área do distrito de São José da Mata, Município de Campina Grande, PB, cujas características físico-químicas determinadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG, constam na Tabela 1. Os vasos eram providos de furos na base, que permitiam a drenagem; desses recipientes, doze eram usados como lisímetro de drenagem com o intuito de se estimar a necessidade hídrica da cultura, sendo que, para tal, possuíam uma mangueira de 12 mm de diâmetro conectando à sua base a um recipiente (2 L de capacidade), para coleta do volume drenado.

O esterco bovino, usado conforme os tratamentos foi curtido previamente e misturado aos 20 kg de material de solo.

Antes do semeio se determinou a quantidade de água necessária para colocar o solo em capacidade de campo mediante método de saturação por capilaridade seguida de drenagem livre, usando-se água residuária de origem doméstica.

O semeio foi realizado em 23 de julho de 2008 utilizando-se 10 sementes por vaso, distribuídas de forma equidistante a uma profundidade de 5 cm. A emergência das plântulas perdurou do terceiro ao décimo terceiro dia após o semeio (DAS), quando então se fez, aos 15 DAS, o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vaso, as de melhor crescimento.

A água residuária utilizada no ensaio proveio de um córrego que passa pela área experimental (UFCG), oriunda de bairros próximos ao Campus, captada por meio de conjunto motorbomba e armazenada em tonel de PVC (capacidade de 200 L); a água foi submetida a uma filtragem no ponto de captação através de tela de náilon com malha de 2 mm de diâmetro. As características químicas da água foram determinadas pelo LIS/UFCG e constam na Tabela 2 (abaixo).

Na fase inicial (até 18 DAS) as irrigações eram feitas com um volume de 300 mL / vaso / dia, às 17 horas; posteriormente, foram baseadas na necessidade hídrica (diferença entre o volume médio aplicado nos vasos e o drenado nos lisímetros do tratamento L5). O turno de rega adotado após 18 DAS foi de dois dias sendo que, no dia anterior ao da irrigação (17 horas), se irrigava apenas os lisímetros dos tratamentos L5, e no dia seguinte, se coletava a drenagem (7 horas), para então calcular os volumes a serem aplicados de acordo com cada tratamento.

Realizaram-se, durante a condução do experimento, alguns tratos culturais, como pulverização, quinzenalmente, com produtos indicados para controle preventivo de lagartas (*Plusia nu* e *Clhosyne saundersii*), de mosca branca (*Bemisia tabaci*), de minadoura (*Lyriomyza huidobrensis*), de cochonilha (*Planococcus minor*) e de doenças fúngicas, além de capinas manuais, escarificação superficial do solo e tutoramento das plantas.

Adubações foliares foram realizadas a cada quin-

Tabela 1. Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado no experimento

Características	Valor
Classificação textural	Franco-arenoso
Densidade aparente – kg dm^{-3}	1,41
Porosidade - %	83,4
Capacidade de campo - g kg^{-1}	67,8
Ponto de murchamento - g kg^{-1}	33,8
Água disponível - g kg^{-1}	34,0
Extrato de saturação ($mmol_c$ L^{-1})	
Cálcio (Ca^{+2})	2,87
Magnésio (Mg^{+2})	1,38
Sódio (Na^{+})	1,45
Potássio (K^{+})	0,60
Capacidade de troca catiônica	6,30
Cloro (Cl^{-})	4,50
Carbonato (CO_3^{-2})	0
Bicarbonato (HCO_3^{-})	2,30
Sulfato (SO_4^{-2})	Presente
Soma de bases (S)	6,80
pH_{ps}*	4,60
CE_{es}* – dS m^{-1}	0,74

* ps e es, respectivamente, pasta de saturação e extrato de saturação

Tabela 2. Características químicas da água utilizada no experimento. Campina Grande, PB

pH	CE_a	P-Total	K	N-Total	Na	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	RAS
	(dS m^{-1})					mg L^{-1}						(mmol L^{-1})^{0,5}
8,16	1,128	3,654	30,072	29,8	172,2	62,88	44,06	0,013	0,078	0,001	0,022	4,166

ze dias, a partir do início da emissão das flores, com Albatroz (N - 10%, P_2O_5 - 52%, K_2O - 10%, Ca – 0,1%, Zn - 0,02%, B - 0,02%, Fe - 0,15%, Mn - 0,1%, Cu - 0,02% e Mo - 0,005%) na proporção de 1 g do adubo para 1 L de água, aplicando-se 5 L, distribuídos nas plantas.

Avaliou-se o crescimento do girassol e se determinou, aos 39 e 63 DAS, número de folhas (NF), altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC); aos 26 e 100 DAS, a fitomassa fresca (FFPA) e seca (FSPA) da parte aérea e, aos 100 DAS, fitomassa fresca (FFR) e seca (FSR) de raiz e fitomassa seca total (FST). No período entre 26 e 100 DAS e com os dados da FFPA e FSPA determinou-se, conforme Benincasa (2003), a taxa de crescimento absoluto (TCA_{FFPA} e TCA_{FSPA}) e relativo (TCR_{FFPA} e TCR_{FSPA}) das plantas.

Na contagem de NF consideraram-se apenas as que estivessem expandidas, com comprimento mínimo de 5 cm, desprezando-se as folhas secas rente ao solo e aquelas cujo limbo foliar estava danificado em mais de 50%; a AP foi definida mensurando-se a distância entre o colo da planta e a inserção do capítulo; o DC foi medido a 5 cm da superfície do solo, utilizando-se de paquímetro digital; a FSPA e a FSR foram determinadas após secagem em estufa com ventilação forçada de ar, a 65 °C, até a obtenção de peso constante; o caule de cada planta foi cortado rente ao solo, com auxílio de um estilete; em seguida, fez-se a pesagem em balança com precisão de 0,01g da FFPA (folhas e caule) e, depois de se separar as raízes do material do solo, avaliou-se a FSR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no resultado do teste F (Tabelas 3 e 4) dos dados, verifica-se que não houve efeito significativo da interação entre os dois fatores estudados (lâmina de reposição hídrica e dose de adubação orgânica). De mesma forma, Tavares et al. (2005), avaliando os efeitos da água residuária de esgotos domésticos tratada por lagoas de estabilização e da adubação orgânica na produção de alface, observaram que a interação entre ambos os fatores não foi significativa.

De acordo com o teste F (Tabela 3), o número de folhas variou significativamente em função da reposição hídrica, aos 39 ($p < 0,01$) e 63 DAS ($p < 0,05$) e devido à adubação orgânica ($p < 0,01$) aos 39 DAS. Conforme os estudos de regressão para NF, o efeito aos 39 DAS foi linear havendo acréscimos de 3,77% por aumento de 20% de reposição hídrica estudada (Figura 1B), e de 5,67% a cada incremento de 0,7% de adubação orgânica (Figura 1A). Aos 63 DAS os dados também se ajustaram melhor ao modelo linear observando-se, através da equação de regressão, um aumento de 18,56% entre o menor (17,58 folhas), com NH de 40%, e o maior NF (20,85), obtido com 120% de reposição hídrica (Figura 1B). Biscaro *et al*. (2008), estudando a cultura do girassol em condição de campo irrigada com água de boa qualidade e submetido a diferentes doses de nitrogênio, verificaram que o maior NF por planta (15,5) foi obtido aos 45 dias após a emergência (DAE) com a aplicação de 80 kg ha^{-1}; comparando este resultado com o presente experimento, verifica-se que a menor reposição hídrica com água residuária (AR) proporcionou um NF superior, denotando que a AR constitui um aporte de nutrientes (Tabela 2) para as plantas favorecendo seu crescimento.

Notou-se que o déficit hídrico afetou o número de folhas em virtude, provavelmente, da deficiência hídrica ocasionar o fechamento dos estômatos diminuindo a concentração intracelular de CO_2 e, consequentemente, gerando decréscimo na assimilação do mesmo (BERNARDO *et al.*, 2006).

Observa-se que na avaliação inicial a adubação teve maior influência sobre o NF e, posteriormente, o menor volume de irrigação prejudicou mais a emissão de folhas. Este resultado está de acordo com a FAO

Tabela 3. Resultado de teste F para número de folha (NF), altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC) aos 39 e 63 dias após o semeio (DAS) do girassol em função de diferentes proporções de reposição hídrica com água residuária e doses de adubação orgânica

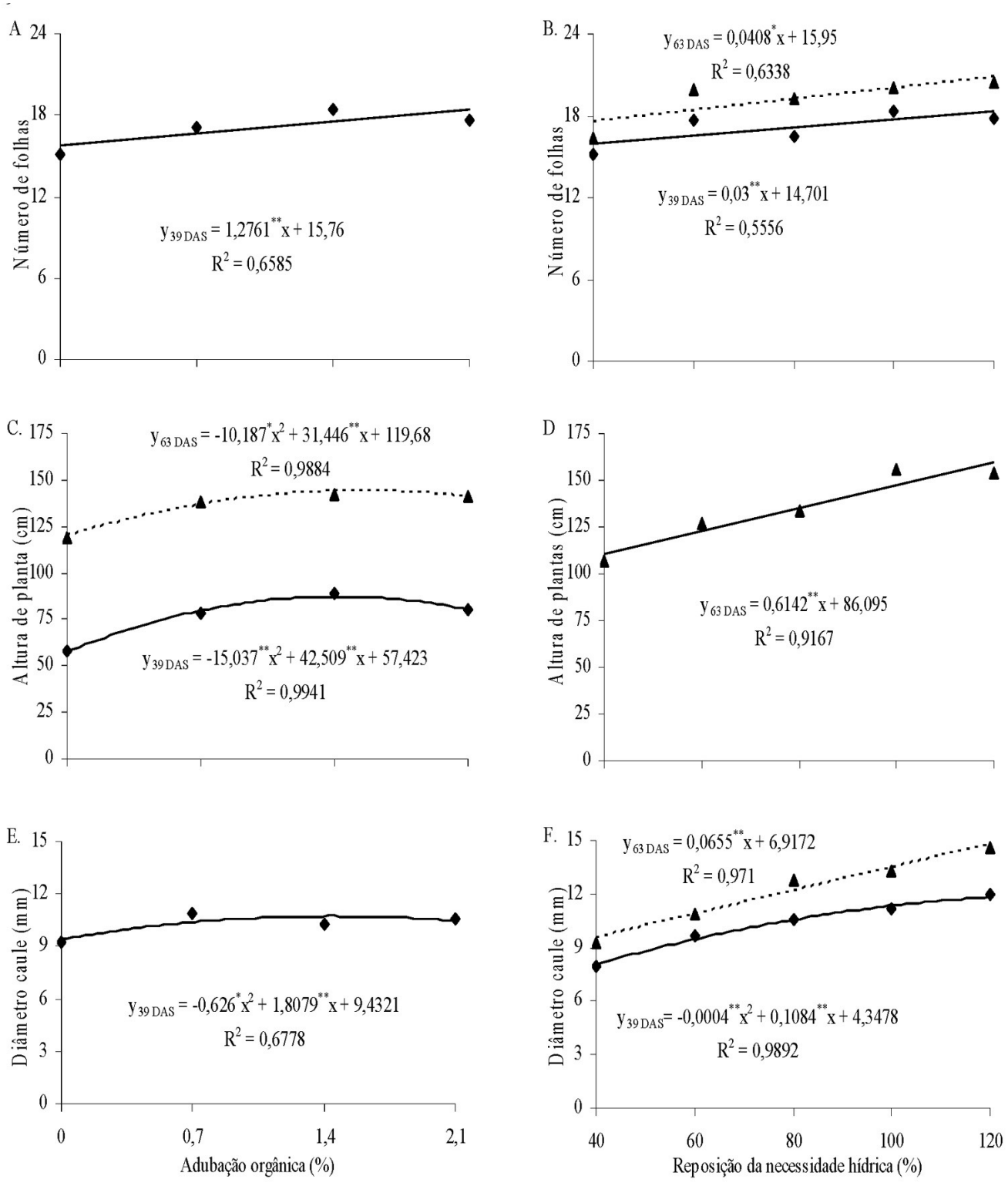
Fonte de Variação	Teste F					
	NF		AP		DC	
	39 DAS	63 DAS	39 DAS	63 DAS	39 DAS	63 DAS
Necessidade hídrica (NH)	**	*	ns	**	**	**
Reg. Linear	**	*	ns	**	**	**
Reg. Quadrática	ns	ns	ns	ns	**	ns
Reg. Cúbica	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Doses (D)	**	ns	**	**	**	ns
Reg. Linear	**	ns	**	**	**	ns
Reg. Quadrática	*	ns	**	*	*	ns
Interação (NH x D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	12,36	17,21	18,13	11,13	9,95	10,57

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$

(2004), ao citar que a cultura do girassol possui uma exigência relativamente alta de água, sobretudo na fase de floração requerendo, uma porcentagem total média de água em torno de 55%, e de 20% durante o crescimento e 25% para o enchimento de grãos; este informa, ainda, que o déficit hídrico não deve exceder 45% da água disponível do solo por possibilitar secagem das folhas e, consequentemente, redução do rendimento da cultura.

Souza *et al*. (2008), verificaram também, estudando o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a cultura do algodoeiro, aumento no número de folhas por planta com a maior oferta de água no solo até a lâmina de 1,08% da ETc estimada, para então apresentar tendência decrescente. Taiz & Zeiger (2004), citam que em condições de estresse hídrico, além da diminuição no número de folhas emitidas ocorre um decréscimo na área foliar do girassol e do algodoeiro.

Figura 1. Número de folhas (A, B), altura de planta (C, D) e diâmetro de caule (E, F) de plantas de girassol aos 39 e 63 dias após o semeio (DAS) em função da adubação orgânica e reposição da necessidade hídrica



Constatou-se efeito significativo ($p < 0,01$) das reposições hídricas aos 63 DAS e das doses de adubação aos 39 e 63 DAS, sobre a altura de planta (Tabela 3). Conforme equações de regressão referente à última avaliação, o modelo ao qual os dados se ajustaram melhor, foi o linear, indicando um acréscimo de 11,20% na AP por aumento de 20% da reposição da necessidade hídrica (Figura 1D), tendo alcançado, aos 63 DAS, uma AP de 159,8 cm em N5. Biscaro et al. (2008) obtiveram, aos 45 DAE uma AP de 114,7 cm em girassol irrigado com água boa e aplicação de 72,9 kg ha^{-1} de N o que evidencia, neste experimento com AR, um suprimento adequado de nitrogênio às plantas quando irrigadas com este tipo de água (Tabela 2). Silva *et al.* (2007), avaliando o crescimento e a produtividade do girassol sob diferentes lâminas de água de boa qualidade, notaram também incremento na AP com maior disponibilidade hídrica no solo; já Cunha *et al.* (2005), testando diferentes lâminas de irrigação com água residuária e adubação nitrogenada sobre o algodoeiro, não encontraram diferenças significativas para a altura de plantas divergindo, assim, dos resultados aqui obtidos.

Em relação à adubação orgânica, constata-se efeito quadrático (Figura 1C) onde se vê que as maiores alturas, 87,46 cm (39 DAS) e 143,93 cm (63 DAS) foram referentes às dosagens de 1,4 e 1,5%, respectivamente. De acordo com Canellas et al. (2000) a matéria orgânica através das trocas iônicas, tem importância fundamental no suprimento de nutrientes às plantas, na ciclagem de nutrientes e na fertilidade do solo.

