



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DISSERTAÇÃO MESTRADO**

**QUALIDADE E POTENCIAL FERTILIZANTE DE  
EFLUENTE DE ESGOTO**

**MARCELA REBOUÇAS BOMFIM**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**  
**FEVEREIRO – 2011**

# **QUALIDADE E POTENCIAL FERTILIZANTE DE EFLUENTE DE ESGOTO**

**MARCELA REBOUÇAS BOMFIM**

Engenheira Agrônoma  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2008

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Ciência do Solo.

**Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

B695 Bomfim, Marcela Rebouças.

Qualidade e potencial fertilizante de efluente de esgoto /  
Marcela Rebouças Bomfim. \_ . Cruz das Almas-Ba, 2011.  
62f.; il.

Orientador: Jorge Gonzaga Santos.

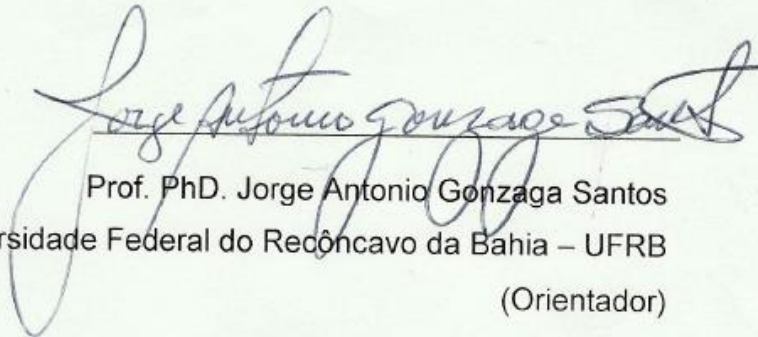
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo  
da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e  
Biológicas.

1. Efluente tratado. 2. IQE\_ACP. 3. Reuso. 4. Pinhão manso.  
I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de  
Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

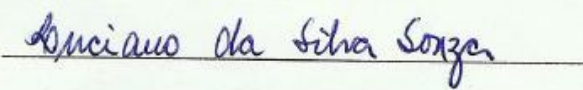
CDD: 628.16

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

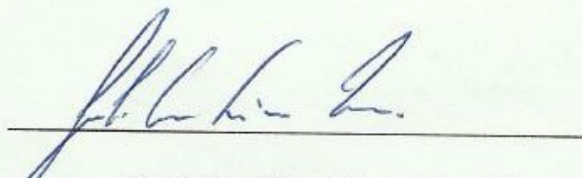
**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
MARCELA REBOUÇAS BOMFIM**



Prof. PhD. Jorge Antonio Gonzaga Santos  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB  
(Orientador)



Prof. Dr. Luciano da Silva Souza  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Prof. Dr. Júlio César Lima Neves  
Universidade Federal de Viçosa - UFV

Dissertação homologada pelo colegiado de curso de Mestrado em Ciências Agrárias .....

Conferindo o grau de Mestre em Ciências Agrárias em .....

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.

**Dalai Lama**

Aos meus saudosos e amados avós maternos  
Walter e Eronildes (in memorian), por representarem  
exemplo de dignidade, humildade e perseverança. A  
minha mãe Maria da Conceição pelo amor  
incondicional.

**DEDICO**

Aos que me acompanharam nesta  
linda caminhada.

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao maravilhoso Deus por ter me concebido a graça de concluir mais uma etapa da minha vida. Ao Senhor toda honra e toda glória para sempre!

À minha mãe Maria da Conceição por estar sempre presente em todas as etapas da minha vida e aos meus lindos avós Walter e Eronildes, pessoas de caráter e dignidade que tenho plena convicção que acompanham meus passos lá de cima me protegendo sempre.

À minha família: irmãos, tios, primos, sobrinhos, afilhados, cunhada e padrinhos, exemplos de vida, sabedoria, união e amor.

Ao professor, orientador e amigo Jorge Antonio Gonzaga Santos, pelas palavras de apoio, ensinamentos, confiança, cumplicidade e pelo ser humano excepcional que se mostrou ser. Felizes as pessoas que tem você por perto.

Aos preciosos colegas: Adailton, Adriana 3G, Erivaldo, Joctã, José Augusto, José Renato, Ubiratan e Leandro pela força, apoio, carinho e amizade. De modo especial Ana Paula e Cácio que juntos formamos um trio que me fará muito falta.

Ao professor Luciano Souza, obrigada pelo carinho e amizade incondicional. Professor Julio Neves e Sérgio Cavalcante pelo apoio, confiança e amizade.

A cada passo desta minha caminhada, pessoas muito especiais compartilharam comigo momentos de carinho, respeito e cumplicidade: Adriana, Adriano, Marcos, Kellen, Flavinha, Dayse, Poliana, Aline, Fábio, Flávia, Carol, Poly, Deivison, Edmar e o fiel “pupilo” Valdinei (Capela). Como eu gosto de vocês, muito obrigada.

Deus me presenteou com a humildade e respeito de pessoas muito especiais: as meninas que zelam pelos prédios, vigilantes, funcionários da manutenção, serraria, logística e transporte.

Às queridas amigas da biblioteca que torceram e me apoiaram a todo o momento:  
Dona Isaelce, Nadja, Márcia e Mara.

As meninas da pós-graduação pela eficiência e dedicação aos estudantes da instituição, pelo carinho e respeito.

Aos meninos do Laboratório de Física do Solo da EMBRAPA, Elder e Roque. De modo especial a Zé Bastos e Ailton, técnicos dos Laboratórios de Química e Física do Solo da UFRB. Muito obrigada pelo respeito, carinho e apoio durante este período.

À pessoa de Virgílio Bandeira pelo apoio em parceria da EMBASA.

Amigos são aqueles que estão presentes em tua vida e que fazem com que a distância seja apenas um elo extra para manter o amor, carinho, respeito e cumplicidade cada vez mais próximos. Ednéia, Erenice, Ivo, Janete, Juliana, Ronaldo Quinteiro, Hilo, Patrícia e Chico, muito obrigada por fazerem parte da minha vida e de serem meus amigos. Vocês confiaram em mim!

À fantástica pessoa do Padre Gil que com suas belas palavras de paz, amor, caridade e felicidade, me ajudou a acreditar mais em mim, elevando minha FÉ.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e a CAPES por ter me concedido a oportunidade de realizar este sonho.

Obrigada Senhor!



## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO	1
<b>Capítulo 1</b>	
VARIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DO EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA ETE DE SAÚÍPE-BA .....	5
<b>Capítulo 2</b>	
POTENCIAL FERTILIZANTE DE EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA ETE DE SAÚÍPE-BA .....	32
CONSIDERAÇÕES FINAIS	61

# QUALIDADE E POTENCIAL FERTILIZANTE DE EFLUENTE DE ESGOTO.

Autora: Marcela Rebouças Bomfim

Orientador: DSc. Jorge Antonio Gonzaga Santos

**RESUMO:** O reuso de águas provenientes de tratamento de esgoto doméstico na agricultura é uma alternativa à escassez de água de boa qualidade. O uso de efluente tratado (ET) na agricultura reduz custos de produção e aumenta o potencial produtivo das culturas. O presente estudo avaliou: i – o efeito sazonal e temporal na qualidade do ET na ETE de Sauípe-BA e ii - o efeito da aplicação de efluente de esgoto tratado em solos de três classes e na cultura do pinhão manso. Para avaliar o primeiro objetivo, dados primários de oito atributos monitorados e fornecidos pela EMBASA foram arrançados em delineamento experimental blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Os valores dos atributos foram integrados no Índice de Qualidade de Efluente (IQE) baseado na Análise do Componente Principal (ACP) – IQE\_ACP, o qual permitiu reduzir o número de parâmetros de monitoramento de oito, usados no presente, para seis (DQO, DBO, SSP, CTT, pH e SSS). A primavera, consistentemente, foi a estação com o pior IQE\_ACP. O segundo estudo foi estabelecido em esquema fatorial 6 x 3, sendo três solos, Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico e 6 tratamentos, água de abastecimento (AA), efluente tratado (ET), ET + NP, ET + NK, ET + PK, e ET +NPK dispostos em delineamento experimental blocos casualizados com três repetições. A aplicação do efluente tratado não influenciou na produção de biomassa, mas melhorou a nutrição do pinhão manso, principalmente na quantidade de N. A falta de resposta a produção de biomassa foi atribuída ao desequilíbrio nutricional de Ca:Mg na planta. A aplicação de ET ao solo de textura mais arenosa, sem a complementação mineral ou com a complementação de K, reduziu a CTC do solo. Plantas cultivadas no Argissolo, responderam mais positivamente à aplicação do ET nesse estudo de curta duração.

Palavras-chaves: Efluente tratado, IQE\_ACP, reuso, pinhão-manso.

# QUALITY AND FERTILIZING POTENTIAL OF EFFLUENT FROM SEWAGE PLANT.

Author: Marcela Rebouças Bomfim

Advisor: DSc. Jorge Antonio Gonzaga Santos

**SUMMARY:** The application of waste water from domestic sewer in agriculture is an alternative to the shortage of water of good quality. The use of the waste water in agriculture reduces cost of production and increases the crop potential of crop productivity. This study evaluated: i - the seasonal and temporal effect in the quality of the treated effluent (ET) from a sewage plant in Sauípe - Ba and ii - the effect of ET and mineral fertilization on *Jatropha curcas* nutrition. To evaluate the first objective, primary data of eight monitored attributes provided by EMBASA were analyzed as a randomized block design in a split plot arrangement. The values of the attributes were integrated in an Effluent Quality Index (IQE) based on the Principal Component Analysis (ACP) - IQE\_ACP, which allowed to reduce the number of parameters currently monitored from eight to six (DQO, DBO, SSP, CTT, pH and SSS). Consistently, the Spring season presented the worst IQE\_ACP. The second study was established in a completely randomized design in a 3 x 6 factorial, with three repetitions, with three soils, Latossolo, Argissolo and Cambissolo, and 6 treatments, water of provisioning (AA), treated effluent (ET), ET + NP, ET + NK, ET + PK, and ET +NPK. The application of ET improved the plant nutrition, mainly N uptake. The lack of plant biomass response to the evaluate treatments was attributed to Ca:Mg unbalance in the plant. In the soil with sandier texture, the application of ET without the mineral complementation or with complementation of K reduced the soil CECI. Among the studied soils, Cambissolo, the soil with better natural fertility, presented more positive response to the short term effluent application.

Key-words: Treated Effluent, IQE\_ACP, reuse, *jatropha curcas*.

## INTRODUÇÃO GERAL

Um dos maiores desafios do século XXI é o de mitigar a necessidade de acesso a água para abastecimento público, industrial, irrigação agrícola, produção de energia elétrica, lazer, recreação, bem como a preservação da vida aquática (CETESB, 2003). O lançamento de resíduos orgânicos nos rios e mananciais contamina os recursos hídricos, aumenta a transmissão de doenças, causa desequilíbrios ecológicos e reduz a disponibilidade de água para as atividades antropogênicas (MÁXIMO, 2005).

O desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos hídricos tem resultado na priorização do uso das águas superficiais para o abastecimento público e geração de energia elétrica (HESPANHOL, 2003). Trentin & Souza, (2006), sugerem o uso de águas de qualidade inferior para atividades menos exigentes em qualidade como a atividade agrícola. As águas coletadas pela rede de esgotos higiênicos contêm fósforo, nitrogênio, potássio, zinco, boro e enxofre, nutrientes essenciais ao crescimento de plantas. Depois de tratados, os efluentes são utilizados em atividades agrícolas em países do Oriente Médio (Israel, Arábia Saudita, Jordânia), da África (Tunísia, Egito, Marrocos, Namíbia), Sudeste Asiático (China, Singapura), da Europa (Espanha, França, Alemanha), da América Latina (México, Peru), nos Estados Unidos e na Austrália (BRASIL, 2007).

No Brasil, a má distribuição ou escassez de chuva restringe a produção agrícola em 88% da área da Bahia e do Nordeste. Entre os benefícios sócio-econômico-ambientais mensuráveis resultantes da utilização de efluente tratado de esgoto estão à conservação da água disponível, o aporte e a reciclagem de nutrientes, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos, aumento do rendimento da cultura e o cultivo de culturas sensíveis à falta d'água durante todo o ano (VAN DER HOEK et al., 2002).

A principal limitação do uso de águas residuárias na agricultura é a presença de sais dissolvidos totais, íons tóxicos, concentração relativa de sódio e, a tolerância das culturas a esse tipo de efluente (AYERS & WESTCOT, 1999). Em alguns casos tem sido verificado na prática, efeitos nocivos da qualidade da água, nas características do solo e na produtividade da cultura utilizada (Cavalcante, 2000).

O Governo Federal Brasileiro criou o Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), o qual destina recursos para melhorias em saneamento e infra-estrutura no País. Muitos Estados serão contemplados com verbas para saneamento básico, assim, cidades que, atualmente, não possuem sistema de tratamento de esgoto, terão o mesmo implantado. Existe a necessidade de um plano racional de manejo dos resíduos produzidos para evitar a contaminação do solo, da água, e do ar.

O Governo Federal Brasileiro autorizou a mistura dos dois óleos (diesel e vegetal), o que vem desencadeando diversas ações de pesquisa sobre o uso de óleos vegetais como matéria-prima para a produção de biodiesel (CORRÊA et al., 2008). Designando assim de B2 as misturas com 2% de biodiesel, B20 com 20% até chegar ao B100, o biodiesel 100% puro (SILVA E FREITAS, 2008).

Um das possíveis aplicações para o reuso de efluente tratado é na produção de culturas oleaginosas produtoras de biodiesel, tais como: algodão (*Gossypium hirsutum L.*), mamona (*Ricinus communis L.*) e o pinhão manso (*Jatropha curcas*) (BEZERRA; FIDELIS FILHO, 2009).

A cultura do pinhão manso pode produzir pelo menos duas toneladas de óleo por hectare e leva de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, a qual pode se estender por 40 anos (CARNIELLI, 2003). O pinhão manso também apresenta boa capacidade de recuperação de áreas degradadas em função de suas raízes profundas, crescendo em solos de baixa fertilidade (TEIXEIRA, 2005).

O presente estudo teve como objetivo avaliar: i – o efeito sazonal do efluente tratado proveniente de esgoto doméstico da ETE de Sauípe através do Índice de Qualidade de Efluente; ii - o efeito da aplicação de efluente de esgoto tratado em solos de três classes e na cultura do pinhão manso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BEZERRA, B. G.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 339-345, jul-set, 2009.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Aplicação controlada de efluente tratado e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semi-árido nordestino** – Brasília, DF: Funasa, 2007. 120 p.: il.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. 2003. Disponível em: [www.ufmg.br/boletim/bul1413](http://www.ufmg.br/boletim/bul1413).