Segundo Oliveira *et al*. (2009), elevados teores de esterco podem proporcionar desbalanço nutricional no solo e, em consequência, redução no desenvolvimento e produção final das cultura.

Verifica-se na Tabela 3, o resultado do teste F para diâmetro do caule o que torna possível observar que houve efeito significativo ($p < 0,01$) dos fatores necessidade hídrica, nas duas avaliações, e doses apenas aos 39 DAS, sobre esta variável. Analisando-se os efeitos das lâminas com água residuária, constata-se efeito quadrático aos 39 DAS (Figura 1F), obtendo-se 11,6 mm como maior diâmetro, com 120% de reposição hídrica, o que representa um aumento de aproximadamente 44% em N5 em relação a N1; já na última análise o efeito foi linear com incremento de 13,8% por intervalo de 20% de reposição da necessidade hídrica estudado. Conforme equação de regressão para 'D', na avaliação inicial o modelo ao qual os dados se ajustaram melhor, foi o quadrático, podendo-se constatar que o DC, assim como ocorrido para a variável AP, teve incremento em função de 'D' até 1,4% atingindo, assim, o maior diâmetro (10,74 mm) e apresentando, em seguida, tendência a redução (Figura 1E).

Trabalhando com a cultura da mamona sob adubação com biossólido e irrigação com água residuária, Nascimento et al. (2006) constataram incremento nas variáveis DC, AP, NF e área foliar, ao longo do tempo, em função dos tratamentos, em comparação com a irrigação com água de abastecimento.

Em experimento com a cultura da mamoneira Oliveira et al. (2009) verificaram efeito quadrático da adubação orgânica usando esterco bovino, sobre o diâmetro e área foliar das plantas, o que denota que algumas variáveis são beneficiadas pelo incremento de nutrientes, até certo limite.

Constata-se que o diâmetro do caule das plantas decresceu à medida em que as proporções de irrigação diminuíram como decorrência natural das condições hídricas desfavoráveis para divisão e alongamento celular afetando, sobretudo, o câmbio caulinar (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Com relação à fitomassa fresca (FFPA) e seca (FSPA) da parte aérea, nota-se que houve efeito significativo

Tabela 4. Resultado de teste F para fitomassa fresca da parte aérea (FFPA) e seca (FSPA) aos 39 e 63 dias após o semeio (DAS), e aos 100 DAS para fitomassa fresca (FFR) e seca (FSR) de raiz e seca total (FST) do girassol em função de diferentes lâminas de água residuária e doses de adubo orgânico

Fonte de Variação	Teste F						
	FFPA		FSPA		FFR	FSR	FST
	26 DAS[1]	100 DAS[1]	26 DAS[1]	100 DAS[1]		100DAS[2]	
Reposição hídrica (RH)	ns	**	ns	**	**	**	**
Reg. Linear	ns	**	ns	**	**	**	**
Reg. Quad.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg. Cúbica	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Doses (D)	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
Reg. Linear	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
Reg. Quad.	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
Inter. (RH x D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	18,22	13,77	19,18	11,50	27,45	32,96	23,38

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$

[1] dados transformados em $\sqrt{X}$ e [2] dados transformados em $\sqrt{X+1}$

(p < 0,01) das doses de adubação apenas aos 26 DAS sobre essas variáveis; já as reposições hídricas influenciaram apenas por ocasião da avaliação aos 100 DAS (Tabela 4). Verificou-se, aos 26 DAS, resposta quadrática das doses de adubação orgânica com as maiores FFPA (22,33 g) e FSPA (1,75 g) obtidas para uma dosagem de 1,4% de esterco bovino (Figura 2A e C), denotando que, nesta fase, a necessidade por nutrientes das plantas tem influência superior à de reposição hídrica do solo, em virtude de não ter apresentado resultado significativo quanto à variação de N, o que comprova os resultados da FAO (2004), que cita a fase de crescimento do girassol como a de menor exigência hídrica. Conforme Malavolta et al. (1997) a produção de massa de matéria seca está intimamente associada à lâmina de água colocada à disposição da planta o que pode ter ocorrido, inicialmente, pelo fornecimento de adubação orgânica e devido ao uso de água residuária.

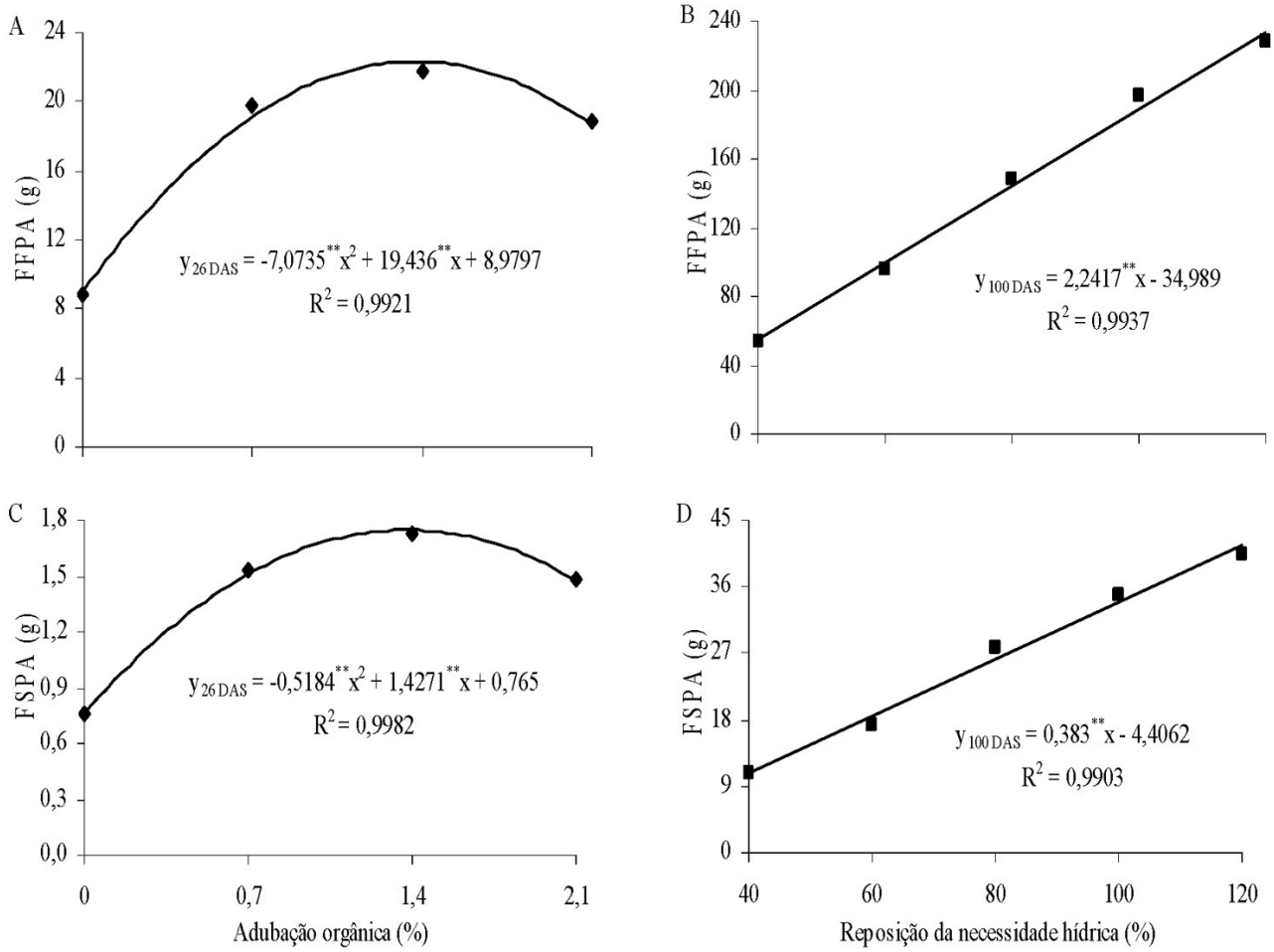
Portanto, o suprimento inadequado de nutrientes, tanto pela falta quanto pelo excesso, pode provocar restrições ao seu crescimento e alterar relações entre biomassa aérea e radicular (BOVI et al., 1999).

Na ultima avaliação, constatou-se com base nas equações de regressão, resposta linear crescente com as reposições hídricas aplicadas sobre as fitomassas fresca e seca da parte aérea (Figura 2B e D). Verificam-se acréscimos de 328% da FFPA e 280,8% para FSPA das plantas sob N5 em relação a N1, ou seja, incremento de 82,0 e 70,2%, respectivamente, por intervalo de 20% de reposição da necessidade hídrica analisada no experimento. Em discordância ao presente estudo, Osburn & Burkhead (1992), citam que a aplicação de águas residuárias de esgoto urbano na produção de hortaliças, não promoveu diferença significativa no crescimento da planta.

Segundo Taiz & Zeiger (2004), o estresse hídrico na cultura de girassol afeta a fotossíntese e a expansão foliar. A expansão foliar é muito sensível a deficiência hídrica sendo completamente inibida sob níveis moderados de estresse, o que afeta severamente as taxas fotossintéticas e, em consequência, a produção de fitomassa da parte aérea.

Quanto à produção de fitomassa fresca e seca de raiz aos 100 DAS (Tabela 4), o teste F indicou efeito significativo (p < 0,01) do fator de necessidade hídrica sobre essas variáveis, não se detectando diferenças significativas da FFR e FSR em relação às doses de adubação orgânica estudada, indicando ter ocorrido uma possível suplementação de nutrientes às plantas atra-

Figura 2. Fitomassa fresca (A, B) e seca (C, D) da parte aérea de plantas de girassol aos 26 e 100 dias após o semeio (DAS) em funcão da adubacão orgânica e reposicão da necessidade hídrica



vés do uso da água residuária. Conforme Lobo & Grassi Filho (2007), estudando o comportamento do girassol sob diferentes níveis de lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto, concluíram ser possível substituir o N oriundo da adubação mineral com N originado do lodo de esgoto, havendo um aumento significativo na produtividade em matéria seca, em grãos e rendimento de óleo.

Constata-se ajuste dos dados de FFR e FSR a uma função linear crescente com as lâminas de água aplicadas (Figura 3A e B). Vê-se, em relação à massa fresca de raiz, acréscimo de 81,0% por aumento de 20% da lâmina de reposição hídrica, perfazendo um acréscimo total da FFR de 324,8% na maior lâmina em relação à menor se alcançando, em N5, uma fitomassa por planta de 80,1g. A FSR teve incremento de 122% por intervalo de reposição da necessidade hídrica estudado obtendo em N5, 17,38 g, valor este bem superior a N1 (2,96 g). De acordo com Taiz & Zeiger (2004) déficits hídricos moderados afetam o desenvolvimento do sistema radicular.

Denota-se ser a produção de fitomassa das plantas controlada por um balanço funcional entre absorção de água pelas raízes e fotossíntese pela parte aérea, ou seja, a parte aérea vai crescendo até que a absorção de água pelas raízes se torne limitante; inversamente, as raízes crescerão até que sua demanda por fotoassimilados da parte aérea se iguale ao suprimento. Observa-se, no presente experimento, que o aumento do déficit hídrico proporcionou redução na produção de fitomassa do sistema radicular como forma de adaptação das plantas ao estresse e em consequência, favoreceu o decréscimo da massa da parte aérea. Diferentemente, Baumgarrner *et al*. (2007), estudando o reúso de água residuária proveniente da piscicultura e da suinocultura na irrigação de alface, não constataram diferença significativa entre as médias das massas fresca e seca das raízes, parte aérea e total. Esta divergência de resultados pode ter ocorrido em razão da diferença de nutrientes existentes nas diferentes águas e das culturas estudadas.

Conforme resultados do teste F (Tabela 4), ocorreu efeito significativo ($p < 0,01$) das reposições de necessidades hídricas sobre a fitomassa seca total, aos 100 DAS; assim como se deu para fitomassas da parte aérea e de raiz, não se verificou efeito significativo do fator adubação sobre a FST devido as plantas terem comportamento semelhante, o que pressupõe que a água residuária também contribuiu nutricionalmente (Tabela 2) para o crescimento das plantas. Verificou-se na equação de regressão contida na Figura 4, incremento linear da FST de 153,6%, ou seja, 34,8 g por

Figura 4. Fitomassa seca total de plantas de girassol aos 100 dias após o semeio (DAS) em função da reposição da necessidade hídrica

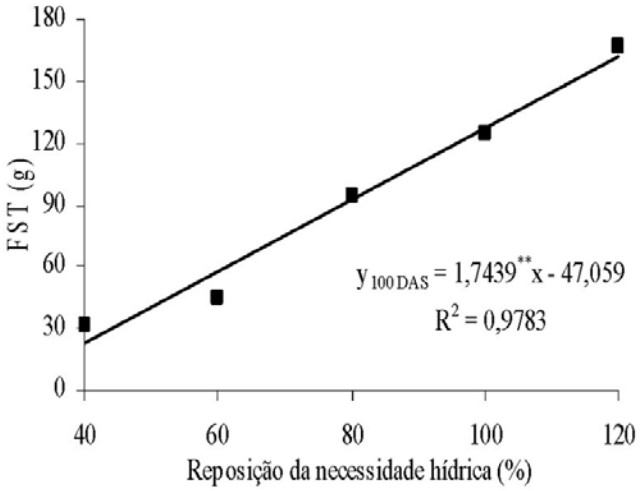
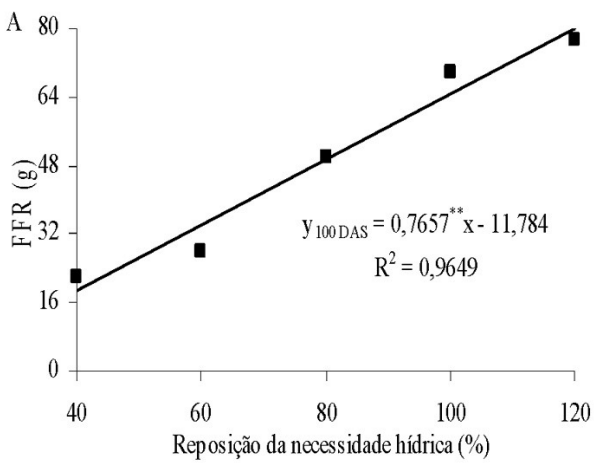
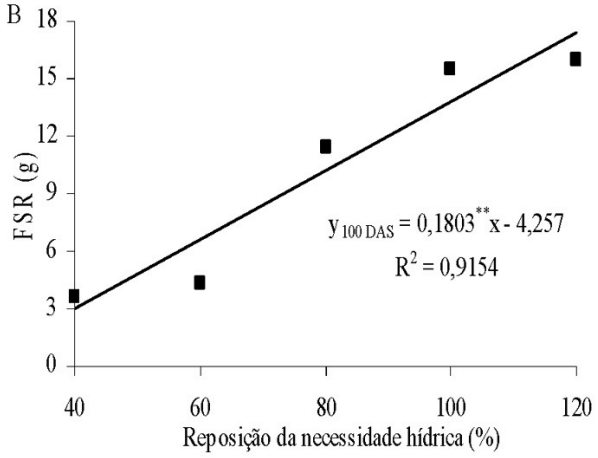


Figura 3. Fitomassa fresca (A) e seca (B) de raiz de plantas de girassol aos 100 dias após o semeio (DAS) em função da reposição da necessidade hídrica





aumento de 20% da reposição da necessidade hídrica indicando um aumento de 614,4% da massa seca total entre o maior e o menor índice de reposição hídrica estudado.

Em seu estudo com a cultura do girassol, Castro et al. (2006), constataram que o déficit hídrico ocorrido principalmente durante o início do florescimento e enchimento dos grãos, promoveu decréscimo na massa seca total, de aquênios e de óleo.

De acordo com as equações de regressão referente à taxa de crescimento absoluto (Figura 5A), observa-se que o modelo linear representou o melhor ajuste dos dados tanto em relação à FFPA como à FSPA, havendo acréscimo de 109,6 e 79,0% na TCA_{FFPA} e TCA_{FSPA}, respectivamente, por aumento de 20% da reposição da necessidade hídrica; segundo Benincasa (2003), a TCA, variação ou incremento entre duas amostragens sucessivas, reflete a velocidade de crescimento da planta. Vê-se que nas condições em que foi desenvolvido este experimento as plantas, quando submetidas a índices crescentes de reposição da umidade no solo tiveram maior velocidade de crescimento assim como maior acúmulo de matéria fresca e seca. Farias *et al*. (2003) estudando a cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água, também constataram que a maior oferta hídrica favoreceu o crescimento das plantas, ao longo do tempo.

A Figura 5B indica o comportamento da taxa de crescimento relativo, ou seja, a estimativa do crescimento da planta em função da matéria pré-existente (BENINCASA, 2003), verificando-se, com base nas equações de regressão, haver incremento linear de 69,7% (TCR_{FFPA}) e de 54,5% (TCR_{FSPA}) por intervalo de reposição hídrica pesquisado, denotando que o déficit hídrico contribui para a redução da eficiência da planta em acumular matéria seca. Tal como nesta pesquisa, outros autores também notaram reduções na TCR, em função do aumento do déficit hídrico, como Rodrigues et al. (2008) trabalhando com mamona, Peixoto et al. (2006) com citros, dentre outros.

CONCLUSÕES

1. A adubação orgânica proporcionou aumento das variáveis NF, AP, DC, FFPA e FSPA somente nas avaliações iniciais (26 e 39 DAS) e até a dosagem de 1,4%.

2. A reposição da necessidade hídrica crescente com água residuária favoreceu as variáveis estudadas principalmente nas avaliações realizadas aos 63 e 100 DAS sendo os maiores incrementos observados na produção de massa fresca e seca das plantas, com reposição de 120%.

3. Os efeitos da irrigação com água residuária influenciaram um número maior de variáveis estudadas, que a adubação orgânica.

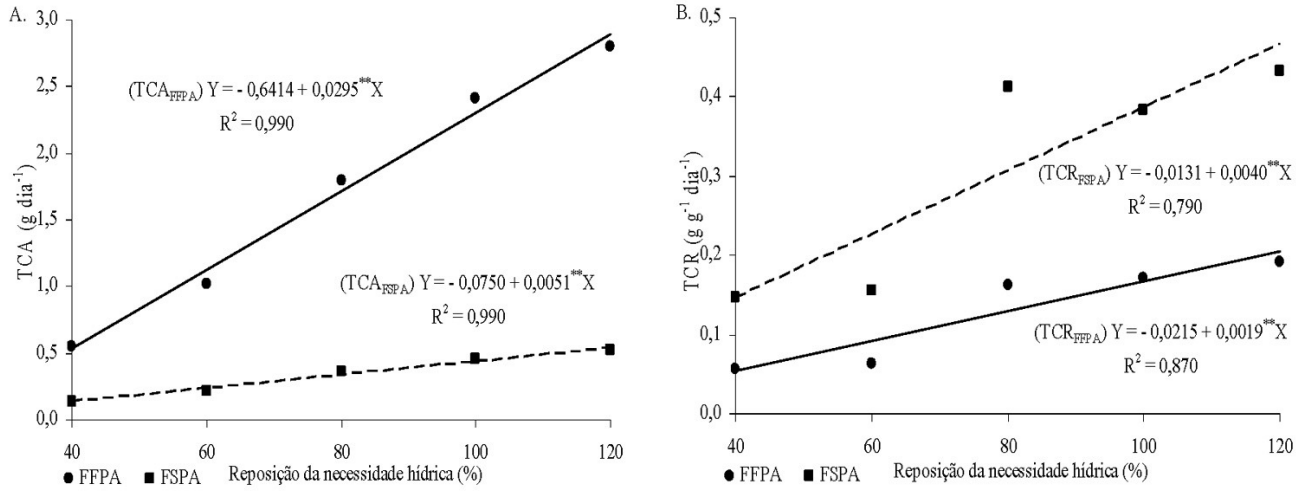
4. O uso de água residuária proveniente de esgoto doméstico constitui fonte potencialmente importante ao suprimento hídrico de plantas de girassol, cv. Embrapa 122/V-2000.

5. Os efeitos da reposição hídrica e adubação orgânica sobre o girassol ocorreram de forma independentemente, em virtude de não se ter verificado interação entre os mesmos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão do auxílio financeiro e bolsa PRODOC, ao primeiro autor, para realização deste trabalho, e a Embrapa, unidade Soja, escritório de negócios de Dourados, MS pelo fornecimento das sementes de girassol.

Figura 5. Taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) da fitomassa fresca e seca de plantas de girassol em função da reposição da necessidade hídrica



LITERATURA CITADA

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S.C.; SILVA, T.R. da; TEO, C.R.P.A.; VILAS BOAS, M.A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.1, p.152-163, 2007.

BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas).* Jaboticabal: Funep. 2003. 42p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; Mantovani, E. C. *Manual de irrigação*. 7 ed. Viçosa, 2006.

BISCARO, G.A.; MACHADO, J.R.; TOSTA, M. da S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R.P.; CARVALHO, L.A. de. Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia, MS. *Ciência Agrotecnologia*, v.32, n.5, p.1366-1373, 2008.

BOVI, M.L.A.; SPIERING, S.H.; BARBOSA, A.M.M. Densidade radicular de progênies de pupunheira em função de adubação NPK. Horticultura Brasileira, v.17, n.3, p.186-193, 1999.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G. da; SILVA, M.B.; SANTOS, G. de A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.133-143, 2000.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v.68, p.135-149, 2004.

CASTRO, C. de; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R.F. de; DECHEN, A.R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. *Ciência Agrotecnologia*, v.30, n.2, p.214-220, 2006.

COELHO, M.A.; SONCIN, N.B. *Geografia do Brasil*. São Paulo: Ed. Moderna. 1982. 368p.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº. 54, de 28 de novembro de 2005. Disponível em: www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R54. Acesso em: 23 de junho de 2009.

CUNHA, P.F.F.C.; MADEIROS, L.B.; ALVES, W.A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.A.V.; BELTRÃO, N.E. de M.; LACERDA, M.D.; SOUSA, R.M. Níveis de água residuária tratada disponível no solo e nitrogênio: efeito sobre a altura da planta do algodoeiro de fibra marrom. In: Congresso Brasileiro de Algodão, 5, 2005, Salvador. Anais..., Salvador: Embrapa - Algodão. 2005. CD-ROM.

DALL'AGNOL, A.; VIEIRA, O.V.; LEITE, M.R.V.B. de C. Origem e histórico do girassol. In: ____. *Girassol no Brasil*. Londrina: Embrapa Soja, v.1, p.1-12, 2005.

DURIGON, R.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R.; PAVINATO, P.S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.983-992, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. GIRASSOL Embrapa 122 / V-2000. Londrina, 2006. (Folder n. 04/2006).

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agicultural Service. Oilseeds: world market and trade. Washington: USDA, 2005. 28 p. (USDA, Circular serie FOP 08-05). Disponível em: www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2005/05-08/FULL05Aug.pdf

FAO - Crop water management. Sunflower. Disponível na Internet. http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/sunflower.stm. 11 Jan. 2004.

FARIAS, C.H. de A.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MEDEIROS, J.F. de; COSTA, M. da C.; NASCIMENTO, I.B. do; SILVA, M.C. de C. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.445-450, 2003.

FINK, D.R.; SANTOS, H. F. A legislação de reúso da água. In: Recurso de água; Capítulo 8. ed. P.C. Sanches e Mancuso & H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2002.

FERREIRA, P.V. *Estatística experimental aplicada à agronomia*. 2.ed. Revisada e ampliada. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 2000. 437p.

HESPANHOL, I. Reúso da água – uma alternativa viável. *Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – BIO*, v.1, n.18, p.24-25, 2001.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: Mancuso, C. S. A.; Santos, H. F. (ed.). *Reúso de água.* Barueri, SP: Manole, 2003. 37-95p.

HUSSAIN, N.; JAKHAR, R.A.; TAHIR, M.; NOREEN, R.; HASSAN, N.; UJEEB, F. Impact of Ca/Mg rations of irrigation water on soil properties and crop yields. *Asian Journal of Plant Sciences*. v.1, n.1, p.51-52, 2002.

LAZARATO, J.; ROESSING A.C.; MELLO H.C. O agronegócio do girassol no mundo e no Brasil. In : Leite, R. M. V. B. de C.; Brighenti, A. M.; Castro, C. (ed.). *Girassol no Brasil.* Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.15-42.

LOBO, F.T.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do Girassol. *Revista de Ciências do Solo e Nutrição Vegetal*, v.7, n.3, p.16-25, 2007.

LONDE, L.R.; PATERNIANI, J.E.S. Filtração lenta para reutilização de água em irrigação. *Irriga*, v.8, n.1, p.10-20, 2003.

MADEIRA, C.A.; PEÑA, M.R.; MARA, D.D. Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle Del Cauca, Colombia. *Water Science Technology.* v.45, n.1, p.139-143, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI G.C.; OLIVEIRA S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional.* 2ª ed. Piracicaba – SP. Editora Potafos. 319 p. 1997.

NASCIMENTO, N.O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n.1, p.36-48, 2005.

NASCIMENTO, M.B.H. do; LIMA, V.L.A. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, A.P. de; FIGUEIREDO, I.C. de M.; LIMA, M.M. de. Uso de biossólido e de água residuária no crescimento e desenvolvimento da mamona. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v.10, n.1/2, p.1001-1007, 2006.

OLIVEIRA F. de A. DE; OLIVEIRA FILHO, A.F. de; MEDEIROS, J.F.; ALMEIDA JUNIOR, A.B. de; LINHARES, P.C.F. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica. *Revista Caatinga*, v.22, n.1, p.206-211, 2009.

OSBURN, R.C.; BURKHEAD, C.E. Irrigating vegetables with wastewater. *Water Enviroment & Technology*, v.4, n.1, p.38-43, 1992.

PEIXOTO, C.P.; CERQUEIRA, E.C.; SOARES FILHO, W. dos S.; CASTRO NETO, M.T. de; LEDO, C.A. da S.; MATOS, F.S.; OLIVEIRA, J.G. de. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.3, p.439-443, 2006.

RODRIGUES, L.N.; NERY, A.R.; FERNANDES, P.D.; BELTRÃO, N.E. de M. Taxas de crescimento em altura da mamoneira submetida ao estresse hídrico-salino. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 3, 2008, Salvador. Congresso Brasileiro de Mamona: Energia e Ricinoquímica, 2008. CD-ROM.

SETTI, A.A. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.* 3. ed. Brasília: ANEEL/ANA, 2002. 328p.

SILVA, M. de L.O. E; FARIAS, M.A. DE; MORAIS, A.R. DE; ANDRADE, G.P.; LIMA, E.M. DE C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.5, p.482-488, 2007.

SOUSA, P.S. de; MEDEIROS, J.F. de; MATOS, J. de A.; MELO, S.B. de; FERREIRA, R. da C. Efeito de lâminas de irrigação sobre o crescimento do algodoeiro herbáceo. *Revista Verde*, v.3, n.3, p.6-11, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 613 p.

TAVARES, T. de L.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O. de; AZEVEDO, M.R. de Q. A. Efeitos da adubação do solo e da irrigação sobre os componentes de produção da alface. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.231-235, 2005.

UACA - Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. Banco de dados climáticos. Campina Grande: UFCG, 2009. Disponível em: www.dca.ufcg.edu.br/clima.htm. Acesso em: 23 junho 2009.

Influência do manejo na sustentabilidade do uso agrícola de efluentes: estudo de caso com cana-de-açúcar em Lins-SP

CRITICAL INFLUENCE OF MANAGEMENT FOR AN EFFLUENT SUSTAINABLE AGRICULTURAL USE: A STUDY CASE WITH SUGARCANE IN LINS-SP

Julius Blum[1]
Rafael Marques Pereira Leal[2]
Célia Regina Montes[3]
Adolpho José Melfi[4]

[1] Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas ESALQ-USP e Núcleo de Pesquisa em Geoquýímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL), USP;
[2] Doutorando em Ciências CENA-USP; [3] Profa Dra. CENA-USP e NUPEGEL-USP;
[4] Prof Dr. Departamento Solos e Nutrição de Plantas ESALQ-USP e NUPEGEL-USP.

Endereço: NUPEGEL, Av. Pádua Dias, 11 - 13418-900 Piracicaba, SP - Brasil - E-Mail: jblum@esalq.usp.br.

RESUMO

As culturas têm papel decisivo no uso sustentável de efluentes em sistemas agrícolas. Neste trabalho, foram comparadas as quantidades de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e Na aportados pela irrigação com efluente de esgoto tratado (EET) com as quantidades extraídas pela cultura de cana de açúcar em dois ciclos sucessivos, um de alta produtividade e outro de baixa, onde a produtividade foi afetada pela compactação. No primeiro ciclo, a irrigação com efluente aumentou a produtividade e a exportação de nutrientes e Na, enquanto que no ciclo seguinte, afetado pela compactação, a irrigação não promoveu ganhos de produtividade ou na extração dos nutrientes e Na aportados, incrementando o potencial de contaminação do ambiente via lixiviação. Portanto, práticas de manejo compatíveis com elevados níveis de produtividade são cruciais em agrossistemas irrigados com EET.

ABSTRACT

Crops play a key role in the sustainable use of effluents in agricultural systems. In this study, we compared the amounts of nutrients (N, P, K, Ca and Mg) and Na added by irrigation with treated sewage effluent (TSE) with the quantities extracted by sugarcane in two successive cycles, one of high productivity and one of low, where productivity was affected by soil compaction. In the first cycle, irrigation with effluent increased the productivity and the amounts of nutrients and Na exported by the crop, while in the following cycle, affected by soil compaction, irrigation did not increase productivity nor the extraction of nutrients and Na, increasing the potential for environmental contamination through leaching. Therefore, management practices coherent with high productivity levels are crucial in agrosytems irrigated with TSE.