CAVALCANTE, L. F. **Sais e seus problemas nos solos irrigados**. Areia: UFPB, 2000. 71p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Índices utilizados em monitoramento ambiental*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp>>. Acesso em: 4 jan. 2003.

CORRÊA, I. M. et al. Desempenho de motor diesel com mistura de biodiesel de óleo de girassol. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 923-928, maio/jun., 2008.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de águas no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, p. 411-437, 2003.

MÁXIMO, C. C. **Avaliação do Emprego de Efluentes Sanitários Tratados em Irrigação Ornamental no Distrito Federal**. 130 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SOUZA, F. **Irrigação desenvolvimento e tecnologia**. Fortaleza,CE: Imprensa Universitária. UFC, 2000. 94 p.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p. 843-851, mai-jun, 2008.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de Oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, v.26,n. 229, 2005, p.18-27.

TRENTIN, C. V.; SOUZA, J. L. M. de. Possibilidade de utilização da irrigação com possibilidade água residuária em torno das principais estações de tratamento de efluentes da Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Sci. Agron**. Maringá, v. 28, n. 2, p. 291-298, April/June, 2006.

VAN DER HOEK, W. Et al. Urban wastewater: a valuable resource for agriculture. A case study from Hooroonabad, Pakistan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 29 p. **(Research Report, 63)**.

# CAPÍTULO 1

## VARIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DO EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA ETE DE SAUÍPE-BA<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Ciência do Solo.



# VARIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DO EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO NA ETE DE SAUÍPE-BA

Autora: Marcela Rebouças Bomfim

Orientador: Prof. Jorge Antonio Gonzaga Santos

**RESUMO:** O presente estudo avaliou o efeito sazonal e temporal na qualidade do efluente tratado na ETE de Sauípe localizada no município de Mata de São João – BA e determinou o Índice de Qualidade do Efluente. Dados primários de oito características monitorados e fornecidos pela EMBASA no período de 2008 a 2010 foram arranjados em delineamento experimental blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Todos as características avaliados mantiveram-se nos limites da legislação, com exceção do pH referente aos anos de 2009 e 2010. Os dados das características dos resíduos foram integrados em um Índice de Qualidade de Efluente (IQE) baseado na Análise do Componente Principal (ACP) – IQE\_ACP, o qual permitiu reduzir o número de características de monitoramento de oito, usados no presente, para seis (DQO, DBO, SSP, CTT, pH e SSS). A primavera, consistentemente, foi à estação com o pior IQE\_ACP, seguida do verão. Esse fato está relacionado com o aumento da carga orgânica, como medido pela DQO, DBO e SSP. O IQE\_ACP pode constituir uma excelente ferramenta de monitoramento prático, dinâmico e de fácil interpretação das ETE's, minimizando tempo e custo e com maior ênfase na sustentabilidade ambiental dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** efeito sazonal, efluente de esgoto tratado, IQE\_ACP.

# SEASONAL VARIATION OF THE EFFLUENT QUALITY FROM SAUÍPE - BAHIA SEWAGE PLANT

Author: Marcela Rebouças Bomfim

Advisor: DSc. Jorge Antonio Gonzaga Santos

**SUMMARY:** The present study evaluated the seasonal and temporal effects in the quality of the Sauipe sewage plant effluent, in the municipal district of Mata de São João and determined the Index of Effluent Quality. Primary data of eight monitored effluent characteristics referent to the period from 2008 to 2010 years provided by EMBASA were analyzed as a randomized block design in a split plot arrangement. All evaluated effluent characteristics were within the legislation limits, except for the 2009 and 2010 pH values. The data of the effluent characteristics were integrated in an Effluent Quality Index (IQE) based on the Principal Component Analysis (ACP) - IQE\_ACP, which allowed to reduce the number of parameters currently monitored from eight to six (DQO, DBO, SSP, CTT, pH and SSS). Consistently, the Spring followed by the Summer season presented the worst IQE\_ACP. That fact is related with the increase of the organic load, as measured for DQO, DBO and SSP. The use of IQE\_ACP may be an excellent practical and dynamic monitoring tool, easy to understand and be shared among sewage plant and with great emphasis in the environmental sustainability of the hydric resources.

Key-words: seasonal effect, sewage treated effluent, IQE\_ACP.

## INTRODUÇÃO

O esgoto sanitário compreende as águas servidas, utilizadas para higiene pessoal, cocção de alimentos e lavagem de utensílios, o qual, de acordo com Tucci (2009), apresenta composição praticamente uniforme, constituída, primeiramente, por matéria orgânica biodegradável na forma de partículas de vários tamanhos, retidas em diferentes materiais encontrados na água em suspensão, na forma de colóides (BAIRD, 2002), microrganismos (bactérias, vírus etc.), nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos, graxas e detergentes (BENETTI & BIDONE, 1997). A alta concentração de matéria orgânica na água de esgotos, quando lançada sem tratamento em corpos d'água favorece o desenvolvimento de algas e eleva o consumo de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica, além de favorecer a presença de microrganismos patogênicos e altas concentrações de fósforo e nitrogênio.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA estimou que, nos próximos 15 anos, a disponibilidade de água será um problema em nível mundial, que deverá ser agravado devido à redução das correntes fluviais, aumento da salinidade nos estuários e o desaparecimento de espécies e plantas aquáticas até 2020 (DIÁRIO DIGITAL, 2006). A contaminação dos recursos hídricos por falta de coleta e tratamento de esgotos exigirá cerca de R\$142,4 bilhões para resolver os problemas de saneamento do Brasil em 20 anos (PORTO, 2005).

Com o advento do Programa de Aceleração de Crescimento – PAC, o Governo Federal tem tentado universalizar a coleta e o tratamento do esgotamento sanitário, associado à eficiência do sistema de tratamento e à qualidade dos subprodutos gerados (biossólidos e efluentes), os quais devem ser muito bem caracterizados. Diante dessa realidade, deve ser implementado o monitoramento da qualidade dos subprodutos do tratamento de esgotos e dos corpos d'água que recebem estes resíduos. Os efluentes produzidos pelas Estações de Tratamento de Esgotos – ETE só podem ser lançados nos corpos d'água depois de avaliados quantitativa e qualitativamente, e estando em conformidade com os padrões exigidos na Legislação. Compete ao Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), legislar sobre esse tema no Brasil.

O investimento na coleta, no tratamento de esgotos e na disposição ambientalmente adequada de efluentes é fundamental para a melhoria do quadro de saúde da população (PIMENTA et al., 2002); e pode contribuir para o desenvolvimento da infra-estrutura requerida para proteger o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida da população, assim como propiciar novas oportunidades de negócios. Para atender os requisitos impostos pela legislação vigente, os órgãos de monitoramento ambiental usam referências para a avaliação continuada dos impactos ambientais causados pelas atividades humanas. As características químicas, físicas e biológicas do efluente que podem ser medidas ou analisadas, são mais dinâmicas e freqüentemente mais sensíveis as alterações da qualidade do efluente, utilizadas como indicadores. A variabilidade sazonal dos processos ambientais tem influência sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, havendo épocas em que ele se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado (CETESB, 2009).

A Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) é responsável pela captação, transporte e tratamento de esgotos no Estado da Bahia e monitora a qualidade de efluentes tratados pela avaliação de características: pH, fósforo total (P-total), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos (SSP), sólidos sedimentares (SSS), clorofila a (CLFA) e coliformes termotolerantes (CTT). O Complexo Hoteleiro de Sauípe, localizado no Município de Mata de São João – BA contribui com 70% do esgoto tratado pela ETE de Sauípe e deste modo influência na composição do esgoto devido ao grande fluxo turístico nas estações secas (primavera e verão) e baixo fluxo turístico na estação das chuvas (outono e inverno).

O presente estudo objetivou: i) avaliar o efeito sazonal e temporal na qualidade do efluente tratado na ETE de Sauípe-BA; ii) determinar o Índice de Qualidade do Efluente, construído a partir de dados primários de caracterização do efluente coletados no período de dois anos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados primários usados neste estudo fazem parte de uma série histórica de dados de monitoramento quinzenal das características do efluente disponibilizada pela EMBASA da ETE de Sauípe-BA referente ao período de 14 de agosto de 2008 a 10 de agosto de 2010 (Figura 1). As amostras que geraram os dados do estudo foram coletadas quinzenalmente no ponto de saída do efluente pós-filtragem.

### Área de estudo

A ETE está situada no Município de Mata de São João (12°31'46" Latitude Sul e 38°17'59" de Longitude Oeste), no Litoral Norte da Bahia, Brasil. O clima da área é predominantemente quente e úmido (GUERRA, 2010), com pouca chuva no verão e chuvoso no inverno e outono.



Figura 1. Vista aérea da Estação de Tratamento de Esgoto de Sauípe-BA.

A ETE-Sauípe foi planejada para tratar o esgoto produzido no Complexo Hoteleiro de Sauípe, considerado o maior pólo de turismo, lazer e negócios da América do Sul; ocupa uma área de 250.000 m<sup>2</sup> e tem uma vazão média de 30 litros/segundo, com uma capacidade de tratar até 100 litros/segundo de efluente. O sistema de tratamento é constituído por uma fase preliminar, além de duas lagoas facultativas e duas lagoas de maturação. Esse processo de tratamento além do baixo custo tem alta eficácia e viabilidade em países de clima quente como o Brasil. O efluente é lançado no Rio Sauípe, após passar pelo sistema de tratamento.

## **Análises laboratoriais**

Amostras do efluente foram analisadas para características químicas (pH, P-total), orgânicas (DBO, DQO), físicas (SSP, SSS), hidrobiológico (CLFA) e higiênico (CTT) no Laboratório Central da EMBASA, utilizando metodologias propostas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

## **Análise estatística**

Os dados coletados foram analisados no delineamento experimental blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas no tempo, onde as parcelas foram os anos de avaliação e as subparcelas os dados por estações. As características, CLFA e CTT, que não apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk, foram normalizados pela função logaritmo base 10, antes da análise de variância (ANOVA), a qual foi feita usando o procedimento GLM do SAS (SAS Institute, 1996) para determinar o efeito das estações, ano e suas interações na qualidade do efluente tratado. Para as características que apresentaram o teste F significativo,  $p < 0,5\%$  utilizou-se o teste de Duncan para separar as médias entre estações e entre anos. Para Análise de Componente Principal (ACP) usou-se o pacote estatístico Statistical Package for the Social Sciences – SPSS 17,0 para Windows (SPSS, Inc. Chicago, USA).

## **Índice de qualidade do efluente**

Os dados de monitoramento foram avaliados para Análise de Componentes Principais (ACP) usando o pacote estatístico Statistical Package for the Social Sciences SPSS 17.0 (2008) – SPSS. Os componentes principais com eigenvalue  $\geq 1$  e que explicavam pelo menos 5% da variação dos dados foram examinados (SHARMA et al., 2005). Dentro de um Componente Principal, CP, somente as características com alto “loading” foram retidas para compor o índice de qualidade. Quando mais de uma variável foi retida por um único CP utilizou-se um teste de correlação. As características do efluente com alta correlação foram consideradas redundantes. Nesse caso, as

características bem correlacionadas, os com “loading” mais altos (valor absoluto) foram mantidos para compor o IQE\_ACP, enquanto as de menor loading foram eliminadas do cálculo do IQE\_ACP (ANDREWS et al., 2001). A variabilidade (%) de cada componente principal foi utilizada como o peso da(s) variável (eis) escolhida(s) de cada CP.

Valores críticos das características do efluente analisado não estão bem estabelecidos na legislação brasileira; No presente estudo os valores críticos para efluente tratado foram tomados baseados em faixa de valores da literatura nacional e internacional (Tabela 1). Os valores críticos das características dos efluentes foram transformados em escores (0 a 1) sem unidade. Os escores foram calculados por meio de funções de pontuação padronizada (“*standardized scoring functions*”), que normalizam a medida do indicador para valores entre 0 e 1,0. As curvas de pontuação foram geradas a partir da equação sigmoideal de Wymore (1993):

$$PP = \frac{1}{1 + ((B-L)/(X-L))^{2S(B+x-L)}} \quad (1)$$

onde  $PP$  é a pontuação padronizada;  $B$  é a linha base ou valor onde a propriedade do efluente é igual à pontuação equivalente a 0,5;  $L$  é o limite inferior;  $S$  é a inclinação da tangente da curva na linha-base e  $x$  é o valor da propriedade do efluente tratado.

A equação  $Y = (x - i) / (s - i)$  foi usada para as equações de função “Mais é melhor”,  $Y1 = 1 - (x - i) / (s - i)$  foi usada para as equações “Menos é melhor” e a combinação das duas para a equação “Ótimo”, onde  $Y$  ou  $Y1$  é a pontuação,  $x$  é o valor da propriedade do efluente e  $i$  e  $s$  são os valores do limite inferior e superior, respectivamente (Masto et al., 2008).

A pontuação da qualidade do efluente foi integrada no Índice de qualidade de efluente como descrito a seguir:

$$IQE = \sum_{i=1}^n W_i x S_i \quad (2)$$

onde  $W$  e  $S$  denotam o peso (percentagem de variação explicado pelo CP) e a pontuação do indicador de qualidade do efluente, respectivamente e  $n$  é o número de indicadores incluídos no índice.

Para o cálculo do IQE baseado na análise de componentes principais – ACP (IQE\_ACP) utilizou-se a seguinte fórmula:

$$IQE\_ACP = \sum_{i=1}^n PW_i \times S_i \quad (3)$$

onde  $PW$  é o peso do fator na ACP e  $S$  é a pontuação do indicador.



Tabela 1. Valores de referência das características químicas, orgânicas, físicas, hidrobiológicas e higiênicas do efluente de esgoto.