Palavras-chave: efluente de esgoto tratado; reuso agrícola, cana-de-açúcar, lixiviação; contaminação ambiental, manejo agrícola.
Key words: treated sewage effluent; agricultural reuse; sugarcane; leaching; environmental contamination; agricultural management.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento agrícola dos efluentes de estações de tratamento de esgoto (EETE) gerados por sistemas de lagoas de estabilização, além de preservar a qualidade dos recursos hídricos, evitando a disposição nos cursos d'água e os respectivos riscos de eutroficação, pode acarretar num conjunto de benefícios, tais como o fornecimento de nutrientes aos cultivos agrícolas e a economia de água de boa qualidade, sendo, portanto, uma alternativa econômica e ambientalmente interessante (FEIGIN *et al.*, 1991; da FONSECA *et al.* 2007a). Apesar dos potenciais benefícios, esta não é uma prática isenta de

riscos, haja vista que a presença de alguns constituintes, tais como o sódio (Na), metais pesados, organismos patogênicos e contaminantes orgânicos, podem ocasionar prejuízos significativos ao sistema solo, comprometendo, caso não se observem rigorosamente os critérios técnico-científicos apropriados a esta prática, a viabilidade do reuso agrícola (BOND, 1998).

Dentre os diversos aspectos a serem considerados para o aproveitamento sustentável deste resíduo na agricultura, a utilização de culturas com grande capacidade de exportação de nutrientes é um dos itens de maior importância. Uma elevada extração de nutrientes pelas plantas possibilita o pleno aproveitamento dos nutrientes disponíveis no EETE, minimizando as perdas e o potencial impacto negativo associado, tais como a lixiviação de nitrato para o lençol freático e o acréscimo nas emissões de gases de efeito estufa pelo solo (NO_x) (BARTON et al.,2005). A capacidade de exportação de nutrientes pelas plantas está diretamente ligada à produtividade das culturas. Neste sentido, a manutenção de elevados níveis de produtividade de uma cultura depende diretamente de um manejo adequado, no qual se observem as condições físicas, químicas e biológicas mais apropriadas ao seu desenvolvimento.

De acordo com Segarra et al. (1996), as culturas aptas a irrigação com EETE devem possuir, dentre outras características, um alto consumo de água, elevada absorção de nitrogênio (N), potencial de processamento industrial e alto retorno econômico. Neste sentido, a cana-de-açúcar, é uma das culturas que possuem grande potencial para ser irrigada com EETE, considerando-se a possibilidade de aproveitamento industrial, a importante geração de divisas com as exportações de açúcar e álcool, sua eficiência fotossintética e a conseqüente alta demanda de nutrientes e água (LEAL, 2007). Apesar do elevado potencial de resposta a irrigação, esta prática ainda é incipiente no Estado de São Paulo, independentemente do tipo de água utilizado (CUNHA, 2001). Mesmo no nível da pesquisa, experimentos que utilizem EETE como fonte de água para irrigação ainda são incomuns (LEAL *et al.*, 2009a).

Neste trabalho, foram analisadas as inter-relações entre manejo, produtividade e uso agrícola de efluentes, a partir da análise de um agrossistema cultivado com cana-de-açúcar por 2 ciclos e irrigado com EETE em Lins-SP. Para tal, foram comparadas as quantidades de nutrientes aportados e extraídos pela cultura nos dois ciclos, um de alta e outro de baixa produtividade, tendo sido a produtividade afetada pelas práticas de manejo adotadas.

METODOLOGIA

A área experimental localiza-se no município de Lins, estado de São Paulo, longitude 49º50'W, latitude 22º21'S, altitude de 440 m, situada junto à estação de tratamento de esgotos operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). O solo local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, com textura franco arenosa (EMBRAPA, 1999). No momento do plantio da cultura, realizado em março de 2005, o solo apresentava pH em $CaCl_2$ de 5,17, teores de Ca, Mg, K e Na iguais à 12,9, 3,5, 2,7 e 1,1 $mmol_c\ kg^{-1}$ respectivamente e capacidade de troca de cátions (CTC) de 35,5 $mmol_c\ kg^{-1}$ na camada de 0-20 cm de profundidade e grau de dispersão de argila de 26,6% ao longo do perfil (LEAL, 2007).

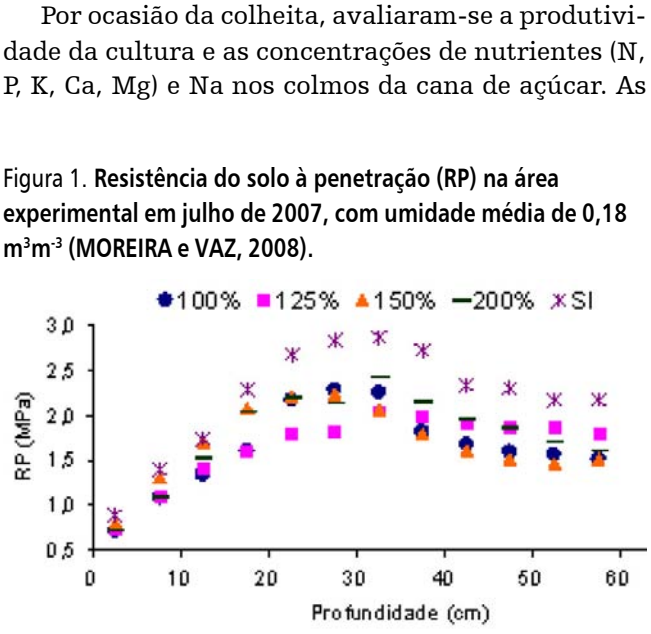
As principais características agroindustriais da variedade empregada no estudo, RB 72454, são: alta produtividade em cana-planta e cana-soca, alto rendimento agroindustrial, baixa exigência em fertilidade do solo, ampla adaptabilidade e estabilidade de produção, com médio potencial de brotação da soqueira.

Foram avaliadas duas safras subseqüentes, cana planta (safra 2006) e primeira soca (safra 2007). No primeiro ciclo, a fertilização mineral da cana-de-açúcar consistiu da aplicação de 15 kg ha^{-1} de N (nitrato de amônio), 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 80 kg ha^{-1} K_20 (cloreto de potássio), nos sulcos de plantio. Após o primeiro corte, foram aplicados 120 kg ha^{-1} de N (nitrato de amônio), 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 120 kg ha^{-1} K_20 (cloreto de potássio) .

O experimento foi instalado seguindo o delineamento de blocos completos com 05 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam a lâminas de irrigação com EETE, aplicadas por gotejamento: T100 - 100% da necessidade hídrica da cultura (NC); T125 – 25% acima da NC; T150 – 50% acima da NC; T200 - 100% acima da NC e SI - sem irrigação. A necessidade de irrigação foi monitorada por tensiômetros instalados no meio das camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Cada unidade experimental possuía 40,0 m de comprimento, 7,00 m de largura, totalizando 280,00 m^2, sendo a área útil de 126,00 m^2.

Por ocasião da colheita, avaliaram-se a produtividade da cultura e as concentrações de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e Na nos colmos da cana de açúcar. As

Figura 1. **Resistência do solo à penetração (RP) na área experimental em julho de 2007, com umidade média de 0,18 m^3m^{-3} (MOREIRA e VAZ, 2008).**



amostras de colmo foram submetidas a determinações dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, e Na, conforme Malavolta (1997). As concentrações de P, K, Ca, Mg e Na foram obtidas através de digestão nítrico-perclórica e leitura por Fotometria de Chama para K e Na; Espectrometria de Absorção Atômica para Ca e Mg; Colorimetria para P. A concentração de N foi determinada por meio de digestão sulfúrica com posterior destilação em aparelho Kjeldahl e titulação com ácido sulfúrico.

Calcularam-se também os aportes de nutrientes e de Na pelo efluente e a exportação de nutrientes e de Na pelos colmos. As análises de efluente foram realizadas conforme APHA, (1999). Como parâmetro de qualidade física da área, avaliou-se a compactação do solo através da quantificação da resistência a penetração do solo, usando-se para tal um penetrômetro de impacto convencional. As medidas foram feitas em todas as parcelas experimentais, com três repetições por parcela, num total de 60 pontos tomados inteiramente ao acaso (MOREIRA & VAZ, 2008). No início de 2008, avaliou-se também a % de falhas de brotação na área experimental. O critério para caracterização das falhas de brotação correspondeu à ausência de brotos na linha de plantio numa distância maior que 30 cm.

As médias dos tratamentos e das safras avaliadas foram comparadas através de analise de variância seguida pelo teste de Tukey, de acordo com o modelo de parcelas subdivididas, considerando o tempo como subparcela. Todas as análises foram realizadas através do emprego do software SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em média, em sua constituição, o EETE apresentou: pH de 7,7; 31,9 mg L^{-1} de nitrogênio [70% amônio (NH_4^+) e 30% nitrato (NO_3^-)]; 65,28 mg L^{-1} de carbono orgânico dissolvido; 301 mg L^{-1} de bicarbonato (HCO_3^-); 146 mg L^{-1} de sódio; condutividade elétrica de 0,86 dS m^{-1}e razão de adsorção de sódio igual à 11,9 (mmol $L^{-1})^{0.5}$. As altas concentrações de Na no efluente, associadas às baixas concentrações de Ca e Mg, baixa condutividade elétrica e elevada razão de adsorção de sódio são os principais fatores que podem afetar negativamente a produtividade vegetal e a qualidade do solo, em razão da potencial degradação estrutural (dispersão de partículas de argila) provocada pelo Na no solo (LEAL et al. 2009b). Uma caracterização mais completa deste EETE, bem como uma discussão mais detalhada das possíveis implicações agronômico-ambientais oriundas do uso agrícola deste EETE está disponível em da Fonseca et al. (2007b).

No primeiro ciclo produtivo (cana planta), os tratamentos irrigados produziram, em média, 227 ton ha^{-1}, e o tratamento controle (sem irrigação) 152 ton ha^{-1} (Tabela 1). Estes níveis elevados de produtividade para os tratamentos irrigados são explicados por um somatório de fatores: (i) a variedade escolhida apresenta elevada produtividade; (ii) adoção plena das práticas de manejo recomendadas para a cultura, tais como adubação verde anteriormente ao plantio, calagem e adubação mineral; (iii) baixa incidência de pragas, doenças e competição com plantas daninhas; (iv) em especial, a irrigação. É provável que as diferenças de produtividade entre os tratamentos irrigados e o controle estejam relacionadas mais ao fornecimento de água do que ao aporte extra de nutrientes via irrigação, uma vez que, apesar do aporte diferenciado de nutrientes nos diferentes tratamentos irrigados (T100-T200), não houveram diferenças significativas de produtividade entre estes; além disso, comparando-se os tratamentos irrigados e o controle, não houveram diferenças expressivas nas quantidades de nutrientes extraídos pelos colmos para praticamente nenhum dos nutrientes considerados (N, P, K, Ca, Mg, etc). Já no segundo ciclo produtivo ocorreram reduções expressivas de produtividade em todos os tratamentos, tanto nos irrigados quanto para o sem irrigação (Tabela 1). Em relação ao primeiro ciclo produtivo, na média, os tratamentos irrigados apresentaram uma queda de 71% na produtividade enquanto que, no controle sem irrigação, esta redução foi de 62%, sendo a produtividade média em ton ha^{-1} de 66 e 65 para os tratamentos irrigados e controle, respectivamente (Tabela 1). Tais níveis de produtividade são baixos para uma cana em 2° corte, particularmente para uma variedade produtiva como a RB 72454 que, segundo informações do PMGCA/UFSCar (2007), apresenta uma produtividade média de colmos de 100 ton ha^{-1} no 3° corte.

Durante a primeira colheita da cultura, em 2006, ocorreu tráfego de maquinários na área experimental em condições de solo úmido, ocasionando com isso compactação do solo e falhas de brotação na safra seguinte. Como conseqüência, no segundo ciclo, durante o desenvolvimento da cultura, os valores de resistência do solo à penetração, na camada entre 20 e 40 cm, foram próximos ou superiores

Figura 2. **Análise de falhas de brotação da cana de açúcar.**

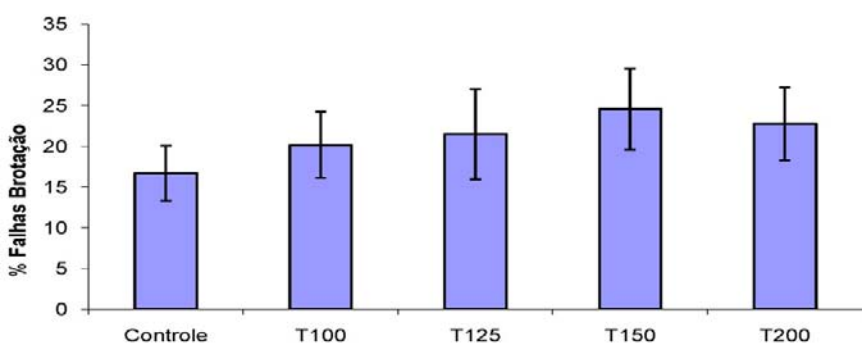


Tabela 1. Extração de nutriente pela cana de açúcar no primeiro e no segundo ciclo produtivo

Tratamento	Lâmina irr.	N	P	K	Ca	Mg	Na
	mm			kg ha^{-1}			
Safra 2006							
SI	-	-	-	-	-	-	-
T100	2520	740	108	311	189	45	3050
T125	3150	925	135	388	236	56	3812
T150	3780	1110	163	466	284	67	4575
T200	5040	1481	217	621	378	89	6100
Safra 2007							
SI	-	-	-	-	-	-	-
T100	1202	353	52	148	90	21	1455
T125	1468	431	63	181	110	26	1777
T150	1796	528	77	221	135	32	2174
T200	2379	699	102	293	178	42	2879

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey p>0,05.

** valor de F significativo p <0,01. SI – sem irrigação;

T100 – 100% da NC; T125 – 25% acima da NC;

T150 – 50% acima de NC e

T200 – 100% acima da NC.

Tabela 2. Aporte de nutrientes pela irrigação com EETE no primeiro e segundo ciclo produtivo da cana de açúcar

Tratamento	Produtividade	Exportação de nutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
	t ha^{-1}	kg ha^{-1}					
Safra 2006							
SI	153c	344c	26b	461a	16c	24b	181a
T100	247a	535ab	45a	550a	38a	48a	138a
T125	198b	464b	37ab	442a	22bc	39a	204a
T150	233a	525ab	49a	481a	30ab	46a	160a
T200	232a	600a	49a	460a	31ab	47a	260a
Safra 2007							
SI	62a	75a	10a	111a	6a	11a	25a
T100	64a	89a	10a	128a	7a	10a	20a
T125	60a	74a	8a	94a	5a	8a	16a
T150	68a	80a	11a	105a	7a	12a	19a
T200	60a	79a	12a	126a	7a	11a	24a
F (safras)	1341**	850**	256**	265**	170**	301**	41**

SI – sem irrigação;

T100 – 100% da NC;

T125 – 25% acima da NC;

T150 – 50% acima de NC e

T200 – 100% acima da NC.

a 2 MPa (Figura 1), valor considerado como sendo restritivo ao crescimento de raízes (BEUTLER e CENTURION, 2003). A compactação do solo nesta profundidade, que concentra uma grande densidade de raízes (FARONI, 2004; FARONI e TRIVELIN, 2006), aliada à sensibilidade desta variedade ao pisoteio, resultou na ocorrência de 17-25 % de falhas de brotação na área experimental (Figura 2). Além do aumento do número de falhas, a compactação pode desencadear respostas conservativas na planta, limitando o seu crescimento (PASSIOURA, 2002). Portanto, o manejo inapropriado durante a primeira colheita limitou o potencial produtivo da cultura na safra posterior, inibindo com isso os efeitos benéficos da irrigação sobre a produtividade e a exportação de nutrientes e Na pelos colmos (Tabela 1).

Além de potenciais prejuízos financeiros, a irrigação com efluentes em sistemas agrícolas com limitações de produtividade, ocasionadas ou não por manejo inadequado, pode causar problemas ambientais devido à baixa exportação de macronutrientes e de Na via colheita de colmos, aumentando com isso o potencial de perdas de nutrientes para o ambiente.

Houve interação significativa entre tratamentos com irrigação e safra avaliada para a produtividade e exportação de N, P, Ca e Mg. Na safra 2006, a produtividade e a exportação de nutrientes e Na pelos colmos foram muito superiores à safra seguinte. Ainda, na primeira safra, o aumento de produtividade nos tratamentos irrigados incrementou a exportação de N, P, Ca e Mg pelos colmos, enquanto que, na safra seguinte, não houve efeito da irrigação, seja na produtividade seja na exportação de nutrientes e Na (Tabela 1).

No primeiro ciclo (safra 2006), mesmo com o aumento de produtividade e exportação de N (464-600kg ha^{-1}) nos tratamentos irrigados com EETE (Tabela 1), as quantidades acumuladas no colmo foram insuficientes para compensar o elevado aporte (740-1481 kg ha^{-1}) oriundo das lâminas de irrigação aplicadas (Tabela 2). Isto reforça a importância de se adequar a quantidade da irrigação a ser aplicada de acordo com os requerimentos nutricionais das culturas empregadas nos projetos de reuso.

Já na safra 2007, a exportação de N pela cultura (75-89 kg ha^{-1}) foi muito inferior ao aporte de N ocor-

rido via irrigação com efluente (353-699 kg ha^{-1}) (Tabela 2). Considerando que neste ciclo não houve aumento de exportação de nutrientes pela cultura em razão da irrigação, grande parte do N aportado pelo efluente foi provavelmente perdido, especialmente na forma de nitrato em solução, dada a baixa afinidade deste ânion com as superfícies coloidais negativamente carregas do solo. Comparando-se o tratamento T100 da safra 2006 com o tratamento T200 da safra 2007, onde o aporte de nutrientes foi semelhante, houve um incremento de extração de cerca de 190 kg de N no tratamento T100 em relação ao SI na safra 2006, correspondente a 25% do N aportado pelo efluente, reduzindo a possibilidade de perdas para o ambiente. Enquanto que, no T200 da safra 2007, em comparação com o SI desta safra, não houve aumento de extração e, portanto, todo o N aportado permaneceu passível de lixiviação. Assim sendo, o aumento na exportação de nutrientes pela cultura, especialmente de íons com potencial poluidor, é um fator chave a ser considerado na implantação e manejo de sistemas irrigados com efluentes.

O comportamento do nitrogênio foi enfatizado por ser, dentre os elementos estudados, o de maior potencial de poluição. No entanto, seguindo o mesmo raciocínio, na safra 2006, 17% do fósforo, 29% do potássio, 11% do cálcio e 54% do magnésio aportados via irrigação no tratamento T100 foram exportados pelos colmos, enquanto que na safra 2007, como a irrigação não promoveu aumento de extração de nutrientes pelos colmos, os íons aportados foram ou adsorvidos pelo solo ou perdidos para o ambiente, acarretando com isso um expressivo aumento do potencial de poluição ambiental via contaminação do lençol freático. Com relação ao sódio, por ser um elemento aportado em grandes quantidades, a extração pela cana não atenuou o potencial de impacto negativo deste elemento a estrutura do solo. A este respeito, cabe ainda dizer que, salvo se tratar de culturas halófitas (LEAL et al, 2008), o manejo sustentável do Na nos agrossistemas irrigados com EETE é muito pouco influenciado pela escolha e/ou pelo manejo da cultura, já que tanto sistemas de alta ou baixa produtividade extrairão e exportarão muito pouco Na em comparação aos elevados aportes normalmente associados a esta classe de resíduo.

CONCLUSÕES

A compactação devido ao manejo inadequado da cultura no momento da colheita do primeiro ciclo afetou expressivamente a sua produtividade no segundo ciclo, reduzindo a capacidade de extração da planta e o seu potencial em aproveitar os nutrientes adicionados via irrigação. A manutenção de elevados níveis de produtividade é crucial para o manejo sustentável dos elementos adicionados ao solo via irrigação com efluente, uma vez que a planta tem papel decisivo na regulação das quantidades de nutrientes sujeitos à perdas no sistema solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxilio financeiro e bolsa de estudo, à SABESP pelo auxilio financeiro e fornecimento da área experimental e ao grupo EQUIPAV açúcar e álcool pela assistência no manejo da cana-de-açúcar

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard methods for the examination for water and wastewater.* 20 ed. Washington: APHA, 1999. 1220p.

BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR, M. D.; MCGILL, A. C.; VAN SCHAIK, A. P.; FITZGERALD, N. B.; PANDEY, S. P. Land application of domestic effluent onto four soil types: plant uptake and nutrient leaching. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.34, p. 635-643, 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **P***esquisa Agropecuária Brasileira***,** Brasília, v. 38, n.7, p. 849-856, 2003.

BOND, W. J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.36, p.543-555, 1998.

CUNHA, C. A. H.; MACHADO, R. E.; COELHO, R. D. Irrigação da cana-de-açúcar: análise econômica. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*. Piracicaba, v.19, n.4, p.30-34, 2001.

EMBRAPA. ***Sistema brasileiro de classificação de solos.*** Rio de Janeiro:Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

FARONI, C. E. **S***istema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas*. 2004. 68 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, p. 1007-1013, 2006.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with trea-*

ted sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224 p.

DA FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, p.194-209, 2007a.

DA 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, 2007b.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.1065-1072, 2008.

LEAL, R. M. P. *Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar.* 2007. 109 p. Dissertação Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.66, n.2, p. 242-249, 2009a.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; DA FONSECA, A. F.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, v.96, p.307-316, 2009b.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MOREIRA, C. R.; VAZ, C. M. Resistência à penetração de um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com efluente de tratamento de esgoto urbano. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Rio de Janeiro, 2008. CD Rom.

PASSIOURA, J. B. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*, v.25, p.311-318, 2002.

SEGARRA, E.; DARWISH, M. R.; ETHRIDGE, D. E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. *Resources, Conservation & Recycling*, Amsterdam, v.17, p.97-107, 1996.

Reuso de efluente têxtil após tratamento complementar com reagente de Fenton

REUSE OF TEXTILE WASTEWATER AFTER ADDITIONAL TREATMENT BY FENTON'S REAGENT

Marília Cleto Meirelles Ribeiro[1]
Mônica Maria Diniz Leão[2]

[1] Engenheira Química, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG)
[2] Engenheira Química, Doutora em Engenharia de Antipoluição (INSA, França), Professora adjunta do DESA (UFMG).

Endereço: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA / Escola de Engenharia / Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Av. Contorno, 842/804 - Centro - Belo Horizonte - MG - CEP: 30110-060 - Brasil - Tel: (31) 3409-1887 - E-mail: marilia@cleto.eng.br.

RESUMO

Este estudo avalia a possibilidade de reuso industrial de efluentes têxteis convencionalmente tratados por lodos ativados e submetidos a tratamento complementar por processo oxidativo avançado, através do uso de reagente de Fenton. O processo é aplicado em efluente coletado à saída da estação de tratamento de uma indústria têxtil. A qualidade do efluente, antes e após o tratamento sugerido, é monitorada em termos de 16 parâmetros físico-químicos determinados adequados para a caracterização de águas sujeitas a uso industrial têxtil. A água obtida por tratamento complementar é fornecida à indústria têxtil, onde testes de reuso são conduzidos para avaliação de seu impacto à qualidade de tingimento de tecidos. Resultados demonstram que a maioria dos parâmetros alcança remoção significativa. Os testes de tingimento apresentam resultados positivos, indicando a possibilidade de reuso do efluente após tratamento proposto.

ABSTRACT

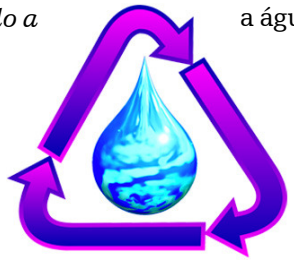
This study assesses the possibility of reusing textile wastewater treated by conventional activated sludge process and submitted to further treatment by advanced oxidative process, through the use of Fenton's reagent. The process is applied to an effluent from the conventional treatment station of a textile mill. The quality of the wastewater before and after the additional treatment is monitored in terms of 16 physical-chemical parameters defined as suitable for the characterization of waters subject to industrial textile use. The water produced by further treatment is fed to the textile mill, where testing for reuse is conducted in order to evaluate the impact on the quality of dyed fabrics. Results show that most parameters achieves significant removal. The dying tests show positive results, indicating the possibility of wastewater reuse after the suggested treatment.

Palavras-chave: reuso industrial; efluente têxtil; reagente de Fenton.
Key words: industrial reuse; textile wastewater; Fenton's reagent.

INTRODUÇÃO

Devido à grande quantidade de água demandada na produção, e às diversas possibilidades de recondicionamento de seus efluentes, a indústria têxtil apresenta elevado potencial na aplicação de técnicas que viabilizem o reuso de água. O efluente industrial que atualmente é tratado por sistema convencional – lodos ativados – pode ser submetido a um tratamento posterior para remoção de componentes recalcitrantes a fim de ser reutilizado no processo.

Para identificação das possibilidades de reuso de água na indústria é fundamental a caracterização dos efluentes gerados, já que alguns parâmetros físico-químicos são essenciais à avaliação da qualidade da água requisitada para uso industrial. Para cada tipo de aplicação, o grau de qualidade exigido pode variar significativamente, de modo que sejam minimizados os riscos ao processo, produto ou sistema no qual a água será utilizada (SAUTCHÚK *et al.*, 2004).



Na literatura, a qualidade da água a ser utilizada em processos têxteis possui restrições que variam conforme o autor. A determinação de parâmetros físico-químicos considerados relevantes à qualidade requerida da água para uso industrial têxtil em efluentes destinados ao reuso é essencial para a tomada de decisão acerca de sua aceitação. A comparação entre as características físico-químicas antes e após intervenção de um tratamento complementar sobre o efluente indica se o tratamento sugerido pode ser suficiente para o reuso proposto.

Dentre as opções de tratamentos que visam ao polimento de efluentes industriais, destacam-se os processos oxidativos avançados (POA), apresentando vantagens por destruírem poluentes ao invés de simplesmente transferi-los de fase. Os POA se caracterizam pela geração de radicais hidroxila ($^{\bullet}OH$), altamente oxidantes, que são capazes de provocar a mineralização da matéria orgânica a dióxido de carbono, água e íons inorgânicos (TEIXEIRA & JARDIM, 2004).

Um dos processos mais difundidos é a utilização de reagente de Fenton, no qual se aplicam peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e íons Fe^{2+} em solução. Os radicais hidroxila, responsáveis pela degradação dos poluentes, são gerados pela decomposição do peróxido catalisada pelos íons ferrosos. A dosagem ótima desses reagentes é fundamental para a eficiência do processo e varia de acordo com o tipo de efluente. Ajuste de pH na faixa de 3,0 e temperatura entre 20-40°C também são essenciais para a eficácia do tratamento.

METODOLOGIA

Na primeira etapa fez-se um levantamento bibliográfico a fim de selecionar parâmetros físico-químicos considerados relevantes à caracterização de águas para uso no processo industrial têxtil. Tal procedimento foi realizado com base em recomendações e restrições para a qualidade da água requerida por indústrias têxteis, disponíveis em estudos acadêmicos, manuais de uso e reuso de água, livros, cartilhas e publicações destinados à utilização e conservação de água na indústria.

A segunda etapa consistiu na caracterização físico-química do efluente coletado à saída da estação de tratamento convencional de efluentes (ETEI) de uma indústria têxtil localizada no município de Ribeirão das Neves, Minas Gerais.

Na terceira etapa, o efluente da ETEI foi submetido a tratamento complementar utilizando-se o reagente de Fenton, à base de peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso heptahidratado, na proporção mássica de 1:2:2 em relação a DQO/$[H_2O_2]$/$[Fe^{2+}]$. Para acidificação e neutralização do sistema, utilizaram-se ácido sulfúrico e hidróxido de sódio. O sistema foi mantido em aparelho *jar-test* sob agitação mecânica a 100 rpm, temperatura ambiente e pH 3. Após 120 minutos de reação, procedeu-se à neutralização do sistema, coagulação e posterior decantação do lodo formado. O sobrenadante foi caracterizado através dos mesmos parâmetros determinados para o efluente da ETEI.

Numa última etapa, foram realizados testes de tingimento de tecidos na indústria têxtil, em escala piloto, utilizando-se o efluente tratado com reagente de Fenton e, em paralelo, as águas de produção geralmente utilizadas na fábrica, a fim de se comparar os efeitos causados pelo reuso sobre os tecidos produzidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Araújo & Castro (1984), a água para utilização industrial têxtil deve atender às seguintes exigências de qualidade: não possuir excesso de ácido nem álcali; apresentar pH compreendido entre 5 e 9, mas o mais próximo possível de 7; não ser corrosiva para tanques e tubulações; não conter substâncias que formem espuma e odores desagradáveis.

A Agência de Proteção Ambiental Americana – USEPA (2004) ressalta que as águas utilizadas na produção de têxteis não podem causar manchas. Para tanto, devem ser livres de corantes e possuir baixos teores de turbidez, cor e ferro. Águas duras podem causar coágulos que se depositam nos tecidos e problemas em alguns dos processos que usam sabão. Nitratos e nitritos podem causar problemas na etapa de tin-

Tabela 1. **Relação de parâmetros físico-químicos e métodos analíticos selecionados.**

Parâmetro	**Método analítico**	**Referência** (APHA, 2005)
Cor	Espectrofotométrico de varredura	De Mio & Campos, 1998 *
Demanda Química de Oxigênio - DQO	Colorimétrico, refluxo fechado	Standard Methods 5220 D
pH	Potenciométrico	Standard Methods 4500-H^+ B
Alcalinidade total	Titulometria potenciométrica	Standard Methods 2320 B
Dureza total	Titulométrico	Standard Methods 2340 C
Condutividade	Potenciométrico	Standard Methods 2510 B
Sólidos Dissolvidos Totais - SDT	Gravimétrico, secagem a 180°C	Standard Methods 2540 C
Sólidos Suspensos Totais - SST	Gravimétrico, secagem a 103-105°C	Standard Methods 2540 D
Turbidez	Nefelométrico	Standard Methods 2130 B
Nitrato	Colorimétrico (salicilato de sódio)	Rodier & Rodi, 1981
Nitrito	Colorimétrico	Standard Methods 4500-NO_2^- B
Cloreto	Titulométrico	Standard Methods 4500-Cl^- B
Sulfato	Turbidimétrico	Standard Methods 4500-SO_4^{2-} E
Ferro total	Absorção atômica	Standard Methods 3111 C
Manganês total	Absorção atômica	Standard Methods 3111 C
Cobre total	Absorção atômica	Standard Methods 3111 C

* adaptado

* adaptado

gimento e recomenda-se que não estejam presentes em quantidades significativas.