PARÂMETROS PARA EFLUENTES	un.	PADRÕES PARA EFLUENTES										
		GMW - Alberta (2000)	União Européia (EC, 1998)*	Alemanha (ABVV, 2002)*	China EPA (2000)*	Japão EA (1993)*	Austrália (Haas et al., 2004)*	Austrália (Mallia et al., 2001)*	EPA (2007)	Feigin et al. (1991)	CONAMA 357/2005	MOTA & VON SPERLING (2009)
<b>Parâmetros químicos:</b>												
pH	-	6,5 a 8,5	-	-	-	-	-	-	-	7,8 a 8,1	5 a 9	-
P-total	mg/L	-	1 a 2	1 a 2	-	16	< 0,1	0,5	0,5	6 a 17	-	2
<b>Parâmetros orgânicos:</b>												
DBO	mg/L	10 a 20	25	15 a 40	30 a 80	-	< 5	5	-	10 a 80	-	-
DQO	mg/L	25 a 50	125	75 a 150	100 a 250	160	-	-	-	30 a 60	-	150
<b>Parâmetros físicos:</b>												
SSP	mg/L	10 a 20	35 a 60	-	30 a 80	200	-	10	10 a 30	10 a 20	-	-
SSS	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<b>Parâmetro hidrobiológico:</b>												
CLFA	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Parâmetro higiênico:</b>												
CTT	UFC 100 mL <sup>-1</sup>	-	500	-	2 a 3 x 10 <sup>5</sup>	3 x 10 <sup>5</sup>	< 5	200	200	-	-	-

\*Citados por Kraume et al. (2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **Variação sazonal das características químicas, orgânicas, físicas, hidrobiológicas e higiênicas do efluente.**

Monitorar o pH de efluentes de esgoto permite observar interferências nos processos de estabilização da matéria orgânica no sistema (MOTA, 2000). Os dados do estudo devem ser observados com a consideração que as avaliações para 2008 não apresentam as informações para o verão e o de 2010 falta as informações para a primavera, ou seja, as estações com maiores alterações das características avaliadas. O único ano que todas as estações foram avaliadas foi o de 2009 e portanto deve expressar melhor a média do comportamento das características avaliadas.

Os valores médios de pH para os efluentes nos três anos de avaliação (Tabela 2) mantiveram-se na faixa de alcalinidade, variando de 8,00 no inverno de 2008 a 9,96 na primavera de 2009. Valores de pH distantes da neutralidade podem afetar a vida aquática (VON SPERLING, 1996). Para as três estações avaliadas em 2008, o pH variou de 8,00 no inverno a 8,43 na primavera, valores considerados normais com base nos padrões estabelecidos internacionalmente (Tabela 1). Em 2009, os valores de pH variaram de 9,26 no inverno a 9,96 na primavera. Já em 2010, os valores variaram de 9,25 no inverno a 9,60 no verão.. No geral, o inverno foi a estação com valores mais baixos de pH, o que pode estar associado a mudança da composição do esgoto causado pelo baixo fluxo de turistas no complexo e à maior contribuição de água da chuva. Independente do ano, o pH obtido no outono manteve-se dentro de valores intermediários, porém sempre mais próximo daquele observado no inverno. Apesar de os valores de pH nas estações de cada ano não terem diferido ( $p > 0,05$ ), todos os valores observados em 2009 e 2010 excederam a faixa normal para efluentes, de 5,0 a 9,0, estabelecida pelo CONAMA e foram maiores do que os valores observados em 2008 (Tabela 2). Lucena et al (2005) encontraram valor de pH (7,79) muito mais próximo da neutralidade no efluente da ETE da PROSAB em Campina Grande-PB, do que os encontrados neste estudo.

Tabela 2. Caracterização química, orgânica, física, hidrobiológica e sanitária do efluente de esgoto tratado na ETE de Sauípe-BA.

Estação	pH	P-total (mg L <sup>-1</sup> )	DBO (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	SSP (mg L <sup>-1</sup> )	SSS (mg L <sup>-1</sup> )	CLFA* (µg L <sup>-1</sup> )	CTT* (UFC 100mL <sup>-1</sup> )
<b>2008</b>								
Outono	8,04 a	4,88 b	28,24 ab	150,00 ab	80,20 ab	0,10 a	1,90 a	2,79 a
Inverno	8,00 a	4,55 b	17,37 b	130,50 b	63,50 b	0,22 a	2,15 a	2,25 a
Primavera	8,43 a	6,44 a	36,53 a	187,43 a	145,43 a	0,16 a	2,22 a	2,25 a
Média Anual	8,14 B	5,29 A	27,38 A	155,98 A	96,38 A	0,16 A	2,09 B	2,43AB
CV (%)	4,40	4,27	39,48	21,74	43,87	119,08	10,50	36,63
<b>2009</b>								
Outono	9,37 a	3,41 c	23,52 a	142,00 a	95,60 a	0,10 a	2,12 b	2,78 a
Inverno	9,26 a	3,82 bc	21,04 a	143,00 a	88,20 a	0,10 a	2,09 b	2,24 a
Primavera	9,96 a	5,57 b	32,17 a	216,33 a	159,67 a	0,15 a	2,49 a	1,59 a
Verão	9,79 a	7,43 a	38,05 b	188,25 a	131,50 a	0,12 a	2,01 b	1,98 a
Média Anual	9,60 A	5,06 B	28,70 A	172,39 A	118,74 A	0,12 A	2,18 B	2,15 B
CV (%)	5,45	25,77	48,23	32,00	40,13	63,06	11,20	55,80
<b>2010</b>								
Outono	9,39 a	4,82 ab	26,90 a	191,00 a	115,50 ab	0,10 a	2,58 a	2,99 a
Inverno	9,25 a	3,03 b	18,32 a	140,83 a	66,67 b	0,10 a	2,36 a	3,01 a
Verão	9,60 a	6,17 a	36,37 a	210,00 a	139,50 a	0,10 a	2,46 a	2,78 a
Média Anual	9,41 A	4,70 C	27,20 A	180,61 A	107,22 A	0,10 A	2,47 A	2,93 A
CV (%)	8,67	21,82	36,48	53,81	26,72	0	12,02	34,56

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

\*Valores normalizados aplicando o logaritmo (log) base 10.

O fósforo juntamente com o nitrogênio são os elementos mais limitantes ao crescimento dos microrganismos em ambientes aquáticos e o excesso desses elementos causa a eutrofização das águas (VON SPERLING, 2005). O uso crescente de detergentes sintéticos torna a concentração de P crescente nos esgotos domésticos. No período monitorado, os teores de P-total variaram de 3,03 mg L<sup>-1</sup> (inverno de 2010) a 7,43 mg L<sup>-1</sup> (verão de 2009) (Tabela 2). As maiores concentrações de P no efluente tratado no verão refletem o maior fluxo turístico da estação, o qual eleva a carga de nutrientes do esgoto, influenciando na qualidade do efluente tratado. A concentração de P-total detectado na primavera de 2008 (6,44 mg L<sup>-1</sup>) foi cerca de 30% maior do que a do inverno (4,55 mg L<sup>-1</sup>). O teor de P entre as estações também diferiu em 2009. A

concentração de P-total do verão (7,43 mg L<sup>-1</sup>), foi cerca de 55% maior do que a do outono (3,41 mg L<sup>-1</sup>). No verão de 2010 foi observada a maior concentração de P-total no ano (6,17 mg L<sup>-1</sup>), seguida do outono (4,82 mg L<sup>-1</sup>) e inverno (3,03 mg L<sup>-1</sup>). Os valores encontrados para P-total estão dentro dos limites relatados por Feigin et al. (1991), que variam de 6 a 17 mg L<sup>-1</sup>, e pelo Japão (EA, 1993), até 16 mg L<sup>-1</sup>. A avaliação anual da concentração de P-total variou de forma decrescente na seguinte ordem: 2008 (5,29 mg L<sup>-1</sup>) > 2009 (5,06 mg L<sup>-1</sup>) > 2010 (4,70 mg L<sup>-1</sup>). A falta dos dados de P-total no verão de 2008 e da primavera em 2010 devem ter influenciado nos valores médios de P-total naqueles anos.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação bioquímica das substâncias orgânicas dissolvidas na água. A DBO é uma característica importante no controle da poluição das águas devido a matéria orgânica. O valor de DBO variou de 17,37 mg L<sup>-1</sup> no inverno de 2008 a 38,05 mg L<sup>-1</sup> no verão de 2009 (Tabela 2). A DBO em 2008 foi maior na primavera (36,53 mg L<sup>-1</sup>) e menor no inverno (17,37 mg L<sup>-1</sup>). Os valores sazonais da DBO em 2009 mostraram diferença significativa entre o verão (38,05 mg L<sup>-1</sup>) e primavera (32,17 mg L<sup>-1</sup>), outono (23,52 mg L<sup>-1</sup>) e inverno (21,04 mg L<sup>-1</sup>). No ano de 2010, a DBO do verão (36,37 mg L<sup>-1</sup>), outono (26,90 mg L<sup>-1</sup>) e inverno (18,32 mg L<sup>-1</sup>) não diferiram entre si. Não houve diferença significativa entre as médias da DBO nos três anos avaliados. A DBO padrão de cinco dias DBO<sub>5</sub> para emissão máxima de esgotos diretamente nos corpos d'água é de 60 mg L<sup>-1</sup>, no Estado de São Paulo, decreto Estadual nº 8468. Os valores de DBO encontrados neste estudo estão abaixo daqueles valores. Os valores do estudo também estão abaixo do limite máximo estabelecido pela Alemanha (ABWV, 2002), de 40 mg L<sup>-1</sup>, China (EPA, 2000) e Feigin et al. (1991), ambos de 80 mg L<sup>-1</sup>, mas estão acima dos estabelecidos pelos Estados Unidos e Austrália (Tabela 1). No período mais seco do ano (primavera e verão) os valores de DBO foram mais elevados do que no período mais úmido (outono e inverno).

A demanda química de oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio consumida na oxidação de compostos químicos orgânicos presentes no efluente (VON SPERLING, 1996). No período de três anos, a DQO variou de 130,50 mg L<sup>-1</sup> (inverno de 2008) a 216,33 mg L<sup>-1</sup> (primavera de 2009), como se observa no Tabela 2. A DQO da primavera de 2008 (187,43 mg L<sup>-1</sup>) diferiu da DQO do inverno (130,50 mg L<sup>-1</sup>). Em 2009 não houve diferença entre as estações, mas

pode ser observada uma redução nos valores entre a primavera ( $216,33 \text{ mg L}^{-1}$ ) > verão ( $188,25 \text{ mg L}^{-1}$ ) > inverno ( $143,00 \text{ mg L}^{-1}$ ) > outono ( $142,00 \text{ mg L}^{-1}$ ). Em 2010, a DQO não diferiu entre as estações, mas os valores obtidos apresentaram a sequência: verão ( $210,00 \text{ mg L}^{-1}$ ) > outono ( $191,00 \text{ mg L}^{-1}$ ) > inverno ( $140,83 \text{ mg L}^{-1}$ ). Os resultados de DQO obtidos nesse estudo são comparáveis apenas aos limites estabelecidos pela China (EPA, 2000). A DQO, semelhantemente ao DBO, foi maior no período mais seco do ano (primavera e verão) e menor no período mais úmido (outono e inverno).

Os SSP medem a força poluidora dos esgotos (MOTA, 2000), pois essa característica está relacionada com o transporte de nutrientes e poluentes que contribuem para o enriquecimento dos ambientes aquáticos (VIEIRA et al., 2005), reduzindo a penetração da luz, aquecendo a água e reduzindo assim as concentrações de oxigênio no meio (BRITES, 2005). Os valores de SSP oscilaram de  $63,50 \text{ mg L}^{-1}$  no inverno de 2008 a  $159,67 \text{ mg L}^{-1}$  na primavera de 2009 (Tabela 2). A primavera de 2008 foi a estação que apresentou maior concentração de SSP ( $145,43 \text{ mg L}^{-1}$ ), seguida do outono ( $80,20 \text{ mg L}^{-1}$ ) e inverno ( $63,50 \text{ mg L}^{-1}$ ). Os valores obtidos em 2008 estão em conformidade com os estabelecidos pela China (EPA, 2000) e Japão (EA, 2000). Em 2009, as concentrações de SSP apresentaram a seguinte tendência sazonal: primavera ( $159,67 \text{ mg L}^{-1}$ ) > verão ( $131,50 \text{ mg L}^{-1}$ ) > outono ( $95,60 \text{ mg L}^{-1}$ ) > inverno ( $88,20 \text{ mg L}^{-1}$ ), estes resultados estão em conformidade com o limite do Japão (EA, 2000) (Tabela 1). Para o ano de 2010, o valor do SSP do verão ( $139,50 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi superior ao do inverno ( $66,67 \text{ mg L}^{-1}$ ); estes valores estão de acordo com China (EPA, 2000) e Japão (EA, 2000) (Tabela 1). As médias anuais não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

A sedimentação dos sólidos suspensos em razão da influência da gravidade, gera os sólidos sedimentáveis (GOMES, 2009) os quais permitem prever o comportamento dos despejos quando atingem os corpos d'água. Os valores de SSS variaram de  $0,10$  a  $0,22 \text{ mg L}^{-1}$  e não diferiram entre si, tanto entre as estações avaliadas por ano bem como para as médias anuais. Os valores obtidos foram mais baixos que o limite estabelecido pelo CONAMA (Tabela 1).

A clorofila, CLFA é uma característica hidrobiológica que permite avaliar a quantidade de algas que se proliferam devido ao excesso de nutrientes no efluente. Os valores de CLFA variaram de  $1,9 \mu\text{g L}^{-1}$  no outono de 2008 a  $2,58$

$\mu\text{g L}^{-1}$  no outono de 2010 (Tabela 2). Não houve diferenças entre os valores de CLFA avaliados nas diferentes estações exceto em 2009. Apesar de não diferirem entre si, os teores de CLFA em 2008, variaram de  $1,90 \mu\text{g L}^{-1}$  no outono a  $2,22 \mu\text{g L}^{-1}$ . A concentração de CLFA da primavera de 2009 ( $2,49 \mu\text{g L}^{-1}$ ) foi maior do que das demais estações (verão =  $2,01 \mu\text{g L}^{-1}$ ; outono =  $2,12 \mu\text{g L}^{-1}$  e inverno =  $2,09 \mu\text{g L}^{-1}$ ). O valor mais alto de CLFA obtido na primavera propicia a maior disponibilidade de nutrientes (CARNEIRO 2002). Não houve diferença entre os valores de CLFA das diferentes estações em 2010. A concentração de CLFA de 2010 ( $2,47 \mu\text{g L}^{-1}$ ) foi maior do que os valores de 2008 ( $2,18 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e 2009 ( $2,09 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

O teor de coliformes fecais é utilizado como indicador de contaminação fecal e da provável presença de microrganismos patogênicos, (CEBALLOS, 1995), responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (MARTINS, 2009). Nos três anos estudados não houve diferença de CTT nas diferentes estações avaliadas (Tabela 2). A maior concentração de CTT ocorreu em 2010 ( $2,93 \text{ UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$ ), superior a 2008 ( $2,43 \text{ UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$ ) e a 2009 ( $2,15 \text{ UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$ ), os quais não diferiram entre si.