Conforme publicação sul-africana do Departamento de Águas e Florestas – DWAF (1996) que estabelece diretrizes para a qualidade da água para uso industrial nesse país, o excesso de matéria orgânica é prejudicial ao produto e ao processo, na medida em que alguns ácidos orgânicos de origem húmica podem interferir na cor dos pigmentos utilizados na produção de têxteis, causando manchas e coloração não uniforme nos produtos. Além disso, a demanda adicional de oxigênio exercida pela elevada concentração de matéria orgânica em operações de branqueamento leva à necessidade de uso de agentes branqueadores em excesso.

A alcalinidade elevada, especialmente em águas duras ou em processos alcalinos, promove a precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio. Tais precipitados interferem em inúmeros processos na fabricação de tecidos, já que podem reagir com certos corantes e bloquear os difusores de umidificadores utilizados no processo têxtil (DWAF, 1996).

Devido à irregularidade provocada, a aderência desigual de sólidos em suspensão aos produtos tingidos gera tecidos de qualidade prejudicada, podendo também influenciar no brilho obtido em tais tecidos (DWAF, 1996).

Já a presença de manganês interfere nas operações de branqueamento, uma vez que a oxidação do manganês a permanganato pode causar manchas, descoloração e opacidade no tecido. Além disso, a formação de complexos de manganês com corantes é capaz de torná-los inativos (DWAF, 1996).

Diante disso, foram definidos como relevantes à caracterização de efluentes sujeitos a reuso industrial têxtil os parâmetros apresentados na Tabela 1, com os respectivos métodos analíticos selecionados.

A caracterização físico-química do efluente antes e após intervenção do tratamento complementar proposto são apresentados na Figura 1 e na Tabela 2.

Observa-se pelas curvas de absorção e aspecto visual do efluente (Figura 1), que a cor alcançou remoção praticamente total. De um modo geral, conforme Tabela 2, o efluente apresentou melhora de sua qualidade após a aplicação do reagente de Fenton. Todos os parâmetros sofreram redução em suas concentrações iniciais, com exceção apenas de sulfato, que por conseqüência, influenciou no aumento da concentração de sólidos dissolvidos totais e da condutividade.

Porém, foi observado na etapa de testes de reuso

Figura 1. **(a) Determinação de cor do efluente por varredura do espectro; (b) Aspecto visual.**

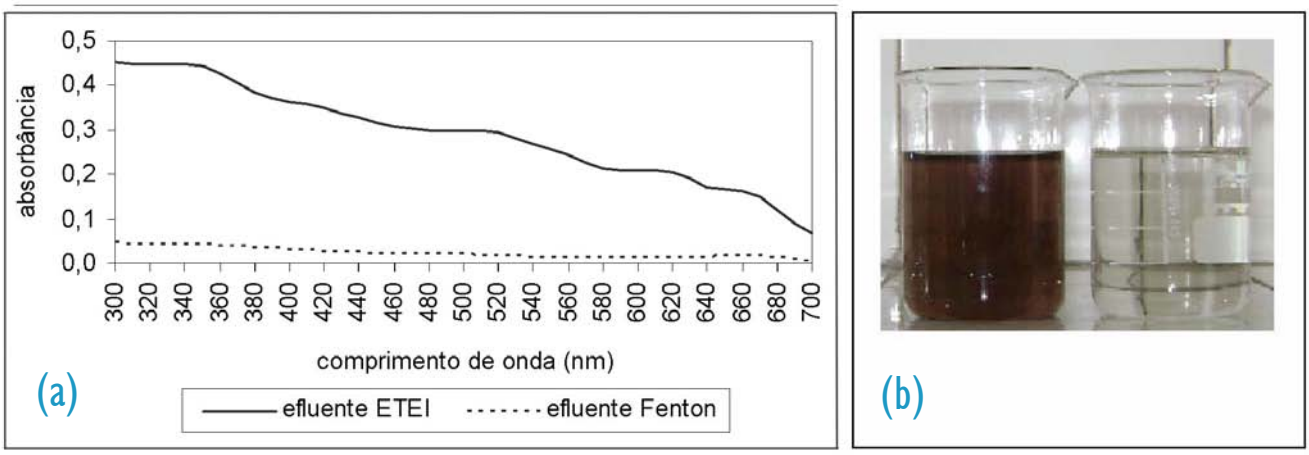


Tabela 2. **Resultados da caracterização físico-química do efluente.**

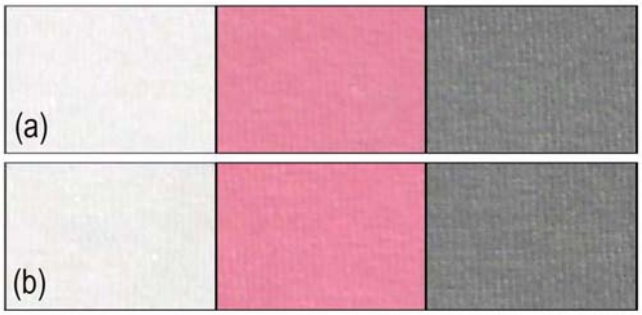
Parâmetro	Unidade	ETEI	Fenton	Parâmetro	Unidad	ETEI	Fenton
DQO	mgO_2/L	211	62	Nitrato	mg/L	3,2	3,2
pH	-	7,7	7,5	Nitrito	mg/L	0,33	0,01
Alcalinidade	$mgCaCO_3/L$	374	77	Cloreto	mg/L	1780	1746
Dureza	$mgCaCO_3/L$	96	69	Sulfato	mg/L	245	1362
Condutividade	mS/cm	6,8	8,3	Ferro	mg/L	0,94	0,50
SDT	mg/L	4700	5976	Manganês	mg/L	0,12	0,04
SST	mg/L	49	5,6	Cobre	mg/L	0,11	0,02
Turbidez	UNT	25	3,1				

que os íons responsáveis pelos níveis elevados de condutividade e SDT não interferem negativamente no processo, visto que esses fatores não prejudicaram o tingimento do tecido utilizado nos testes. De certa forma, os sólidos dissolvidos podem inclusive ser proveitosos, já que no processo de tingimento é usual a adição de eletrólitos, que têm como função transportar o corante do meio aquoso para as fibras do tecido.

Em conformidade com observação feita por Mierzwa & Hespanhol (2005), o principal problema relacionado aos sólidos dissolvidos é seu acúmulo à medida que o efluente possa ser utilizado, tratado e reciclado no processo, já que em nenhuma das etapas do ciclo ocorre sua remoção, havendo apenas o acréscimo constante de íons ao longo do percurso, seja pela adição de produtos químicos no processo ou de reagentes no tratamento.

A Figura 2 apresenta a imagem dos tecidos produzidos no laboratório da empresa têxtil, de acordo com o procedimento adotado na produção em escala industrial. As imagens foram obtidas por fotografia digital, sendo os tecidos submetidos a exposição luminosa e distância focal fixas.

Figura 2. **Resultado do tingimento de tecidos com (a) água de produção e (b) água de reuso.**



Todas as amostras de tecido obtidas foram aprovadas pelo controle de qualidade da indústria, apresentando resultados plenamente satisfatórios. Não foram verificados formação de manchas, descoloração, opacidade ou qualquer outro efeito indesejável nos tecidos produzidos com o efluente após seu tratamento por reagente de Fenton, indicando-o como sendo apropriado para reuso no processo industrial têxtil.

CONCLUSÕES

O presente estudo permite a definição de parâmetros essenciais à caracterização de efluentes têxteis para reuso: cor, DQO, pH, alcalinidade, dureza, condutividade, SDT, SST, turbidez, nitrato, nitrito, cloreto, sulfato, ferro, manganês e cobre.

Avalia-se o reuso do efluente tratado com reagente de Fenton na proporção DQO/[H_2O_2]/[Fe^{2+}] de 1:2:2 como possível, considerando-se a qualidade da água obtida, os requisitos industriais têxteis e os testes práticos de reuso.

Ressalta-se a importância de uma avaliação associada à viabilidade técnica e econômica para a aceitação definitiva do tratamento e reuso proposto do efluente em escala industrial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig (processo TEC 1123/06), à CAPES (Procad 0064/05-0) e à Comissão Organizadora do 3º Workshop Uso e Reuso de Águas Residuárias.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* 21. ed. Washington: APHA, 2005.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E.M.M. *Manual de engenharia têxtil.* v.2. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

DE MIO, G. P.; CAMPOS, J. R. "Proposição de método para avaliação da remoção de cor em efluentes líquidos de indústria têxtil". In: XXVI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, XXVI, 1998, Lima/Peru. *Anais do XXVI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental.* CD-ROM.

DWAF - Department of Water Affairs & Forestry. *South African water quality guidelines*. v.3: Industrial Water Use. 2. ed. 1996.

MIERZWA, J. C; HESPANHOL, I. *Água na indústria: uso racional e reúso*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 144 p.

RODIER, J; RODI, L. *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar*. Barcelona: Omega, 1981. 1059 p.

SAUTCHÚK, C. A.; LANDI, F. D. N.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C. R.; DA SILVA, M. C. C.; LANDI, P. D. N.; SCHMIDT, W. *Conservação e reúso de água: manual de orientações para o setor industrial*. v.1. São Paulo: FIESP, 2004. 90 p.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. *Processos oxidativos avançados*: Caderno temático. v.3. UNICAMP, Campinas, agosto 2004. 83 f. Apostila.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for water reuse*. Washington. 2004. p. 17.

Uso eficiente da água em instalações aeroportuárias: o caso do Aeroporto Internacional de São Paulo

EFFICIENT WATER USE IN AIRPORTS: THE SÃO PAULO INTERNATIONAL AIRPORT CASE

Elaine Nolasco Ribeiro[1]
Wilson Cabral de Sousa Júnior[2]
Eliana Cristina de Sousa[3]
Fábio Anderson Batista dos Santos[4]
Gustavo Bezerra de Paula Pessoa[5]
Marcelo Antunes Nolasco[6]

[1]Doutora em Biotecnologia (USP), Pós-doutoranda no Programa de Engenharia de Infra-Estrutura do ITA
[2]Doutor em Economia Aplicada (UNICAMP). Professor adjunto do ITA.
[3]Mestranda – Recursos Hídricos – UFAL.
[4,5] Engenheiro Civil-Aeronáutico - ITA. Professor adjunto da EACH-USP.

Endereço: Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Div. de Eng. Civil – Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – CEP 12228-900 – São José dos Campos-SP – Brasil – e-mail: wilson@ita.br

RESUMO

O Aeroporto Internacional de São Paulo em Guarulhos – AISP – possui um consumo anual de água da ordem de 658.000 m³, sendo que os equipamentos que respondem pelo maior consumo são: bacia sanitária (51%), ar condicionado (19,4%), torneiras (15,3%) e mictórios (6,8%). Com a instalação de alguns equipamentos economizadores de águas, disponíveis no mercado, é possível obter economia de 75% no consumo total do aeroporto. Do lado da oferta, a possibilidade de utilização de água de precipitação, aproveitando a grande área coberta (1.942.134,5 m²) ampliaria em muito a oferta sem a necessidade de exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, cujas reservas estão sobre-exploradas. Dado o consumo médio do aeroporto, a maior parte da demanda de água da planta aeroportuária poderia ser suprida com a utilização de apenas 44% do potencial de aproveitamento de água de chuva, desconsiderados aí os fins de utilização. O presente trabalho explora os dados de oferta e consumo de água no AISP, à luz do aumento da eficiência no uso da água e estabelece cenários para a gestão ambiental aeroportuária.

ABSTRACT

The International Airport of São Paulo at Guarulhos has an annual water consumption around of 658.000 m³, and the equipments that account for the largest consumption are: toilets (51%), air conditioning (19.4%), lavatories (15.3%) and urinals (6,8%). With the installation of some water saving equipment, available on the market, it is possible to get an economy of 75% in total consumption of the airport. On the supply side, the use of water from precipitation, using the large area covered (1.942.134.5 m²) could extend the supply without constrain the groundwater stocks, which is on overexploitation. Based on the average consumption of the airport, it is possible to supply the demand with just 44% of the rainwater potential. This work explores the supply and demand of water on AISP, focused on the efficient use, in order to get scenarios to the airport's environmental management.

Palavras-chave: diagnóstico de consumo; água de chuva; aeroportos.
Key words: diagnosis of consumption; rainwater; airports.

INTRODUÇÃO

Os aeroportos com elevados movimentos anuais de passageiros são participantes importantes no consumo de água nas regiões em que se encontram instalados. Pode-se tomar como exemplo o Aeroporto Internacional Hartsfield-Jackson em Atlanta, Estados Unidos, que possui um dos maiores movimentos de passageiros e aeronaves do mundo: segundo Tharpe (2007), este aeroporto consome quase 3,5 milhões de litros de água diariamente.

Autoridades administradoras de aeroportos em vários países, especialmente nos países mais ricos e desenvolvidos, têm demonstrado interesse em diminuir o consumo de água em seus aeroportos. Alguns exemplos são: o aeroporto de Adelaide na Austrália, Beijing na China, Bruxelas na Bélgica e Recife/Guararapes no Brasil. A principal causa disso são os

períodos de estiagem pelos quais várias regiões do globo passam todos os anos. De acordo com Brisbane Airport Corporation Press Release (2006), a "Brisbane Airport Corporation", responsável pela administração do Aeroporto de Brisbane, Austrália, por exemplo, anunciou em outubro de 2006 uma série de medidas visando a um uso mais eficiente e diminuição do consumo de água nesse aeroporto. A decisão de implantação dessas medidas ocorreu, principalmente, devido ao maior período de estiagem dos últimos 100 anos e ao fato de o aeroporto supracitado ser um dos maiores consumidores de água da região. Dentre as medidas anunciadas, destacam-se: a) aproveitamento das águas de chuva em volume suficiente para suprir três vezes a população total de Brisbane por um ano inteiro, b) introdução de um sistema de alta tecnologia de monitoramento e um programa para diminuir de maneira drástica a perda de água em vazamentos, c) auditorias sobre o consumo de água nas instalações prediais do aeroporto, d) captura e reuso de água da torre de condicionamento de ar, para economizar cerca de 60 milhões de litros de água potável por ano.

No Brasil, o aeroporto Internacional do Recife/Guararapes-Gilberto Freyre foi projetado e construído sob uma concepção ecológica. Segundo a INFRAERO (2007), a água proveniente da condensação do sistema de refrigeração é aproveitada para uso nas descargas das bacias sanitárias. Além disso, o sistema de esgoto existente, a vácuo, gera uma economia no consumo de água de 30%. A estimativa para o consumo mensal do aeroporto é de 21.400 m^3, uma redução considerável em relação aos 360.000 m^3 que seriam gastos com sistemas convencionais.

Por outro lado, o maior aeroporto do Brasil e segundo maior da América Latina, o Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro, conhecido também como Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP), em Guarulhos, carece de um plano de gestão dos seus recursos hídricos com foco no uso eficiente da água. Este aeroporto opera atualmente com dois terminais de passageiros, TPS-1 e TPS-2, e quatro terminais de carga. Os terminais TPS-1 e TPS-2, projetados inicialmente para atender 15 milhões de passageiros por ano, operam atualmente com a carga de 17 milhões de passageiros por ano, e consumo médio de água em torno de 658.000 m^3/ano (média de 2000-2008) segundo dados fornecidos pela INFRAERO.

Atualmente todo este volume de água é captado de nove poços profundos situados no próprio sítio aeroportuário e tem por agravante o fato de que o aeroporto foi construído numa área pantanosa da várzea do rio Baquirívu-Guaçu, contendo uma seqüência de camadas argilosas próximas da superfície. Estas camadas produzem uma acentuada impermeabilização natural. Como conseqüência, é lenta a recarga natural do aqüífero sedimentar, constituído por camadas arenosas, situadas em posição topográfica e estratigráfica inferior às camadas argilosas (DINIZ, 1996).

Segundo estudo realizado por Okpala (2005), a extração excessiva de água no sítio aeroportuário do AISP pode causar o rebaixamento do solo, que por sua vez poderia abalar as estruturas do aeroporto. Situação semelhante tem vivido a Cidade do México, que capta 73% da água de abastecimento a partir de poços perfurados no seu perímetro urbano, o volume captado do principal aqüífero usado para abastecimento chega a 30 m/s. Essa superexploração tem levado a subsidência do solo em uma taxa de 40 cm/ano.

Diante da situação em que se encontra o AISP, visando uma gestão sustentável desse empreendimento, é que se propõe o uso racional da água para este aeroporto. Para se atingir este objetivo são necessárias a adoção de algumas medidas e procedimentos. Segundo Oliveira (1999) o uso racional da água em instalações prediais considera duas opções operacionais: redução do consumo, com instalação de equipamentos economizadores, e estabilização do consumo de água, através do monitoramento sistemático do consumo e manutenção adequada do sistema predial. Em edificações públicas como os terminais de passageiros de aeroportos, entre outros, o uso da água é muito semelhante às edificações comerciais, porém o uso dos ambientes sanitários é bem mais significativo, variando de 35% a 50% do consumo total.

Ainda considerando essa abordagem de uso racional da água, deve-se explorar também novas fontes para abastecimento, dentre elas, o aproveitamento das águas de chuva. Estas, apesar de incorporarem parte do conteúdo atmosférico (dióxido de carbono, oxigênio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, além de material particulado diverso), conservam um relativo grau de pureza até atingirem a superfície, a partir da qual pode ocorrer alguma contaminação por microrganismos em geral, patogênicos ou não, que podem comprometer o aspecto visual dessas águas e representar risco de manipulação aos usuários, se não forem tratadas adequadamente conforme os usos previstos. Dentre os usos previstos para essas águas estão: reservas de incêndio, descarga em bacias sanitárias, regas de áreas verdes, efeito decorativo, lavagem de ruas e pátios, usos esses compatíveis com águas de qualidade inferior.

O objetivo deste trabalho é diagnosticar o uso da água no AISP, a partir do monitoramento do consumo, com os equipamentos atualmente instalados, e fazer uma projeção de economia com a substituição desses equipamentos por outros mais poupadores de água.

Propõe-se também a análise do potencial de aproveitamento da água de chuva no aeroporto considerando seu consumo atual e o potencial de utilização dessas águas. O presente trabalho faz parte do projeto

Hidroaer - Uso Eficiente de Águas em Aeroportos (www.hidroaer.ita.br).

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Terminal 2 do Aeroporto Internacional de São Paulo, em Guarulhos, São Paulo, Brasil. Esse aeroporto foi inaugurado em 1985 e ocupa uma área de aproximadamente 11,9 milhões de m² (VITALUX, 2006). Anexo ao aeroporto, ao sul, encontra-se a Base Aérea de São Paulo (BASP), do Ministério da Aeronáutica, a qual utiliza as mesmas pistas e ocupa um terreno de aproximadamente 2 milhões de m², compondo, do ponto de vista físico-operacional, um único conjunto.

Para o diagnóstico do consumo foram levantadas informações sobre perfis de consumo, padrões de demanda dos setores usuários e dos equipamentos economizadores de água já instalados no AISP. Esses dados foram obtidos através de contatos diretos com a equipe de engenharia da INFRAERO e dos relatórios do Plano de Gestão dos Recursos Hídricos/Guarulhos (PGRH) de 2006, também fornecidos pela INFRAERO. Foram obtidas informações sobre alguns equipamentos e estudos de redução do consumo de água, disponíveis no mercado e fornecidos pelos fabricantes desta categoria, a partir dos quais se diagnosticou a existência de aparelhos com a utilização mínima de água e com possibilidade de aplicação no AISP.

Verificou-se também a possibilidade de economia, através da captação e aproveitamento das águas pluviais de superfícies externas como telhados e pátio das aeronaves, utilizando-se informações das plantas de engenharia do projeto do AISP e suas ampliações. Os cenários foram estabelecidos com base em referências secundárias de uso eficiente da água baseados em programas de gestão de demanda e implantação de equipamentos economizadores, além de experiências exitosas em outras plantas aeroportuárias de porte similar.

Para análise de qualidade das águas foram realizados dois experimentos. O primeiro, uma simulação de chuva, ocorreu em setembro de 2008 no pátio das aeronaves em uma área delimitada de 335 m², no Terminal 1. Foram utilizados 15.000 L de águas, aspergidos durante 35 min., os quais geraram vinte litros de amostras coletadas ao final do ensaio. Metade desse volume foi utilizado para tratamento com ozônio, com dose empregada de 30 mg/L de O_3 e fluxo de oxigênio de 1 L/min durante 25 min. O segundo experimento foi realizado em janeiro de 2009 num telhado de fibrocimento com área de 54 m² no Terminal 2 do AISP. A escolha da dose de ozônio e do tempo de contato a serem aplicados no segundo ensaio, foram norteados pelos resultados obtidos no ensaio anterior e também porque esperava-se que amostras de água do telhado possuíssem menor nível de contaminação. Foram coletados 20 L de amostras após descarte dos primeiros 25 minutos de chuva, 10 L foram utilizados para o tratamento que empregou 25 mg/L de O_3 com fluxo de vazão de ar de 1 L/min durante 15 minutos. Os outros 10 L foram utilizados para análise da qualidade da água antes do tratamento. O descarte das primeiras águas teve por objetivo limpar o telhado e obter águas com melhor qualidade. Em ambos os ensaios, logo após a coleta, as amostras foram mantidas sob refrigeração até o início das análises. Uma empresa contratada realizou as análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas de acordo com APHA (2005). Os parâmetros analisados e as metodologias empregadas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros analisados e métodos analíticos empregados nos experimentos.

Parâmetros	Técnica Analítica	Unidade
pH	SMWW 4500H⁺ A e B	-
Turbidez	SMWW 2130 A e B	UT
Cor aparente	SMWW 2120 A e C	UH
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	SMWW 5210 A e B	mg/L
Nitrato	SMWW 4500-NO_3 A e E	mg/L
Nitrito	SMWW 4500-NO_2 A e B	mg/L
Fósforo (P)	SMWW 4500P A	mg/L
Sólidos Totais em Suspensão (STS)	SMWW 2540 A, B, C, D, E, F e G	mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	SMWW 2540 A, B, C, D, E, F e G	mg/L
Coliformes termotolerantes	SMWW 9222 B, D e G	NMP/100 mL
Coliformes totais		NMP/100 mL

Para o tratamento com ozônio as amostras coletadas foram colocadas individualmente em um recipiente cilíndrico de PVC, com capacidade para 10 L, contendo um difusor de ar. O gerador de ozônio utilizado para os ensaios foi da marca Ozone & Life, modeloO&L3.0RM com potência requerida de 80 W, capacidade de produção de 3,0 g/H, tendo como gás insumo o oxigênio. O princípio de funcionamento deste equipamento é baseado na descarga por barreira dielétrica. Nesta, são formados átomos de oxigênio atômico que ao se juntar com as moléculas de oxigênio, formam o ozônio. Para medição da concentração de ozônio foi utilizado um monitor de ozônio da marca Anseros, modelo GM6000. Este medidor determina a concentração de ozônio pelo método de absorção da radiação UV. Um regulador de fluxo medicinal foi utilizado para fixar o fluxo de oxigênio.

O método de desinfecção com ozônio foi escolhido devido ao fato de que este tipo de tratamento já vem

sendo estudado pelo grupo de trabalho envolvido neste trabalho. Um outro equipamento para tratamento da água de chuva com ozônio encontra-se em desenvolvimento. O mesmo poderá tratar um volume de água de chuva de 10 m³/H, com um gerador de ozônio de 10 g/H, gerado a partir de um concentrador de oxigênio. O sistema de aplicação será realizado por um venturi. O andamento de sua execução encontra-se com 90 % da proposta original.

Os resultados obtidos foram comparados com duas diretrizes brasileiras: o Manual de Conservação e Reuso em Edificações (ANA/FIESP, SindusCon-SP, 2005), que fornece exigências mínimas da água não potável para aplicações em instalações prediais e a NBR 15527/07 da ABNT que prevê o aproveitamento da água de chuva a partir de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagnóstico do consumo

Atualmente o AISP possui mais de 200 sanitários, além de outros sistemas intensivos em uso da água, como a Central de Água Gelada e o setor de alimentação. O monitoramento do consumo de água nas dependências do aeroporto é baixo, se limitando à hidrometração da Central de Água Gelada e do setor de alimentação – este possui pequenos hidrômetros destinados ao consumo por unidade usuária. A ausência ou imprecisão destes dados compromete o investimento eficiente no uso racional da água.

Como não há micromedição de água no AISP, o consumo é estimado pelo volume de água captada nos poços. A somatória das médias mensais de água produzida pelos 9 poços no período de janeiro a dezembro de 2005 foi de 49.907 m³/mês. A distribuição do consumo é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Estimativa da demanda de água no AISP para o ano de 2005.

Consumo da População Aeroportuária

Descrição	Qtdes	Consumo De Água (m³/mês)			
		Torneiras	Chuveiro	Bacia	Mictório
Funcionários com banho	350	37	693	304	26
Funcionários sem banho	21.718	1.906	0	15.780	1.361
Passageiros	43.181	4.534	0	6.257	1.619
Visitantes	107.953	1.134	0	3.128	405
Totais (m³/mês)		7.611	693	25.469	3.411

Consumos Diversos

Descrição	Consumo (m³/mês)
Ar condicionado	9.677
Irrigação	144
Lavagem	216
Restaurante	1.140
Outras Lanchonetes	1.447,5

Resumo dos Consumos

Descrição	Consumo (m³/mês)	Consumo Total do Aeroporto (m³/mês)	Percentual (%)
Torneira	7.611		15,3
Chuveiro	693		1,4
Bacia Sanitária	25.469		51,0
Mictório	3.411		6,8
Ar condicionado	9.677	**49.907**	19,4
Irrigação	144		0,3
Lavagem	216		0,4
Restaurante	1.140		2,3
Outras Lanchonetes	1.447.5		2,9

Fonte: Vitalux (2006).

A partir de dados mais atuais, fornecidos pela própria INFRAERO foi possível estimar que a média de captação/consumo de água no AISP entre os anos de 2000 a 2008 foi de 658.000 m³/ano ou 54.833 m³/mês. Como se pode observar na Tabela 2, o maior consumo de água fica por conta das descargas de bacias sanitárias seguidas pelo sistema de ar condicionado, torneiras e mictórios.

Equipamentos hidrossanitários existentes no AISP

Diversas soluções tecnológicas são hoje disponíveis para a implementação de ações de gestão de demanda no AISP, em especial voltadas para o uso eficiente da água. O uso de mecanismos economizadores (bacias sanitárias de baixo consumo, mictórios e torneiras automáticas, aeradores, redutores de pressão, etc.) associados a um sistema de monitoramento contínuo do consumo de água pode garantir economias que chegam a 50% da demanda. Embora o AISP já possua equipamentos economizadores de água em todos os seus sanitários, existem algumas tecnologias não utilizadas pelo mesmo, que podem gerar uma economia ainda mais significativa no consumo de água, como são os casos das válvulas de descarga com duplo acionamento e do sistema de esgoto a vácuo (EVAC). Na Tabela 3 são apresentados os equipamen-

tos sanitários economizadores de água existentes no AISP.

Projeção de economia de água no AISP

Conforme demonstrado na Tabela 2 acima, os valores do consumo de água para três importantes equipamentos de uso sanitário são: 25.469 m³/mês para as bacias sanitárias; 3.411 m³/mês para mictórios e 7.611 m³/mês para torneiras (vazão de 6L). Com a instalação de alguns equipamentos economizadores de águas disponíveis no mercado é possível fazer uma economia de até 100%, no caso de instalação de mictórios sem água, Tabela 4.

Supondo a instalação de alguns desses equipamentos economizadores, o novo cenário de consumo água no AISP seria de 11.199,6 m³/mês ao invés de 44.222 m³/mês, o que representaria uma economia de 75%, Tabela 5.

Águas com qualidade para potabilidade vêm sendo utilizadas para fins menos nobres como, rega de áreas verdes, descargas de sanitários, eventuais lavagens de pátios, pistas e estacionamento de veículos, entre outras. Para estas aplicações, seria possível a utilização de água com qualidade inferior, atendendo ao princípio de substituição das fontes, que recomenda o uso de águas de melhor qualidade para fins mais nobres. Além do mais, o AISP utiliza atualmente uma fonte de captação de água que vem demonstrando constrições em sua disponibilidade e com a redução do consumo de água, visa-se reduzir também os custos operacionais. Diante da necessidade do desenvolvimento sustentável desse aeroporto em relação à utilização das águas, é que se propõe o aproveitamento das águas de chuva, para fins que não requeiram águas com padrão de potabilidade. A viabilidade de implantação dessa proposta foi avaliada através de um levantamento de algumas variáveis envolvidas nesse processo e que são apresentadas a seguir.

Para se ter uma estimativa do volume de água de chuva que pode ser captado é necessário conhecer os índices de pluviosidade para o local em questão e do potencial de aproveitamento das águas captadas. Os dados de pluviometria que serão usados para o cálculo do potencial de água a ser aproveitada foram fornecidos pela estação de tratamento do AISP Guarulhos. A partir da precipitação acumulada durante os anos de 2002 a 2006 (dados não apresentados), calculou-se a média de precipitação anual para este período, Tabela 6.

As chuvas na região do Aeroporto de Guarulhos são mais concentradas entre os meses de outubro e março. Esse período é o ideal para que seja aproveitada a água de chuva, pois, com chuvas periódicas, as superfícies de captação acumulam menos poluição e a água captada é de melhor qualidade além de se ter um maior volume. Por isso recomenda-se que o aprovei-

Tabela 3: Caracterização dos equipamentos hidrosanitários do AISP.

Equipamento	Tipo de Funcionamento	Volume Estimado dispendido em cada uso (L)	Diâmetro da Tubulação que o Alimenta
Torneiras	Acionamento por sensor de presença	*	3 / 4 "
Bacias sanitárias	Válvula de descarga de ciclo seletivo	6	1 1/2 "
Mictórios Individuais	Válvula de descarga por sensor de presença	1,5	1 1/2 "

*Não se conhece um valor médio de volume de água dispendido por usuário (uso) uma vez que é totalmente dependente do mesmo.