O coeficiente de variação das diferentes características avaliadas variou de 4,27 a 119,08% (Tabela 2). Os coeficientes de variação são classificados como baixos (< 10%), médios (de 10 a 20%), altos (de 20 a 30%) e muito altos (> 30%) (Pimentel Gomes, 2000). Com base nesta informação, as características estudadas tiveram a seguinte classificação: pH coeficiente baixo; CLFA coeficiente médio; P-total, coeficiente médio a alto; DQO e SSP, coeficiente alto e muito alto; e DBO, SSS e CTT, coeficiente muito alto. Estes resultados sugerem uma mudança de estratégia de amostragem. As variáveis que apresentam coeficiente de variação alto e muito alto devem ser amostradas e analisadas com frequência menor do que os atuais 15 dias, enquanto as características com coeficiente de variação baixa e médio pode ser monitorado menos frequentemente.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que, no geral, existe uma tendência de as características de monitoramento ser maiores nas estações mais secas (verão e primavera) e menores nas estações mais úmidas (inverno e outono) do ano. Esse resultado implica que, para manter semelhante grau de impacto do descarte do efluente se requer maior diluição nos corpos d'água no

verão, época de menor volume de água, que no inverno, época de maior volume de água dos corpos d'água.

### Índice de qualidade do efluente

O monitoramento do efluente produzido é de extrema importância social, econômica e ambiental, visto que o material tratado é lançado em corpos d'água e, portanto, retornam para consumo humano após captação e tratamento. Para que o efluente tratado seja liberado em um corpo d'água dentro dos padrões de qualidade, um grande número de características deve ser avaliado em intervalos freqüentes, o que torna o processo dispendioso.

A análise de componente principal (ACP) tem sido utilizada como uma ferramenta para identificação de indicadores de solo (ANDREWS et al., 2002; SHARMA et al., 2005; MASTO et al., 2008). No presente estudo, a ACP foi utilizada para determinar a qualidade de efluentes. Todos os dados analíticos de monitoramento do efluente tratado foram analisados pela ACP. Três CPs apresentaram eigenvalue  $\geq 1,0$  (Tabela 3). As características com maiores "loadings" ( $> 0,60$ ) dentro de cada CP foram selecionadas: CP-1 (DQO = 0,846; DBO = 0,814; SSP = 0,804; P-total = 0,778); CP-2 (CTT = 0,778) e CP-3 (pH = 0,633; SSS = -0,604), os quais representaram 73,11%. A análise de correlação entre as características de alto peso foi feita para remover as características redundantes (Tabela 4). Quando duas características apresentaram  $r > 0,70$ , como DBO e P-total ( $r = 0,705$ ) foi mantida a variável com maior "loading" (DBO), sendo o P-total excluído do modelo.

Os pesos de cada característica utilizada para avaliar o IQE\_ACP foram obtidos a partir da percentagem de variação dos dados explicados no pelo CP (tabela 3), como apresentado a seguir:

$$IQE\_ACP = \frac{0,394DBO + 0,394DQO + 0,394SSP + 0,181CTT + 0,155pH + 0,155SSS}{1,673} \quad (4)$$

A divisão do resultado do numerador pelo denominador foi feito para normalizar a equação de IQE\_ACP tem-se:

$$IQE\_ACP = 0,236E_{DBO} + 0,235E_{DQO} + 0,235E_{SSP} + 0,108E_{CTT} + 0,093E_{pH} + 0,093E_{SSS} \quad (5)$$

onde E é o escore para a variável indicada no subscrito e os coeficientes foram os pesos obtidos dos resultados de ACP. Baseado na equação 5 foi calculado o IQE\_ACP para o período estudado, considerando as contribuições das seis variáveis selecionadas.

Tabela 3. Resultados da análise de componentes principais das características de monitoramento dos efluentes tratados.

	Componentes principais		
	1	2	3
Eigenvalue	3,156	1,449	1,244
Varição (%)	39,45	18,11	15,55
Varição cumulativa (%)	39,45	57,56	73,11
	Eigenvetores		
DQO	<b>0,846</b>	0,204	0,147
DBO	<b>0,814</b>	0,226	-0,163
SSP	<b>0,804</b>	-0,037	-0,152
P-total	<b>0,778</b>	0,259	-0,415
CTT	-0,213	<b>0,778</b>	0,135
CLFA	0,407	-0,566	0,466
pH	0,553	0,137	<b>0,633</b>
SSS	0,0907	-0,587	<b>-0,604</b>

Tabela 4. Matriz de correlação para características de monitoramento da qualidade do efluente.

	CTT	CLFA	DBO	DQO	pH	SSP	SSS	P-total
CTT	1,000							
CLFA	0,290	1,000						
DBO	0,062	0,132	1,000					
DQO	0,012	0,272	0,601	1,000				
pH	0,137	0,390	0,332	0,502	1,000			
SSP	0,188	0,290	0,553	0,593	0,272	1,000		
SSS	0,316	0,096	0,026	0,054	0,110	0,116	1,000	
P-total	0,056	0,025	<b>0,705</b>	0,616	0,130	0,594	0,121	1,000

Os valores obtidos para as variáveis selecionadas foram padronizados utilizando a equação 1 (WYMORE, 1993). Os limites críticos utilizados para compor as curvas e, assim, obter os escores estão apresentados na tabela 5. As médias dos valores encontrados no estudo para todas as variáveis, exceto pH e SSS, foram utilizadas como limites críticos, pois não foram encontrados valores



de referência na literatura. A padronização dos valores de CTT foi feita com os dados logaritmizados.

Tabela 5. Características das funções de pontuação dos indicadores de qualidade de efluente e as respectivas referências utilizadas para defini-los.

Tipo de curva	Indicador	Limite inferior	Linha base	Referência
<b>Característica química</b>				
Valor ótimo	pH	0	7	CONAMA 357/05
<b>Característica orgânica</b>				
Menos é melhor	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	0	169,93	MM*
	DBO (mg L <sup>-1</sup> )	0	27,85	MM*
<b>Característica física</b>				
Menos é melhor	SSP	0	108,58	MM*
	SSS (mg L <sup>-1</sup> )	0	1	CONAMA 357/05
<b>Característica higiênica</b>				
Menos é melhor	CTT	0	2,47	MM*

\*MM – melhor valor das médias nos últimos 3 anos de estudo

Conhecer a qualidade do material que será descartado nos corpos d'água traduz toda uma preocupação sustentável para as gerações presentes e futuras, mitigando assim os impactos ambientais. Almeida & Schwarzbald (2003) consideram a determinação de índices como uma forma de reduzir vários dados num único valor, representando um elo entre especialistas e leigos, permitindo detectar mudanças em ambientes que sejam monitorados.

Os valores de IQE\_ACP de 2008 (Figura 2) indicaram que o inverno (0,773) e outono (0,698) foram as estações que apresentaram os melhores IQE\_ACP e a primavera (0,443) o pior IQE\_ACP. Em 2009 (Figura 3), o inverno (0,753) e primavera (0,330) apresentaram o melhor e o pior IQE\_ACP, respectivamente, sendo a qualidade do efluente no outono (0,668) e no verão (0,444) intermediária à das outras duas estações. Em 2010 (Figura 4), não houve diferença entre a qualidade do efluente tratado entre as estações, embora os dados da primavera, a estação que apresentou piores índices nos anos de 2008 e 2009 não tenham sido computados.

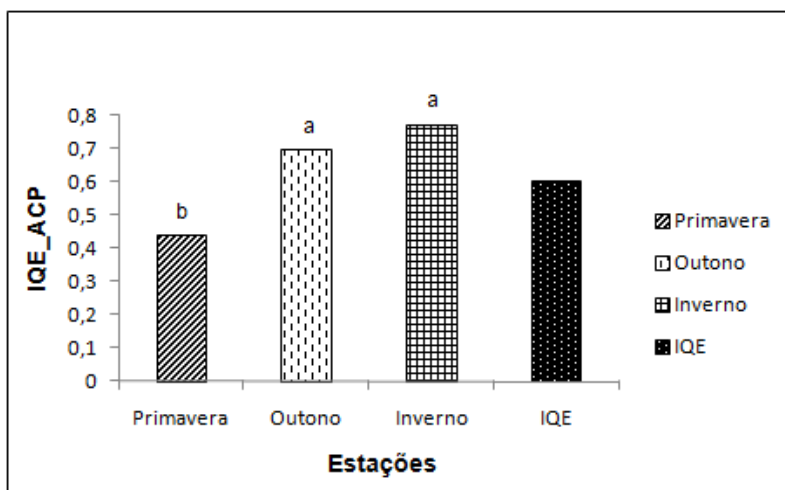


Figura 2. Influência sazonal na qualidade do efluente tratado da ETE de Sauípe-BA, como indicado pelos IQE\_ACP, referente ao ano de 2008.

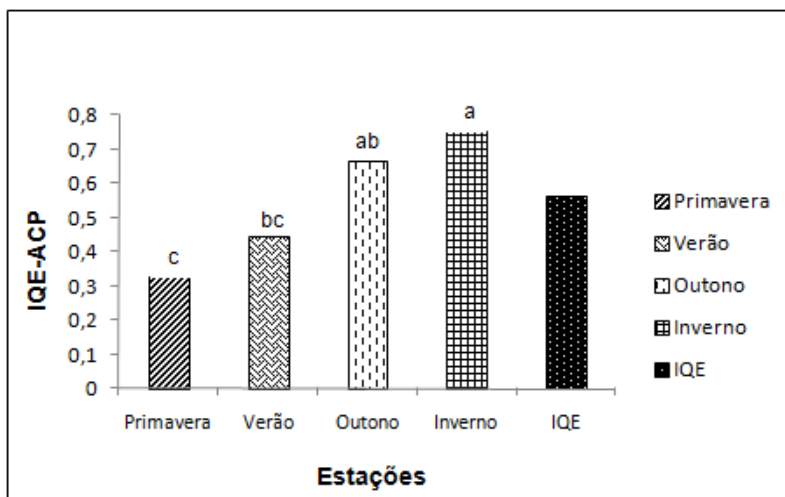


Figura 3. Influência sazonal na qualidade do efluente tratado da ETE de Sauípe-BA, como indicado pelos IQE\_ACP, referente ao ano de 2009.

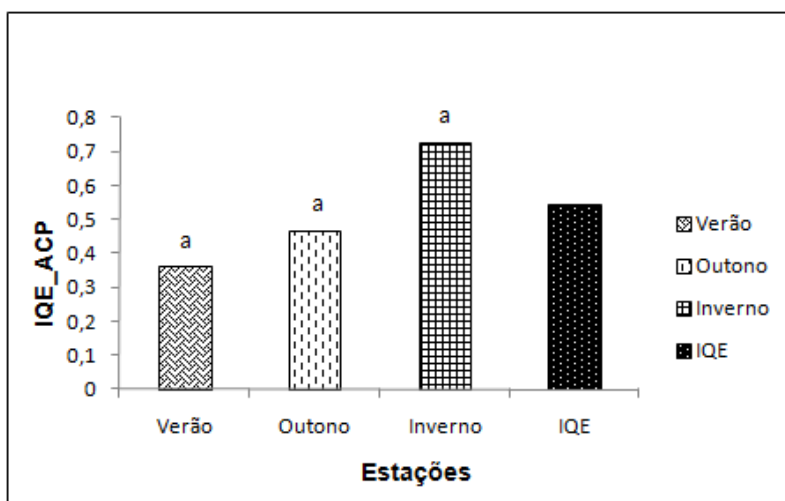
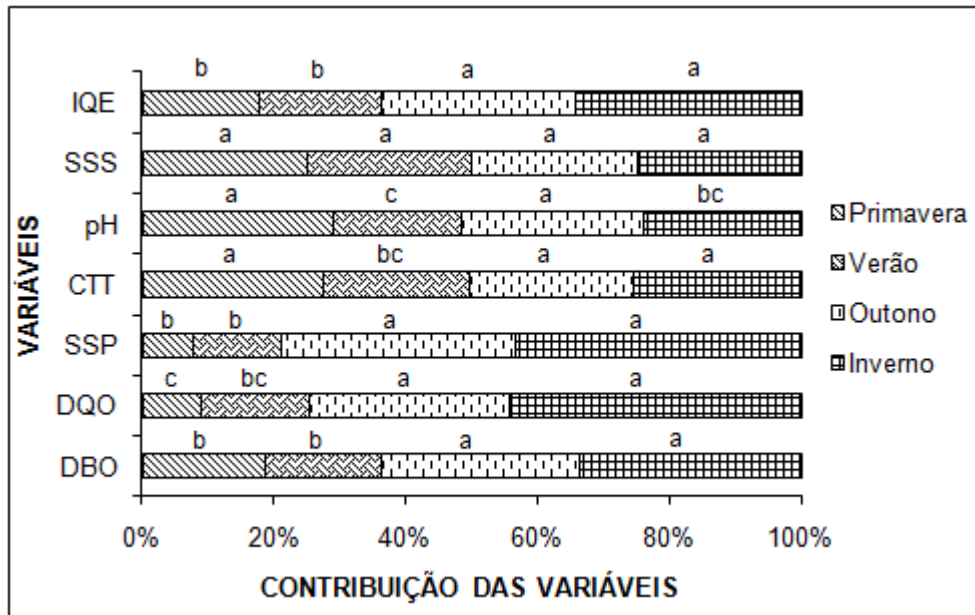
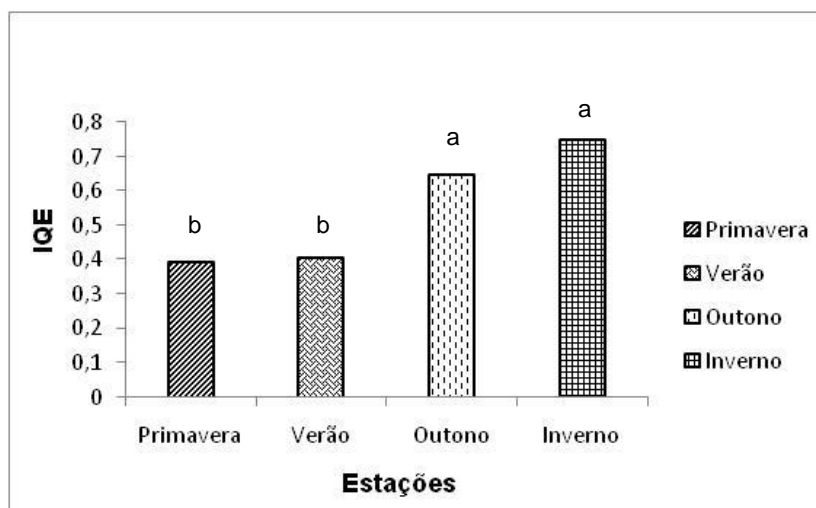


Figura 4. Influência sazonal na qualidade do efluente tratado da ETE de Sauípe-BA, como indicado pelos IQE\_ACP, referente ao ano de 2010.