Fonte: INFRAERO – Superintendência Regional do Sudeste – Gerência de Engenharia de Manutenção, 2007.

Tabela 4: Eficiência de economia no AISP com instalação de equipamentos economizadores.

Cálculo das Possibilidades de Economia do Uso Água no AISP				
	Uso Masculino		Uso Feminino	
	% de Economia	Volume Economia m³/mês	% de Economia	Volume Economia m³/mês
Bacia segregadora	90%	-	90%	18.338
Bacia a vácuo	75%	3.821	75%	15.282
Mictório – sem água	100%	3.412	100%	16.301
Torneira – vazão de 4 litros	37,5%	1.427	37,5%	1.427

Tabela 5: Estimativa de economia de água no AISP com implantação de equipamentos economizadores.

Equipamentos Convencionais	Consumo Atual (m³/mês)		Consumo Total (m³/mês)	% de Economia com Instalação de Novos Equipamentos	Nova Previsão de Consumo (m³/mês)
	Masculino	Feminino			
Bacias sanitárias	5.094	20.376	25.470	75%[A]	6.367,5
Mictórios	3.412	-	3.412	100%[B]	0
Torneiras	7.670		7.670	37,50[C]	4.832,1
Consumo Total	16.176	28.046	44.222	75%	11.199,6

A: bacia a vácuo; B: mictório sem água; C: torneira (vazão de 4 L).

tamento de água seja realizado principalmente neste período. Contudo, deve-se manter um sistema de abastecimento em paralelo para situações em que a água de chuva falte.

Segundo Tomaz (2003), precisa-se descartar 1 mm de chuva por m^2 de telhado. Dessa forma, considerando-se apenas dias com pluviosidade acima de 1 mm e o descarte do primeiro milímetro de cada chuva, tem-se a seguinte quantidade de chuva aproveitável na Tabela 7.

Para o caso de pátios e pistas, como a superfície é bem mais poluída, considerou-se chuvas com precipitações apenas acima de 2mm e que seriam descartados os 2 mm iniciais de cada chuva. Deste modo, as precipitações aproveitáveis estão descritas na Tabela 8.

O cálculo do potencial de aproveitamento das águas de chuvas está apresentado na Tabela 9. Utilizou-se coeficientes de run-off conservadores, de modo a minimizar o risco de superestimar o potencial de água para aproveitamento. No caso dos telhados (de amianto), há menor absorção e evaporação que nos pátios e pistas (Concreto e CBUQ), tanto pelo material quanto pelas temperaturas de superfície. Por isso, foram considerados coeficientes de run-off baixos (0,8-0,75) (PESSOA, 2007).

Como o consumo médio do aeroporto é de 658.000 m^3/ano (média 2000-2008) nota-se que, potencialmente pode-se suprir toda a demanda com apenas 44% do potencial de aproveitamento de água de chuva sem considerar os fins de utilização, pois parte da água potencialmente aproveitável tem restrições de utilização devido a sua qualidade. Poderia se utilizar toda a água do telhado (que tem melhor qualidade) e parte das águas dos pátios e pistas.

Qualidade da água de chuva captada

A qualidade da água antes de tocar o solo depende de uma série de fatores como posição geográfica, freqüência de chuvas, duração da chuva, presença ou não de emissores de poluição na região analisada, entre outros. Os telhados contêm uma série de impurezas que se acumulam no período em que a chuva não incide sobre eles. Nesse período, há acúmulo de poeira (poluentes, partículas sólidas, materiais provenientes do ar em geral), bactérias, excrementos de aves, ratos, insetos, etc. Isso causa uma considerável proliferação de microorganismos e substancias nocivas à saúde humana. A chuva é o agente de limpeza desses telhados e, é por isso, que a primeira água de chuva deve ser descartada, dado que ela lava o telhado carregando todo o grosso dessas impurezas mencionadas anteriormente.

Apesar de possuírem boa qualidade as águas de chuva necessitam de tratamento. O método mais difundido no Brasil é a cloração pelo seu baixo custo associado a sua boa aplicabilidade, conferindo à água um bom nível de qualidade. A cloração, entretanto, quando é aplicado em águas que contem matéria orgânica natural, que é o caso da água de chuva captada dos telhados, favorece a formação de trihalometanos (THMs) além de outros subprodutos da desinfecção, que podem resultar na formação de íons brometo na água em tratamento. Alguns THMs, como o clorofórmio, têm sido identificados como substâncias cancerígenas, segundo dados do Instituto Nacional de Câncer dos EUA. No Brasil, a concentração máxima permitida para os padrões de potabilidade de água de trihalometanos é de 100 g L^{-1}.

No cenário atual, há um interesse crescente pelo uso de métodos de tratamento alternativos que minimizem a formação de trihalometanos. Os mais conhecidos são o tratamento com ozônio (O_3), o permanganato de potássio ($KMnO_4$) e o dióxido de cloro (ClO_2), entre outros. No Brasil, não se tem feito uso de agentes desinfetantes alternativos tais como ozônio, dióxido de cloro, permanganato de potássio e peroxônios, sendo que estes vêm sendo utilizados somente em universidades, para fins de pesquisa. Não tem havido investimento em desinfetantes alternativos ao uso do cloro, por este apresentar o mais baixo custo, mantendo ainda alguma eficiência.

Os resultados obtidos antes e após tratamento são apresentados na Tabela 10 juntamente com algumas diretrizes brasileiras que recomendam valores míni-

Tabela 6: Média anual de precipitação para os anos de 2002 a 2006 e média geral para o período

Ano	Precipitação Anual (mm)
2002	994
2003	877
2004	1.256
2005	1.324
2006	1.521
Média	1.194

Tabela 7: Quantidade de precipitação aproveitável nos telhados.

Ano	Precipitação (mm)
2002	904
2003	789
2004	1.146
2005	1.213
2006	1.399
Média	1.090

Tabela 8: Quantidade de precipitação aproveitável nos pátios e pistas.

Ano	Precipitação (mm)
2002	827
2003	712
2004	1.056
2005	1.121
2006	1.300
Média	1.003

mos de qualidade em função dos usos.

Os resultados obtidos indicaram que o nível de contaminação nas amostras coletadas no ensaio de simulação de chuva no pátio e coleta de água de chuva após escoamento por telhado, é relativamente baixo e o tratamento com ozônio foi eficiente em reduzir a concentração de alguns parâmetros, mas também aumentou outros. Tal resultado pode ser atribuído a algumas interferências durante o tratamento como: dose de ozônio utilizada - se for elevada pode causar quebra das partículas e aumento do teor de sólidos em suspensão, estes por sua vez interferem na inativação microbiana, pois formam agregados partículas-microrganismo impedindo a ação do ozônio sobre os mesmos; tempo de contato, pH, DQO, carbono orgânico, geometria da câmara de contato e oscilações na produção de ozônio pelo gerador. De qualquer forma, a tecnologia de tratamento com ozônio, após alguns ajustes metodológicos, pode ser utilizada com eficiência para tratamento das águas de chuva. Nota-se também na Tabela 10 que mesmo sem qualquer tratamento alguns parâmetros enquadraram-se nos valores recomendados pelas diretrizes comparadas. Como a contaminação das águas pluviais está sujeita a diversas fontes e pode variar com o tempo, estações mais secas ou chuvosas, é recomendável a adoção de mais um tratamento, tipo filtração, até mesmo para aumentar a eficiência da ozonização.

Tabela 9: Cálculo do volume de escoamento potencial por ano.

Local	Área (m^2)	Coeficiente de Run-Off	*I (mm)	Volume de Escoamento/Ano (m^3)
Telhados	201.981,60	0,8	1.090	176.127,96
Pátio de aeronaves	867.487,50	0,75	1.003	652.567,47
Pistas	872.665,40	0,75	1.003	656.462,55
			Total	1.485.157,97

* Precipitação média no período de 2002 a 2006.

Tabela 10: Comparação dos valores dos parâmetros avaliados com algumas diretrizes brasileiras para aproveitamento de água.

Parâmetros	Ensaio de simulação no pátio (sem trat.)	Ensaio de simulação no pátio após 25 min. trat.	Ensaio com chuva real no telhado	Ensaio com chuva real no telhado após 15 min. trat.	Classe 1*	Padrão NBR 15527**
pH	8,07	7,06	7,44	6,81	6,0 a 9,0	6,0 a 8,0
Turbidez (UNT)	5,13	10	1,92	0,96	< 2	< 2 ou < 5
Cor (UH)	59	79	21	8,0	< 10	< 15
DBO[1] (mg/L)	10	10	10	10	< 10	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	NA	NA	NA	NA	≤ 20	
Nitrato (mg/L)	0,26	0,57	0,25	0,27	< 10	
Nitrito (mg/L)	0,042	0,003	< Lq	< Lq	< 1	
Fósforo (mg/L)	< Lq	< Lq	< Lq	< Lq	< 0,1	
STS[2] (mg/L)	42	36	7,0	2,0	< 5	
STD[3] (mg/L)	170	150	4,0	7,0	< 500	
Coli. Termotolerantes (NMP/100 mL)	Não detectado	Não detectado	47	Não detectado	Não detectável	-
Coli. Fecais (NMP/100 mL)	NA	NA	NA	NA	Não detectável	
Coli. Total (NMP/100 mL)	Não detectado	Não detectado	$5,4x10^2$	Não detectado	Não detectável	Ausente

* Valores recomendados pela manual ANA/FIESP e SindusCon-SP (2005) para águas de Classe 1, utilizadas para descarga sanitária, lavagem de pisos, veículos, roupas e fins ornamentais. ** ABNT (2007). 1 Demanda bioquímica de oxigênio; 2 Sólidos totais em suspensão; 3 Sólidos totais dissolvidos. NA: Não Analisado. Lq: Limite de quantificação.

CONCLUSÕES

A perspectiva de instalação de equipamentos economizadores de água com tecnologias ainda não utilizadas no AISP, pode gerar uma economia significativa no consumo, cerca de 75%, caso sejam instaladas bacias sanitárias a vácuo, mictórios sem água e torneiras de vazão reduzida, 4 L ao invés de 6 L. Ressalta-se também que após a divulgação do PGRH do AISP, com dados até 2006, a administração do AISP efetuou mudanças nos equipamentos como, troca das torneiras em todos os sanitários, gerando novos dados de consumo de água não descritos neste trabalho. Outra possibilidade que surge para a redução do consumo de água, e que se mostra bastante viável, é o aproveitamento da água de chuva, 44% das águas captadas a partir das superfícies de coletas consideradas neste trabalho, podem suprir até 100% da demanda de água no

AISP, sem considerar os fins de utilização. A partir das informações obtidas, pode-se concluir que a instalação dos equipamentos economizadores e o suprimento das demandas do AISP com águas de chuvas são alternativas viáveis para redução do consumo de água. Além disso, as águas coletadas após escoamento pelo pátio e telhado apresentaram boa qualidade, mesmo assim carecem de algum tratamento, antes da sua utilização. O tratamento com ozônio é uma possível alternativa para tratamento das águas de chuva no aeroporto desde que seja complementado com filtração ou pré-sedimentação. O trabalho continua em andamento com possibilidade de futuros desdobramentos em função dos dados que ainda estão sendo levantados sobre os perfis de consumo e padrões de demanda dos usuários.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo Setorial para C&T em Recursos Hídricos – CTHIDRO – Brasil, à FINEP, ao CNPQ e à CAPES, pelo fomento ao projeto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO E SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Manual de Conservação e Reuso em Edificações.* São Paulo: Prol Editora, 2005. 151 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15527: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos.* Rio de Janeiro. 2007.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION ATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastwater Analysis.* 21 ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

BRISBANE AIRPORT CORPORATION PRESS RELEASE. Produced by Brisnbane Corporation. Disponível em: www.bne.com.au/content/standard_v4.asp?name=MP_Environment_Plan Acesso em: 10 dez. 2006.

DINIZ, H. N. *Estudo do potencial hidrogeológico da bacia hidrográfica do Rio Baquirívu-Guaçu, municípios de Guarulhos e Arujá,* São Paulo. 1996. 161 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

INFRAERO. Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes-Gilberto Freyre. Disponível em: www.infraero.gov.br/link_gera.php?lgi=83&menuid=aero> Acesso em: 27 nov. 2007.

OKPALA, W. O. *Prospecção de tecnologias para a implantação da prática de reúso de água no Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro em Guarulhos*. 2005. 112 p. Dissertação (Dissertação em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, L. H. *Metodologia para implantação de programa de uso racional de água em edifícios.* 1999. 342 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

PESSOA, G. B. P. *Aproveitamento da água: estudo de caso no AISP-Guarulhos*. 2007. 48 f. Trabalho de conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

THARPE, J. Airport hoping to flush away less water. Atlanta: The Atlanta Journal Constitution, 2007. Disponível em:

http://www.ajc.com/metro/content/metro/atlanta/stories/2007/10/28/airportdrought_1029 html>. Acesso em: 20 set. 2007.

TOMAZ, P. *Aproveitamento da água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.* São Paulo: Navegar, 2003. 180 p.

VITALUX, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA LTDA. *Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro. Relatório do Plano de Gestão de Recursos Hídricos.* São Paulo. 2006. 149 p.

Pelos canos da Sabesp passa mais do que água

SAÚDE

A água sai das fontes, dos mananciais, para as estações de tratamento da Sabesp. Em seguida, passa por reservatórios antes de chegar às nossas casas. E, depois de utilizada, vai pelo esgoto, para ser novamente tratada. Isso é saneamento, que evita doenças e diminui a mortalidade infantil. Por isso, o Governo de São Paulo investiu mais de R$ 2 bilhões em obras de saneamento em 2007/2008. Para levar uma vida melhor para todos.

Se liga no saneamento.
Uma vida melhor passa por aqui.

sabesp

GOVERNO DE SÃO PAULO

Nas duas últimas décadas, a cidade cresceu e tomou o lugar da natureza nas duas principais represas que fornecem água para a Grande São Paulo: a Billings e a Guarapiranga. A ocupação desordenada das margens, o aumento populacional e a falta de estrutura poluíram as águas, causaram a degradação do solo e dos córregos e ameaçam os mananciais. Mas esta situação começou a mudar.

O Governo de São Paulo, por meio da Sabesp, e a Prefeitura de São Paulo estão realizando o Programa Vida Nova, um investimento de 1 bilhão e 200 milhões de reais no que há de mais importante para garantir qualidade de vida: saneamento.

PROGRAMA VIDA NOVA

É VIDA NOVA PARA O MEIO AMBIENTE. É VIDA NOVA PARA AS PESSOAS.

sabesp
A vida tratada com respeito

GOVERNO DE SÃO PAULO
Trabalhando por você

PRINCIPAIS PONTOS DO PROGRAMA VIDA NOVA:

- 1 bilhão e 200 milhões de reais em investimento
- 42 mil empregos diretos e indiretos
- 29 frentes de trabalho
- Sistema de abastecimento de água
- Rede coletora de esgotos
- Estação Elevatória de Esgotos
- Plantio de 16.000 mudas de árvores
- 136 km de saneamento básico