A partição da contribuição dos fatores que contribuíram para formação do índice (Figura 5) indicou que as variáveis que compuseram o CP-1 foram as que mais variaram durante as estações avaliadas, sendo a primavera e o verão as estações que apresentaram as mais baixas contribuições para o IQE\_ACP (Figura 6) que pode estar associada ao período de maior fluxo no Complexo Turístico de Sauípe e municípios circunvizinhos que contribuem para a formação do esgoto da ETE de Sauípe. O maior fluxo de pessoas deve contribuir para o aumento da carga orgânica, que é medida pela DBO, DQO e SSP. De forma contrária a essas duas estações do ano, o inverno e o outono representaram as maiores contribuições para o IQE\_ACP (Figura 6). No CP-2 o CTT foi a única variável, na qual a maior contribuição para o IQE\_ACP ocorreu na primavera (14,58%), sendo que as estações favoreceram para reduzir a qualidade do efluente. Nas variáveis que formaram a CP-3 observou-se que o IQE\_ACP do pH na primavera (21,99%) foi o que mais contribuiu para a redução da qualidade do efluente, visto que o inverno (9,48%) foi o de menor contribuição. O SSS não diferiu entre as estações para a formação do IQE\_ACP (Figura 5).



**Figura 5.** Influência sazonal as variáveis que compõe o IQE\_ACP na qualidade do efluente tratado da ETE de Sauípe-BA.



**Figura 6.** IQE\_ACP total sazonal.

Assim, foi observado que a qualidade do efluente tratado foi grandemente influenciada pelas estações do ano. Diferentemente do que foi teorizado, a primavera, ao invés do verão, consistentemente foi a estação em que o efluente apresentou o pior IQE\_ACP. Esse fato pode estar relacionado com o aumento da carga orgânica, como medido pelo DQO, DBO e SSP que determinou tais resultados.

## CONCLUSÕES

Dentre as oito características avaliados durante três anos (2008 a 2010), com exceção do pH para 2009 e 2010, os demais foram mantidos dentro dos valores normais da legislação nacional e internacional.

Para melhorar a eficiência do monitoramento as características do efluente com coeficientes de variação alto e muito alto precisam ser amostrados mais frequentemente enquanto as características com coeficiente de variação baixa e médio pode ser monitorado com menor frequência.

O efluente tratado do inverno e outono apresentou menor variabilidade e melhor qualidade do que o efluente tratado da primavera e verão.

Foi obtido um Índice de Qualidade de Efluente baseado na Análise de Componentes Principais – IQE\_ACP.

O IQE\_ACP mostrou-se ser uma ferramenta importante para avaliar os efeitos sazonais na qualidade dos efluentes. A primavera, consistentemente, foi a estação em que o efluente apresentou o pior IQE\_ACP, seguida do verão. Esse fato está relacionado com o aumento da carga orgânica, como medido pela DQO, DBO e SSP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTA ENVIRONMENT MUNICIPAL PROGRAM DEVELOPMENT BRANCH. A practical guide to municipal wastewater irrigation discussions and guidelines. Edmonton, Alberta:, 2000. 24p.

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio da Cria, Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.

ANDREWS SS, MITCHELL JP, MANCINELLI R, KARLEN DL, HARTZ TK, HORWATH WR, PETTYGROVE GS, SCOW KM, MUNK DS 2001. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal* 94: 12–23.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. New York: APHA, WWA, WPCR, 1995. 1000 p.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre, 2002, 622 p.

BENETTI, A. & BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed., Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. p.849-877. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).

BRITES, A.P.Z.; GASTALDINI, M.C.C.; SARTORI, A. Utilização de amostradores instantâneos de água para avaliação da carga poluente na drenagem pluvial urbana. In: 1º ÁGUASUL - 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Sul. Santa Maria - RS, 2005.

CARNEIRO, F. M. **Análise do estudo de impacto ambiental e da qualidade da água – o caso açude atalho – Brejo Santo, Ceará**. 198 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

CEBALLOS, B. S. O. CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do Trópico Semi-Árido.** 192 p. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biomédicas II, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CETESB. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios. Apêndice B. Índices de Qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 1991. Compilação de padrões ambientais. Folheto. São Paulo **DIÁRIO DIGITAL**. Disponível em: [http://diariodigital.sapo.pt/news.asp?section\\_id=114&id\\_news=220731](http://diariodigital.sapo.pt/news.asp?section_id=114&id_news=220731). Acesso em: 20 dez. 2010.

DIARIO DIGITAL. Disponível em: [http://diariodigital.sapo.pt/news.asp?section\\_id=114&id\\_news=220731](http://diariodigital.sapo.pt/news.asp?section_id=114&id_news=220731) acessado em: 20 dez. 2010.

**Ecodebate.** Reportagem de Pedro Peduzzi da Agencia Brasil, publicada pelo EcoDebate, 20/09/2010. <<http://www.ecodebate.com.br/2010/09/20/ibge- apenas-626-das-moradias-urbanas-tem-acesso-simultane-a-agua-esgoto-e-coleta-de-lixo> /20 /09/ 2010 > Acessado em: 20 dez. 2010.

**EPA,** 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov/reg3wapd/tmdl/MD%20TMDLs/Urieville%20Lake/urievilDR.pdf> Acesso em: 20 de setembro de 2010.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection.** Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224 p.

GOMES, L. P. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360p.

GUERRA, A. Rede de avaliação e capacitação para a implantação dos planos diretores participativos. Mata de São João – Bahia. Disponível em: <http://web.observatoriodasmetroles.net/planosdiretores/produtos/ba/BA%20Avaliacao%20C3%A7%C3%A3o%20PDPMatadeS%C3%A3oJo%C3%A3o%20jun2011.pdf> Acesso em 19 de janeiro de 2011.

KRAUME, M.; BRACKLOW, U.; DREWS, A. Nutrients removal in mbrs for municipal wastewater treatment. **Wat. Sci. Tech.** 51, Seoul, (2005), in: Conference WEMT 2004, june 7-10, 2004.

MARTINS, M. **Variação e tendências dos parâmetros de qualidade de água do ecossistema aquático da microbacia hidrográfica Córrego da Onça no município de Ilha Solteira/SP.** Ilha Solteira, SP, 2009. 56 f. : il.

MASTO RE, CHHONKAR PK, PURAKAYASTHA, T.J.,SINGH D, PATRA AK. 2008. Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical india. *Land Degradation & Development*, 19: 516–529 p.

MOTA, S. **Reuso de águas: a experiência da Universidade Federal do Ceará.** Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2000, 273 p.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto higiênico:** utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428 p.

OMS - Organización Mundial de la Salud. *Salud Pública Innovación y Derechos de Propiedad Intelectual. Informe de La Comisión de derechos de propiedad intelectual, Innovación y Salud Pública.* 2006. Disponível em: [www.who.int/entity/intellectualproperty/documents/thereport/SPPublicHealthReport.pdf](http://www.who.int/entity/intellectualproperty/documents/thereport/SPPublicHealthReport.pdf). Acesso em: 20 dez. 2010.

PALÁCIO, H. A. Q. et al. Caracterização da potencialidade de uso das águas subterrâneas no vale do Trussu - CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n. 2, p. 326-334, 2004.



PIMENTA, H. C. D.; TORRES, F. R. M.; RODRIGUES, B. S.; ROCHA JÚNIOR J. M. da. **O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas**. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba – PR, out 2002, 1-8 p.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 14.ed. Piracicaba: Degaspari,2000. 477p.

PORTO, M. F. A. Década da água? **BIO-Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, Abr./jun 2005, p. 26-35.

Resolução CONAMA nº 357/2005, <http://mma.gov.br/port/conama>, acessada em novembro 2010.

SAS INSTITUTE INC. The SAS System for Windows (Statistical Analysis System). Cary, NC, USA, 1989 - 1996. V. 6.12.

SHARMA KL, MANDAL UK, SRINIVAS K, VITTAL KPR, MANDAL B, GRACE JK, RAMESH V. 2005. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil and Tillage Research* 83: 246–259.

SPSS 17.0 for Windows [computer program]. Statistical Package for Social Science (SPSS). Release Version 17.0.1. Chicago (IL): SPSS Incorporation; 2008. Available from: <http://www.spss.com>

TUCCI, A. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009. v. 4, 943 p.

VIEIRA, M. S.; MOURA, M. A. M.; FERREIRA, J. R. Estudo das variações sazonais e espaciais dos íons dominantes na água e no sedimento da represa de Ibitinga – São Paulo, Brasil. **Arq. Ins. Biol**, São Paulo, v. 72, n. 4, p. 523-534, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de**

**esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 143 p.

WYMORE, A.W. **Model-based systems engineering**. An Introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. Boca Raton: CRC, 1993.

## **CAPÍTULO 2**

**POTENCIAL FERTILIZANTE DE EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO  
TRATADO DA ETE DE SAUÍPE-BA**

## POTENCIAL FERTILIZANTE DE EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO DA ETE DE SAUÍPE-BA

Autora: Marcela Rebouças Bomfim

Orientador: Prof. Jorge Antonio Gonzaga Santos

**RESUMO:** O aumento da coleta e tratamento de água de esgotamento higiênico tem estimulado a prática do reuso de efluentes tratados na agricultura. O presente estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação de efluente de esgoto tratado em solos de três classes e na cultura do pinhão manso. O experimento foi realizado no período de 01 de agosto a 16 de setembro de 2010, conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas-BA, em esquema fatorial 6 x 3, sendo seis tratamentos com efluente tratado e três solos, dispostos em delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Foram avaliados o efeito da água de abastecimento (controle), Efluente Tratado (ET), ET + NP, ET + NK, ET + PK e ET +NPK em três solos (Latossolo, Argissolo e Cambissolo) e na produção de massa seca e nutrição do pinhão manso. Quarenta e cinco dias após o plantio as plantas foram colhidas e avaliadas para matéria seca e nutrientes. O efeito residual da aplicação do resíduo no solo foi também avaliado no fim do estudo. A aplicação do efluente tratado não influenciou na produção de biomassa, mas melhorou a nutrição do pinhão manso, principalmente na quantidade de N. A falta de resposta a produção de biomassa foi atribuída ao desequilíbrio nutricional de Ca:Mg na planta. A

aplicação de ET ao solo de textura mais arenosa, sem a complementação mineral ou com a complementação de K, reduziu a CTC do solo. Plantas cultivadas no Argissolo, responderam mais positivamente à aplicação do ET nesse estudo de curta duração.

**Palavras-chave:** reuso, Latossolo, Argissolo, Cambissolo, pinhão manso.

# FERTILIZING POTENTIAL OF EFFLUENT FROM SEWAGE WASTE WATER PLANT FROM SAUÍPE-BA

Author: Marcela Rebouças Bomfim

Advisor: DSc. Jorge Antonio Gonzaga Santos

**SUMMARY:** The increase of the collection and treatment of sewage waste water has stimulated the application of these effluents in agriculture. The present study evaluated the effect of the application of effluent from an EMBASA sewage waste water plant, located in Mata de São João-BA, in the biomass production and nutrition of *Jatropha*. The experiment was carried under greenhouse conditions in randomized block design in a 6 x 3 factorial, with three replications. The six treatments evaluated were water of provisioning (control), Treated Effluent (ET), ET + NP, ET + NK, ET + PK, and ET +NPK and three soils (Latossolo, Argissolo and Cambissolo) in the dry mass production and *Jatropha* nutrition. Forty five days after the planting the plants were harvested and evaluated for dry matter and nutrients in plant tissue. The residual effect of the ET in the soil was also evaluated at the end of the study. The application of ET did not influence biomass production, but it improved the nutrition of *jatropha*, mainly in the absorption of N. The lack of plant response on biomass production was attributed to the nutritional unbalance of Ca:Mg. The application of ET to the sandier texture soil, without the mineral complementation or with the complementation of K fertilizer reduced soil CEC. The plants cropped in the Cambissolo, soil with larger natural fertility, responded more positively to the short term application of ET.

**Keywords:** reuse, Latossolo, Argissolo, Cambissolo, *Jatropha curcas*.

## INTRODUÇÃO

O mau uso ou o uso não sustentável dos recursos hídricos, principalmente por atividades antrópicas, tem levado muitos países à situação extrema de escassez, a exemplo da poluição dos rios que ocorre em grande parte por despejos de resíduos urbanos, domésticos, industriais e agrícolas, resultando em problemas socioambientais e impactos significativos sobre a vida aquática e meio ambiente como um todo (PIMENTA et al., 2002). Tais impactos exigem dos órgãos competentes alternativas que levem a uma melhor gestão hídrica no mundo, incluindo programas mais eficientes de educação ambiental.

A parcela de água que cobre o planeta tem sido alterada pela intervenção humana (SANTOS, 2004), recurso este que Carramaschi (2000) relatou que, de um bem livre devido à sua abundância, derivações que limitam a oferta da água têm feito com que ela seja tratada como um bem econômico. A UNESCO (2003) estimou que 1,2 bilhões de pessoas vivem em áreas de escassez física de água (desérticas, com elevada pressão demográfica, poluição excessiva ou consumo em níveis insustentáveis), 500 milhões estão se aproximando desta situação e 1,6 bilhão enfrentam escassez econômica por falta de infra-estrutura necessária para captar a água de rios e aquíferos. O aumento da demanda de água para uso doméstico e agrícola, a elevação do consumo de água nas estações quentes do ano e a dificuldade de aduzir água de fontes de boa qualidade para os grandes centros podem limitar o crescimento econômico de uma região (TSAGARAKIS et al., 2004).

O Programa de Aceleração de Crescimento – PAC tem permitido a instalação de serviços de esgotamento higiênico em muitos municípios brasileiros, promovendo melhoria na qualidade de vida da população. Essa ação preserva os recursos hídricos, ao coletar e tratar a água de esgoto e dar um destino final aos resíduos produzidos.

O efluente tratado e o biossólido são os subprodutos resultantes do tratamento de esgotos: o efluente tratado supre a necessidade de água e de alguns nutrientes essenciais às culturas agrícolas e florestais e preserva a qualidade dos recursos hídricos, enquanto o biossólido pode ser reutilizado como

fertilizante (SANTOS, 2004). O reuso destes resíduos recupera parte da matéria orgânica, recicla nutrientes e minimiza aspectos socioeconômicos e de saúde negativos que o lançamento de tais resíduos em corpos d'água provoca (BERNARDES, 1986; SAMPAIO, 1999). Em suma, o reuso de efluentes tratados e biossólidos, além de ser uma prática ambiental adequada, contribui para a proteção da saúde pública. Essa prática está em consonância com o clamor da sociedade por uma demanda crescente de água de qualidade e por um meio ambiente mais limpo e sustentável.

A irrigação é a prática mais segura para garantir a produção agrícola na Região Nordeste do Brasil (SOUSA; LEITE, 2002). Cerca de 70% de todo o volume da água captada nos rios são utilizados na irrigação (CHRISTOFIDIS, 2001). Esforços têm sido envidados na busca de novas tecnologias de manejo da água de irrigação que resultem no uso mais eficiente do recurso natural água (FERREIRA, 2005). O uso de efluentes tratados na agricultura, além de suprir água e nutrientes pela fertirrigação, ajuda no desenvolvimento sustentável da região. A prática de reutilizar efluentes tratados na agricultura já é bem difundida em países do Oriente Médio, África, Sudeste Asiático, Europa, América Latina, Estados Unidos e na Austrália (BRASIL, 2007).

Na adoção do uso de efluente tratado na agricultura deve-se prezar por um sistema de produção que se caracterize pela interação positiva entre solo-planta-efluente. O desafio do uso dessa técnica é o de avaliar o seu desempenho ambiental. Uma das perguntas a serem respondidas quando do uso de efluente é: como a produtividade das culturas é influenciada em solos com diferentes níveis de fertilidade e como os solos com diferentes características químicas e físicas são impactados pela aplicação de efluentes? As culturas testadas com aplicação de efluentes de esgotos têm sido das mais diversas, desde comestíveis, como o pimentão (DUARTE, 2006) e alface (LIMA et al., 2005), até as produtoras de óleo para produção de biodiesel, como a mamona (NASCIMENTO et al., 2004). Em se tratando de produção de biodiesel, uma cultura que tem sido pouco explorada, mas que tem grandes possibilidades de crescimento, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, é o pinhão-manso (*Jatropha curcas*). Além de ser oleaginosa e apresentar grande potencial para a produção bioenergética, é



tolerante à seca, apresenta elevada produtividade, utilizada como protetora contra a erosão, contribui com aumento de áreas reflorestadas, seqüestrando carbono, e tem sido recomendada pelas vantagens que apresenta frente às demais culturas (CARCERES et al., 2000).

Estima-se serem necessários dois bilhões de litros de biodiesel por ano para incorporar 2% do produto na matriz energética nacional (BARRETO et al., 2008); desse modo, a produção sustentável de biodiesel tem o potencial de impactar positivamente a geração de emprego e renda, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas.

Este estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação de efluente de esgoto tratado na cultura do pinhão manso em solos de três classes.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Descrição do experimento**

O estudo foi conduzido em ambiente controlado, no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no campus de Cruz das Almas. Esta cidade está localizada nas coordenadas geográficas 12° 40' 12" S e 39° 06' 07" W, com altitude de 220 m, temperatura média anual de 24,50 °C e clima tropical subúmido a seco. O estudo foi conduzido no período de 01 de agosto a 16 de setembro de 2010.

### **Delineamento experimental**

Os tratamentos foram estabelecidos em esquema fatorial 6 x 3, sendo seis tratamentos com efluente tratado e três solos, dispostos em delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Os três solos utilizados foram Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico. Os três solos escolhidos representam classes texturais distintas e, desse modo, pretendeu-se avaliar o efeito do uso do efluente tratado em solos com diferentes potenciais produtivos. O Latossolo está sob manejo intensivo (aração e gradagem), o Argissolo sob plantio de eucalipto e o Cambissolo sob pastagem, sendo os dois primeiros coletados na UFRB, campus de Cruz das Almas, e o último na localidade de São José do Itaporã (Muritiba – BA).

Foram avaliados os seguintes tratamentos: água de abastecimento (controle), efluente tratado (ET), ET + NP, ET + NK, ET + PK e ET + NPK. O ET filtrado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Sauípe, localizada em Mata de São João-BA. O sistema de tratamento é constituído por uma fase preliminar, além de duas lagoas facultativas e duas lagoas de maturação. As características do efluente são apresentadas na tabela 1. Foram adicionados 40, 90 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K respectivamente, na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

As unidades experimentais foram constituídas por dois tubos de PVC com 100 mm de diâmetro e 0,20 m de altura cada, os quais receberam solos coletados de 0 a 0,20 e de 0,20 a 0,40 m, após secagem ao ar e passados em peneira com

malha de 4 mm. Os tubos foram sobrepostos, vedados com cola de silicone e fixados com fita adesiva. Na extremidade inferior foi inserido um disco de madeira com um furo central para eliminação de excesso de água, ao qual foi sobreposto uma camada de brita e uma tela de nylon. As características físicas e químicas dos solos são apresentadas nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Antes do início do estudo, todas as unidades experimentais foram pré-incubadas com água destilada por 20 dias, em umidade equivalente a 50% do volume total de poros – VTP. Três sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*) foram semeadas por unidade experimental; após 15 dias foi feito o desbaste, mantendo-se duas plantas por coluna (Figura 1). O controle de irrigação das colunas foi realizado com base em duas colunas em cada bloco, preenchidas com os solos, mas sem plantio, as quais eram pesadas e a diferença observada nelas aplicava-se nas colunas cultivadas. Durante a condução do experimento foi aplicado um total de 940 mL, 960 mL e 1240 mL de efluente e água de abastecimento nas colunas para os respectivos solos (Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico). Quarenta e cinco dias após o plantio, as plantas foram colhidas e analisadas para matéria seca da planta e teor de nutrientes, realizando-se também a análise química completa do solo.

Tabela 1. Características do efluente tratado na ETE de Sauípe-BA, utilizado no experimento.

Atributos	Unidades	Valores observados <sup>1</sup>
pH	-	9,58
P-total	mg L <sup>-1</sup>	4,37
DBO	mg L <sup>-1</sup>	20,93
DQO	mg L <sup>-1</sup>	147,33
SSP	mg L <sup>-1</sup>	96,00
SSS	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Clorofila A	µg L <sup>-1</sup>	254,20
CTT	UFC/100 mL	9533,33

<sup>1</sup>As médias apresentadas são resultantes de três épocas distintas de análise durante a condução do estudo.

Tabela 2. Características granulométricas, densidade do solo e de partículas e porosidade total, macro e microporosidade do Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico.

Solos	Prof. m	Caracterização física						
		Granulometria <sup>1</sup>			Densidade <sup>2</sup>		Porosidade total <sup>3</sup>	
		Areia <sup>1</sup>	Silte <sup>1</sup>	Argila <sup>1</sup>	Solo	Partículas	Macro	Micro
		g kg <sup>-1</sup>			kg dm <sup>-3</sup>		%	
Latossolo Amarelo	0-0,20	817,0	44,7	138,3	1,56	2,28	10,27	25,64
	0,20-0,40	668,0	46,5	285,5	1,56	2,43	9,10	24,43
Argissolo Amarelo	0-0,20	857,0	12,4	130,6	1,31	1,43	9,60	25,67
	0,20-0,40	863,5	05,3	131,2	1,48	1,74	7,66	21,30
Cambissolo Háplico	0-0,20	596,6	42,4	361,0	1,49	2,63	15,35	22,35
	0,20-0,40	566,7	66,4	366,9	1,52	2,68	14,66	21,59

1 - Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); 2 - Método da densidade aparente e de partículas (EMBRAPA, 1997) e 3 - Método da porosidade total (EMBRAPA, 1997).

Tabela 3. Características químicas e quantidade de solo por coluna do Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico.

Solos	Prof. m	pH		Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>3</sup>	Al <sup>3</sup>	H+Al <sup>4</sup>	Na <sup>5</sup>	K <sup>5</sup>	P <sup>5</sup>	P rem <sup>6</sup>	SB	T	V	Solo/coluna
		H <sub>2</sub> O <sup>1</sup>	KCL <sup>2</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> -----					----- mg kg <sup>-1</sup> -----		-- cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> --		%	Kg	
Latossolo Amarelo	0-0,20	5,48	4,16	0,82	0,30	0,30	2,35	0,64	28,00	24,14	13,54	1,76	4,11	42,88	2,45
	0,20-0,40	4,99	4,02	0,42	0,20	0,67	2,40	0,70	23,67	17,91	5,92	1,32	3,72	35,47	2,45
Argissolo Amarelo	0-0,20	5,08	3,85	1,00	0,82	0,53	4,05	1,77	67,00	7,97	13,74	3,59	7,64	47,03	2,56
	0,20-0,40	4,98	3,85	0,42	0,20	0,70	3,20	1,30	36,67	25,08	10,20	1,93	5,13	37,58	2,48
Cambissolo Háplico	0-0,20	5,04	3,91	2,35	1,90	0,45	6,38	1,69	62,00	66,70	6,37	5,94	12,32	48,21	2,34
	0,20-0,40	4,87	3,80	1,70	2,70	0,75	6,60	1,37	25,00	6,60	6,48	5,77	12,37	46,65	2,38

1- Método (1:2,5); 2 –Método do KCL 1mol/L (1:2,5); 3 – Método extrator KCL 1mol/L (Embrapa, 1997); 4-Método acetato de cálcio a pH 7.0 (Embrapa 1997); 5 – Método extrator Mehlich-1 (Braga & Defelipo, 1974); 6-Alvarez V. et al. (2000).



Figura 1. Pinhão-mansô aos 25 dias após a emergência.

### **Análises de planta**

A matéria seca das plantas colhidas foi moída e, em seguida, digerida utilizando o método 3050B do EPA. O extrato obtido foi utilizado para determinação de macro (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu e Zn) no tecido da planta, seguindo métodos descritos por Malavolta et al. (1997). Portanto, a determinação de N foi realizada pelo método de Kjeldahl; P por meio da espectrofotometria com azul de molibdênio; Na e K por fotometria de emissão de chama; Ca, Mg, Cu e Zn pela espectrofotometria de absorção atômica (EAA). Para o cálculo do acúmulo de nutrientes foi empregado o produto da concentração do elemento químico pela matéria seca da parte da planta, obtendo-se assim as quantidades de nutrientes absorvidas pelas plantas.

### **Análises de solo**

As amostras de solos coletadas após a colheita do experimento foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e analisadas segundo metodologias propostas por Embrapa (1997) e Raij et al. (2001). O  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  e o  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  0,01 mol L<sup>-1</sup> foram determinados pelo método potenciométrico (relação solo:extrator de 1:2,5); Ca, Mg, Al foram extraídos em KCl (mol L<sup>-1</sup>); Al + H em acetato de cálcio tamponado a pH 7,0; concentrações assimiláveis de P foram determinadas colorimetricamente a partir da solução extratora Mehlich (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); concentrações trocáveis de Na e K foram

determinadas por fotometria de chama (extrato de Mehlich); o N-inorgânico (N-NH<sub>4</sub> + N-NO<sub>3</sub>) foi avaliado pelo método de Kjeldahl; o P remanescente foi determinado na solução de equilíbrio após agitação de uma amostra de solo de 5 cm<sup>3</sup> com 50 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> mmol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P, durante uma hora (Alvarez, et al, 2000).

### **Análise estatística**

Os dados do estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando a interação solo x tratamento foi significativa fixou-se uma variável e estudou-se os níveis da outra. O teste de médias de Duncan ( $p < 0,05$ ) foi utilizado para separar os efeitos dos tratamentos. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software SAS (SAS, 1996).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

As características químicas dos solos após o cultivo indicaram que o teor dos elementos foi dependente da interação tratamento x solo x profundidade (Tabela 4).

Os tratamentos aplicados influenciaram muito pouco o pH em H<sub>2</sub>O dos solos avaliados, encontrando-se valores significativamente menores no tratamento controle em relação aos demais no Argissolo (4,37) e Cambissolo (4,14), na profundidade de 0-0,20 m. Na camada de 0,20-0,40 m, valores de pH significativamente menores foram observados no tratamento ET+NP no Argissolo (4,58) e em ET+NPK no Latossolo (4,36) e Cambissolo (4,38). Estes valores de pH são classificados como moderada a elevada acidez (LOPES; ALVAREZ V., 1999). Vazquez-Montiel et al. (1996) e Santos (2004) atribuíram a redução do pH do solo, independente de irrigado com água de abastecimento ou efluente, à nitrificação de fontes de N do solo.

A aplicação dos tratamentos contendo efluente reduziu a CTC do Latossolo na camada de 0 a 0,20 m, mas não alterou a do Argissolo e do Cambissolo.

O uso dos tratamentos à base de ET, associado ou não à adubação suplementar, foi o que mais afetou a CTC na camada de 0-0,20 m do Latossolo. Nessa profundidade, apenas o controle (6,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) diferiu com comportamento superior aos demais. A alteração dos valores de CTC do Latossolo na camada de 0 a 0,20 m pode ser atribuída à mudança nos teores de C orgânico do solo e de sua influência na alteração dos valores de Al+H e SB do solo. A CTC deste mesmo solo, de 0,20-0,40 m de profundidade, foi afetada principalmente pelo efeito de ET+PK (3,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e ET+NPK (3,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), em comparação com ET+NP (5,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e o controle (5,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), sendo os demais tratamentos intermediários. O aumento da CTC, segundo Máximo (2005), representa uma maior possibilidade de aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, já que o solo tende a reter maior quantidade de íons Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup>, dentre outros, permitindo maior reserva de nutrientes para a planta. No presente estudo, o uso isolado de ET ou ET associado à complementação da adubação potássica reduziu a CTC comparada com o controle. Como não houve variação dos teores de Al+H pela



Tabela 4. Efeito dos tratamentos aplicados sobre o Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háplico.

Prof m	Solo	pH		Ca	Mg	Al	H+Al	Na	K	SB	T	V	C	MO	P	P. rem	N total
		H2O	CaCl2														
<b>CONTROLE</b>																	
0,0-20	Latossolo	4,90 aA	4,23 aA	1,7 bA	1,8 aA	0,1 bA	3,1 aA	0,13 aA	0,07 aA	3,7 abA	6,8 aA	55,04 abA	0,3 bB	0,6 bA	13 aA	50 abA	0,010 aA
	Argissolo	4,37 bA	4,05 aA	2,3 abA	0,8 bA	0,4 aA	3,1 aA	0,15 aA	0,11 aA	3,4 bA	6,5 aA	51,89 bA	0,5 aA	0,9 aA	15 aA	56 aA	0,003 aA
	Cambissolo	4,14 bA	4,40 aA	3,0 aA	1,7 abA	0,2 abA	2,9 aA	0,14 aA	0,21 aA	5,1 aA	8,1 aA	62,75 aA	0,6 aA	1,0 aA	15 aA	44 bA	0,000 bA
0,20-0,40	Latossolo	4,91 aA	3,59 aA	0,9 bA	2,3 aA	0,4 aA	2,3 bA	0,13 aA	0,01 bB	3,3 aA	5,6 abA	60,11 aA	0,2 bB	0,3 bB	10 aA	52 aA	0,006 aA
	Argissolo	4,47 aA	3,72 aB	1,6 abA	0,6 aA	0,4 aA	2,3 bB	0,07 bB	0,06 bB	2,3 bB	4,6 bB	50,51 aA	0,3 bA	0,5 bA	12 aA	52 aA	0,003 aA
	Cambissolo	4,43 aA	3,72 aA	2,5 aA	0,9 aA	0,5 aA	2,9 aA	0,09 aA	0,18 aA	3,6 aA	6,6 aA	54,87 aA	0,4 aA	0,8 aA	15 aA	45 bA	0,010 aA
<b>ET</b>																	
0,0-20	Latossolo	5,27 aA	3,61 bA	0,7 bA	0,7 aA	0,4 aA	2,4 aA	0,11 aA	0,05 aA	1,6 cA	3,9 bB	39,92 cA	0,2 bC	0,3 bA	14 aA	59 aA	0,006 aA
	Argissolo	4,99 aA	3,73 abA	1,5 bA	1,2 aA	0,3 aA	3,1 aA	0,09 aA	0,08 aA	2,8 bA	5,9 aA	47,48 bA	0,5 aA	0,8 aA	22 aA	54 aA	0,003 aA
	Cambissolo	4,59 aA	3,98 aA	2,7 aA	1,3 aA	0,2 aA	2,6 aA	0,12 aA	0,20 aA	4,4 aA	6,9 aA	63,04 aA	0,5 aA	0,9 aA	17 aA	44 aA	0,016 aA
0,20-0,40	Latossolo	4,59 aA	3,96 aA	0,9 bA	1,6 aA	0,3 abA	2,2 aA	0,08 bB	0,04 aA	2,6 bA	4,8 aA	55,75 abA	0,3 bA	0,4 bA	11 aA	51 abA	0,030 aA
	Argissolo	4,65 aA	3,64 aA	0,5 bB	0,9 aA	0,2 bB	2,5 aA	0,09 aA	0,08 aA	1,6 cB	4,1 aB	38,29 bA	0,2 bB	0,4 bB	15 aB	54 aA	0,006 aA
	Cambissolo	4,42 aA	3,74 aA	2,7 aA	1,1 aA	0,6 aA	1,9 aA	0,13 aA	0,24 aA	4,2 aA	6,2 aA	68,39 aA	0,4 aB	0,7 aB	10 aA	40 bA	0,000 bB
<b>ET+NP</b>																	
0,0-20	Latossolo	4,68 aA	4,13 aA	1,6 bA	0,2 bA	0,2 aA	2,1 aB	0,05 bB	0,05 aA	1,9 bA	4,0 bB	46,98 aA	0,4 aA	0,7 aB	21 aA	49 aA	0,006 aA
	Argissolo	4,40 aA	3,64 bA	1,8 abA	1,9 aA	0,3 aA	2,8 aA	0,13 aA	0,12 aA	4,0 aA	6,8 aA	59,38 aA	0,5 aA	0,8 aA	27 aA	49 aA	0,010 aA
	Cambissolo	4,46 aA	3,95 abA	2,5 aA	1,4 aA	0,3 aA	2,7 aA	0,09 aA	0,22 aA	4,3 aA	6,9 aA	61,31 aA	0,4 aA	0,7 aA	26 aA	46 aA	0,030 aA
0,20-0,40	Latossolo	4,89 aA	3,64 aA	0,9 bA	0,5 bA	0,3 aA	3,4 aA	0,10 aA	0,06 aA	1,7 bA	5,1 bA	32,26 bA	0,6 aA	1,0 aA	11 aB	51 aA	0,016 aA
	Argissolo	4,58 abA	3,65 aA	0,8 bB	0,6 bA	0,5 aA	2,0 bA	0,12 aA	0,10 aA	1,6 bB	3,6 cB	46,09 abA	0,3 aB	0,5 aB	21 aA	49 abA	0,030 aA
	Cambissolo	4,55 bA	3,79 aA	2,6 aA	1,6 aA	0,3 aA	2,9 abA	0,12 aA	0,34 aA	4,6 aA	7,6 aA	61,31 aA	0,0 aA	0,0 aA	11 aA	44 bA	0,000 aA
<b>ET+NK</b>																	
0,0-20	Latossolo	4,84 aA	3,91 aA	0,9 bA	0,7 aA	0,2 aA	2,6 bA	0,08 aA	0,07 bA	1,7 aA	4,3 bB	40,04 bA	0,4 bA	0,6 bA	21 aA	47 abA	0,003 aA
	Argissolo	5,23 aA	3,70 aA	1,6 abA	1,2 aA	0,3 aA	2,3 bA	0,11 aA	0,11 aA	2,9 aA	5,3 abA	57,92 aA	0,5 aA	0,9 aA	22 aA	50 aA	0,010 aA
	Cambissolo	4,77 aA	3,73 aA	2,8 aA	0,1 aA	0,4 aA	3,5 aA	0,12 aA	0,31 aA	3,4 aA	6,9 aA	48,85 abA	0,3 bA	0,5 bA	18 aA	42 bA	0,003 aA
0,20-0,40	Latossolo	4,37 aA	3,97 aA	0,5 bA	0,3 aA	0,4 aA	2,2 aA	0,10 aA	0,06 bA	0,9 bA	3,2 bA	31,71 bB	0,2 bA	0,4 abA	10 bA	46 aA	0,003 aA
	Argissolo	4,34 aA	3,66 bA	0,5 bB	0,9 aB	0,5 aA	2,8 aA	0,08 aA	0,06 bA	1,5 bB	4,4 bA	35,81 bB	0,2 bB	0,3 bB	13 aB	49 aA	0,006 aA
	Cambissolo	4,62 aA	3,76 abA	2,5 aA	1,1 aA	0,6 aA	2,9 aA	0,10 aA	0,21 aB	3,9 aA	6,9 aA	56,93 aA	0,4 aA	0,6 aA	10 bB	44 aA	0,000 aA
<b>ET+PK</b>																	
0,0-20	Latossolo	5,04 aA	3,95 aA	1,3 bA	1,1 aA	0,2 bA	1,9 bB	0,10 aA	0,21 aA	2,7 bA	4,6 bB	58,72 aA	0,2 bC	0,4 bA	31 aA	51 aA	0,010 aA
	Argissolo	4,47 aA	3,81 aA	1,6 bA	0,7 abA	0,4 aA	2,9 abA	0,15 aA	0,15 aA	2,7 bA	5,5 abA	47,53 aA	0,5 aA	0,9 aA	34 aA	47 aA	0,016 aA
	Cambissolo	4,87 aA	4,02 aA	2,3 aA	0,3 bB	0,4 aA	3,5 aA	0,13 aA	0,26 aA	3,0 aB	6,5 aA	46,79 aB	0,5 aA	0,8 aA	31 aA	51 aA	0,016 aA
0,20-0,40	Latossolo	4,75 aA	3,72 aB	0,4 bA	0,4 bB	0,9 aA	2,0 aA	0,09 aA	0,08 bA	1,0 cB	3,0 bA	33,36 bB	0,1 cB	0,3 cB	10 aA	45 aB	0,010 aA
	Argissolo	4,48 aA	3,76 aA	0,4 bB	1,4 aA	0,2 aA	3,1 aA	0,12 aB	0,09 bB	2,0 bA	5,1 abA	39,48 bA	0,3 bA	0,4 bA	13 aB	49 aA	0,000 bB
	Cambissolo	4,48 aA	3,96 aA	2,3 aA	2,1 aA	0,3 aB	1,9 aB	0,13 aA	0,34 aA	4,9 aA	6,9 aA	72,44 aA	0,5 aA	0,8 aA	12aB	31 aA	0,000 bB
<b>ET+NPK</b>																	
0,0-20	Latossolo	4,90 aA	3,9 aA	0,9 bA	0,7 bA	0,2 aA	2,0 bB	0,06 aA	0,16 aA	1,8 cA	3,9 cB	47,78 aA	0,4 bA	0,7 bA	32 aA	44 aA	0,000 aA
	Argissolo	4,57 aA	3,7 aA	2,4 aA	0,6 bA	0,2 aB	3,1 abA	0,09 aA	0,09 bA	3,2 bA	6,3 bA	50,86 aA	0,5 aA	0,9 aA	37 aA	50 aA	0,010 aA
	Cambissolo	4,64 aA	4,0 aA	2,3 aA	2,0 aA	0,3 aA	3,5 aA	0,11 aA	0,28 aA	4,7 aA	8,2 aA	56,99 aA	0,4 bA	0,7 bA	30 aA	43 aA	0,006 aA
0,20-0,40	Latossolo	4,36 bB	3,6 bA	0,4 bA	0,6 aA	0,5 aA	2,0 bA	0,09 aA	0,05 bA	1,1 aA	3,1 bA	35,19 aA	0,2 cB	0,3 cB	10 abB	45 abA	0,000 aA
	Argissolo	4,40 aA	3,5 cB	0,5 bB	1,9 aA	0,8 aA	2,5 abA	0,07 aA	0,08 bA	2,5 aA	5,0 abA	45,43 aA	0,3 bB	0,4 bB	16 aA	50 aA	0,013 aA
	Cambissolo	4,38 bA	3,8 aB	2,8 aA	1,0 aB	0,7 aA	3,3 aA	0,05 aA	0,10 aA	3,9aA	7,3 aA	54,08 aA	0,4 aA	0,8 aA	6 bB	36 bA	0,040 aA

Médias seguidas por diferentes letras minúscula, para comparação dos solos dentro de cada tratamento a uma profundidade fixa, e letra maiúscula, para comparação dos tratamentos a níveis fixo de solo e profundidade, diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

aplicação dos diferentes tratamentos, as alterações observadas na CTC do Latossolo podem ser atribuídas à variação dos teores de C e de SB.

A análise de C orgânico do Latossolo indicou que a adição de ET (0,2 %) e de ET+ PK (0,2 %) foram os tratamentos que mais afetaram os teores de C orgânico. Os teores de C orgânico dos tratamentos que foram suplementados com N (ET+NP, ET+NK e ET+NPK) foram semelhantes (0,4 %), enquanto que o controle (0,3 %) apresentou efeito intermediário, na profundidade de 0-0,20 m (Tabela 4). Os teores de C orgânico nesse mesmo solo, na profundidade de 0,20-0-0,40 m, indicaram que os tratamentos controle (0,2 %) e a adição de ET+PK (0,1 %) e ET+NPK (0,2 %) revelaram as menores concentrações, enquanto que ET+NP (0,6 %) foi o tratamento que apresentou maior percentual de C orgânico.

Esses resultados podem ser inseridos na afirmação de Duarte (2006), em que, embora muitos trabalhos tenham mostrado que ocorre aumento da matéria orgânica no solo por causa da irrigação com águas residuárias, vale ressaltar que pequenas alterações no total de MO ou C do solo são dificilmente detectáveis em curto prazo, em parte porque a variabilidade natural desses atributos do solo é geralmente elevada.

Os teores de C orgânico observados no Cambissolo, de 0-0,20 m de profundidade (Tabela 4), demonstraram que o tratamento controle (0,6 %) e a adição de ET (0,5 %) apresentaram certa relevância nesse solo, em comparação com os tratamentos que receberam ET suplementado com fertilizantes.

As aplicações de ET ( $1,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), ET+NP ( $1,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), ET+NK ( $1,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e ET+NPK ( $1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) resultaram nas maiores reduções de cátions básicos do solo (soma de bases), enquanto ET+PK ( $2,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) resultou em teores intermediários de SB em comparação com o tratamento controle ( $3,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Dentre os cátions básicos, as variações nos teores de Ca e Mg foram as que mais contribuíram para a alteração dos valores de SB.

Os teores de Na registrados nos diferentes tratamentos e solos nas profundidades estudadas foram relativamente baixos e muito distantes de 15% de saturação de Na, valor necessário para causar dispersão do solo. No presente estudo, os valores de saturação variaram de 1,3% (ET+NP) a 2,8% (ET) e 1,7% (ET) a 3,1 (ET+NK) no Latossolo, de 1,4% (ET+NPK) a 2,7% (ET+PK) e 1,4% (ET+NPK) a 3,3% (ET+NP) no Argissolo e de 1,3% (ET+NP e ET+NPK) a 2% (ET+PK) e 0,7% (ET+NPK) a 2,1% (ET) no Cambissolo, respectivamente nas

profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. De acordo com Santos (2004), maiores teores desse elemento têm sido observados em solos irrigados com efluente por longos períodos de tempo e quando a diferença de concentração de Na entre a água e o efluente são mais pronunciadas.

A aplicação dos tratamentos com ET e ET com complementos minerais elevou os teores de  $Al^{+3}$  no Latossolo na profundidade de 0-0,20 m, mas não teve nenhum efeito no Argissolo (0-0,20 m) e no Cambissolo (0,0-0,40 m). No Latossolo, o maior valor de  $Al^{+3}$  na camada de 0-0,20 m ocorreu sob efeito do ET ( $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e o menor no tratamento controle ( $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), com os demais tratamentos apresentando valores intermediários, demonstrando assim que o uso de ET favoreceu a acidez do solo. O maior valor de  $Al^{+3}$  na camada de 0,20-0,40 m no Latossolo ocorreu em ET+PK ( $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e o menor em ET ( $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e ET+NP ( $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). No Argissolo (0,20-0,40 m), o maior valor de  $Al^{+3}$  foi obtido no tratamento ET+NPK ( $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e o menor em ET ( $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e ET+PK ( $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), com valores intermediários observados nos tratamentos controle ( $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), ET+NP ( $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e ET+NK ( $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Os tratamentos com ET que receberam suplementação mineral de fósforo, ou seja, ET+PK ( $31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET+NPK ( $32 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foram os que apresentaram maiores teores de P assimilável no solo na camada de 0-0,20 m do Latossolo (Tabela 4), seguidos por valores intermediários em ET+NP ( $21 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET+NK ( $21 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto que os tratamentos controle ( $13 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET ( $14 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foram os que apresentaram os menores valores de P. Segundo Polglase (1997), a adição de P no solo pela aplicação de efluente não é excessiva e a capacidade de fixação específica desse nutriente pelos solos tropicais, juntamente com a remoção pela cultura, devem prevenir o risco de contaminação das águas.

No Argissolo, os teores de P de todos os tratamentos avaliados foram superiores ao do tratamento controle, na profundidade de 0-0,20 m. Os tratamentos ET+PK ( $34 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET+NPK ( $37 \text{ mg kg}^{-1}$ ) apresentaram as maiores concentrações de P e o controle ( $15 \text{ mg kg}^{-1}$ ) a mais baixa concentração. Esses incrementos no teor de P têm sido observados principalmente na camada superficial do solo (JOHNS; McCONCHIE, 1994; DEON, 2010). Os demais tratamentos comportaram-se como intermediários em termos de concentrações de P: ET ( $22 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ET+NP ( $27 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET+NK ( $22 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Al-

Nakshabandi et al. (1997), em cinco meses cultivando berinjela sob aplicação de efluente tratado, encontraram aumento significativo nos teores de fósforo do solo, resultados compatíveis com os encontrados neste estudo.

As variações de P no Cambissolo podem ser observadas nas duas profundidades estudadas. De 0-0,20 m, os efeitos de ET+NPK ( $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET+PK ( $31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foram superiores quando comparados com o tratamento controle ( $15 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os tratamentos ET+NP ( $26 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ET ( $17 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e ET+NK ( $18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) comportaram-se como intermediários. Esses valores concordam com Duarte (2006), cuja expectativa é de que solos que receberam água residuária apresentam maiores teores de fósforo devido ao aporte desse nutriente na água residuária. De 0,20-0,40m, o tratamento controle ( $15 \text{ mg kg}^{-1}$ ) obteve a maior concentração de P quando comparado com os demais tratamentos, destacando-se o ET+NPK ( $6 \text{ mg kg}^{-1}$ ), que apresentou a mais baixa concentração.

A massa seca de pinhão manso variou de 5,9 a 10,7, 8,3 a 17,3 e 7,3 a 11,8  $\text{g vaso}^{-1}$  no Latossolo, Argissolo e Cambissolo, respectivamente (Tabela 5). O efeito do efluente no crescimento e nutrição do pinhão manso dependeu do tipo do solo e do tratamento aplicado. A aplicação dos diferentes tratamentos em cada um dos solos estudados não influenciou a produção de massa seca de pinhão manso (Tabela 5). Independentemente do solo avaliado, não houve diferença entre a MS dos tratamentos controle e ET+NK, ET+PK e ET+NPK. Como indicado em diversos estudos (MELI et al., 2002; SANTOS, 2004), os efeitos da aplicação de ET na produção das culturas só se expressa após muitas aplicações. O efeito do efluente variou entre os solos avaliados: a aplicação de ET no pinhão manso no Argissolo resultou em produção de MS ( $14,7 \text{ g vaso}^{-1}$ ) superior à obtida no Cambissolo ( $11,8 \text{ g vaso}^{-1}$ ) que, por sua vez, foi maior do que a do Latossolo ( $7,6 \text{ g vaso}^{-1}$ ). Comportamento semelhante foi observado para o pinhão manso tratado com ET+NP em que a MS da cultura no Argissolo ( $17,3 \text{ g vaso}^{-1}$ ) foi superior à do Cambissolo ( $7,9 \text{ g vaso}^{-1}$ ), mas semelhante à do Latossolo ( $10,7 \text{ g vaso}^{-1}$ ) (Tabela 4). A produção de MS de pinhão manso no tratamento ET foi 2,7%, 77,1% e 20,4% maior que o controle no Latossolo, Argissolo e Cambissolo, respectivamente.

Tabela 5. Quantidades de nutrientes absorvidas e acumuladas pelo pinhão manso cultivado no Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Cambissolo Háptico.

Tratamento <sup>1</sup>	MS	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Na
	g vaso-1	-----mg vaso-1-----							
LATOSSOLO AMARELO									
Controle	7,4 aA	20,6 b A	18,7 aA	129,1 aA	0,09 aA	5,9 aA	8,3 bA	139,3 aA	26,1 aA
ET	7,6 aC	27,3 abA	19,9 aB	150,9 aB	0,10 aB	5,3 aB	5,0 bA	144,7 aB	23,6 aB
ET + NP	10,7 aAB	47,8 abB	24,6 aAB	284,9 aA	0,12 aB	5,3 aB	2,3 bB	125,3 aB	39,7 aA
ET + NK	9,3 aA	67,3 aA	22,6 aA	178,2 aA	0,11 aA	7,9 aA	28,7 aA	212,7 aA	33,1 aA
ET + PK	5,9 aA	39,5 abA	17,0 aA	149,9 aA	0,08 aA	3,2 aA	17,7 abA	116,7 aA	21,8 aA
ET + NPK	10,0 aA	44,8 abA	22,0 aA	178,4 aA	0,14 aA	6,8 aA	6,7 bA	213,0 aA	29,7 aA
ARGISSOLO AMARELO									
Controle	8,3 aA	41,0 aA	22,5 aA	288,7 aA	0,08 aA	7,4 aA	4,0 bA	164,3 aA	23,2 aA
ET	14,7 aA	74,9 aA	41,5 aA	223,5 aA	0,21 aA	15,3 aA	7,3 bA	277,0 aA	40,7 aA
ET + NP	17,3 aA	109,4 aA	40,8 aA	258,1 aA	0,19 aA	11,9 aA	17,3 aA	353,7 aA	43,1 aA
ET + NK	11,6 aA	67,1 aA	35,5 aA	198,6 aA	0,13 aA	8,1 aA	7,0 bA	137,3 aA	29,8 aA
ET + PK	15,2 aA	62,8 aA	31,3 aA	246,5 aA	0,16 aA	11,1 aA	7,3 bA	193,3 aA	36,3 aA
ET + NPK	12,3 aA	78,3 aA	36,3 aA	246,1 aA	0,14 aA	9,7 aA	7,7 bA	333,3 aA	35,7 aA
CAMBISSOLO HÁPTICO									
Controle	9,8 aA	46,4 abA	27,1 aA	338,7 aA	0,10 aA	8,3 aA	41,3 aA	166,7 aA	28,0 aA
ET	11,8 aB	72,3 aA	29,8 aB	252,5 aA	0,11 aB	9,2 aB	14,3 abA	206,3 aAB	27,4 aB
ET + NP	7,9 aB	28,2 bB	18,5 aB	180,5 aA	0,11 aB	6,6 aB	5,3 bB	103,7 aB	14,4 aB
ET + NK	9,5 aA	46,2 abA	21,5 aA	252,2 aA	0,06 aA	6,0 aA	6,3 bA	169,0 aA	19,1 aA
ET + PK	7,3 aA	42,5 abA	19,2 aA	231,3 aA	0,06 aA	4,9 aA	3,3 bA	95,7 aA	41,3 aA
ET + NPK	9,2 aA	54,4 abA	23,9 aA	224,9 aA	0,09 aA	6,8 aA	15,3 abA	170,7 aA	18,0 aA

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas, para comparação dos tratamentos dentro de cada tipo de solo e letras maiúsculas, para comparação dos tratamentos entre solos, diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Controle – água de abastecimento; ET – efluente tratado; ET+ NP – efluente tratado + nitrogênio e fósforo; ET + NK – efluente tratado + nitrogênio e potássio; ET + PK – efluente tratado + fósforo e potássio; e ET + NPK – efluente tratado + nitrogênio, fósforo e potássio.

Uma dos benefícios da adição de efluente tratado em sistemas agrícolas é a melhoria da nutrição das plantas, principalmente com relação a nitrogênio. O produto da massa seca pela concentração do nutriente no tecido da planta, doravante representado pela quantidade de nutrientes absorvidos pela planta, foi utilizado para determinar o efeito do ET na nutrição da planta (Tabela 5).

O teor de N no tecido vegetal tem elevada relação com o processo fotossintético. O N é um dos elementos chaves da clorofila, componente

bioquímico que permite que as plantas utilizem luz solar como fonte energética, favorecendo a absorção de nutrientes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A quantidade de N acumulada pelas plantas cultivadas no Latossolo variou de 20,6 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) até 67,3 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NK). O N acumulado pelo tratamento ET + NK (67,3 mg vaso<sup>-1</sup>) foi maior do que o do controle (20,6 mg vaso<sup>-1</sup>) mas semelhante ao N acumulado pelos demais tratamentos. A quantidade de N acumulada pelo pinhão manso no Argissolo variou de 41,0 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) a 109,4 mg vaso<sup>-1</sup> (ET + NP), entretanto sem haver diferença estatística entre as quantidades acumuladas pelos tratamentos. No Cambissolo, a quantidade de N acumulada variou de 28,2 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NP) a 72,3 mg vaso<sup>-1</sup> (ET); esses dois tratamentos diferiram entre si, porém foram semelhantes aos demais tratamentos (Tabela 5).

A adição de ET melhorou a nutrição de nitrogênio no pinhão manso no Latossolo (33 %), no Argissolo (83 %) e no Cambissolo (56 %), em comparação com o tratamento controle (irrigação com água). Esses resultados são semelhantes aos reportados em outros trabalhos (FASCIOLO et al., 2000; DUARTE, 2002). A falta de resposta da biomassa do pinhão manso tratado com ET deve ter resultado de desequilíbrio nutricional, ao invés da quantidade de N absorvida pela planta. O efeito da complementação do ET com adubação mineral na nutrição de N pelo pinhão manso foi dependente do tipo de solo. Por exemplo, no Latossolo a quantidade acumulada de N dos tratamentos ET+NP, ET+NK, ET+PK e NPK foram 75 %, 147 %, 45 % e 64 % maior do que a do tratamento ET. No Argissolo, só as plantas cultivadas em solo tratado com ET + NP (46 %) e ET + NPK (5 %) assimilaram mais N do que no solo com ET, enquanto no Cambissolo os tratamentos com suplementações de adubação mineral testadas reduziram o acúmulo de N de 25 % a 61 % em comparação com o tratamento ET. Esses resultados indicam que, no Cambissolo, é possível que algum elemento mais limitante do que os nutrientes estudados determinou as menores produtividades e nutrição do pinhão manso.

A quantidade de P acumulada pelas plantas não diferiu entre os tratamentos para cada classe de solo avaliada. A quantidade de P acumulado pelas plantas variou de 17,0 (ET+PK) a 24,6 mg vaso<sup>-1</sup> (ET + NP) no Latossolo, de 22,5 (controle) a 41,5 mg vaso<sup>-1</sup> (ET) no Argissolo e de 18,5 (ET+NP) a 29,8 mg vaso<sup>-1</sup> (ET) no Cambissolo.

A quantidade de P acumulada pelo pinhão manso para o tratamento ET no Argissolo foi maior do que no Latossolo e Cambissolo. A quantidade de P acumulada no Argissolo no tratamento ET+NP foi semelhante à do Latossolo, porém maior do que no Cambissolo. A quantidade de P acumulada pelas plantas é dependente da quantidade de P assimilável do solo e da capacidade de fixação de P de cada solo que, por sua vez, depende de fatores químicos (teor de Al-trocável) e mineralógicos (quantidade e qualidade de argila). O teor de argila do Cambissolo (361,0 e 366,9 mg kg<sup>-1</sup> de 0-0,20 e 0,20-0,40 m) foi quase três vezes maior do que a do Latossolo (130,6 e 131,2 mg kg<sup>-1</sup>). A capacidade de fixação do Cambissolo também pode ser verificada pela quantidade de P-assimilável e P-remanescente (Tabela 4). Apesar de o Cambissolo apresentar uma maior concentração de P (camada de 0 a 0,20 m), foi o solo que apresentou a menor de P-remanescente.

A quantidade de P acumulado pelo pinhão manso tratado com ET foi 6 % e 10 % maior do que a do tratamento controle, no Latossolo e Cambissolo, respectivamente; essa diferença aumentou para 84 % no Argissolo (Tabela 4). Diversos estudos (JOHNS et al., 1994; KOURAA et al., 2002; MELI et al., 2002) indicaram que um dos benefícios da aplicação de ET é a melhoria na nutrição de P. Os dados obtidos nesse estudo permitiram verificar que o efeito da aplicação do ET na nutrição de P é dependente de diversos fatores, dentre eles a fertilidade natural do solo, a capacidade de fixação de P e, certamente, a espécie vegetal cultivada.

A quantidade de K acumulada nas plantas cultivadas variou de 129,1 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) a 284,9 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NP) no Latossolo; 198,6 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NK) a 288,7 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) no Argissolo e 180,5 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NP) a 338,7 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) no Cambissolo. Para um dado solo, nenhum dos tratamentos testados afetou significativamente a quantidade de potássio acumulado (Tabela 5). Os teores elevados de K acumulados pelo pinhão manso no tratamento controle do Argissolo (288,7 mg vaso<sup>-1</sup>) e Cambissolo (338,7 mg vaso<sup>-1</sup>) foi cerca de duas e três vezes, respectivamente, maior do que a do Latossolo (129,1 mg vaso<sup>-1</sup>) e reflete as concentrações naturais do elemento no solo (Tabela 3). A aplicação de ET no pinhão manso resultou no maior acúmulo de K no Cambissolo (252,5 mg vaso<sup>-1</sup>) e Argissolo (223,5 mg vaso<sup>-1</sup>) em relação ao Latossolo (150,9 mg vaso<sup>-1</sup>). Os resultados encontrados para o tratamento ET

foram semelhantes aos relatados por Duarte (2006), que encontrou que a aplicação de efluente com e sem adubação complementar nitrogenada na cultura do pimentão não aumentou o teor de K no tecido foliar das plantas.

As baixas quantidades de Ca acumuladas pelas plantas e a baixíssima relação Ca:Mg devem ter sido responsáveis pela limitação do crescimento das plantas. O desenvolvimento e a produção das culturas em solos ácidos pode ser limitado pela deficiência de Ca e Mg (ERNANI et al., 1998). O estabelecimento de relações ideais para as plantas entre os cátions básicos parece ter sido desenvolvido a partir do trabalho de Bear e Toth (1948), que usaram vinte solos dos EUA e estabeleceram que as relações Ca:Mg, Ca:K e Mg:K ideais seriam de 6,5:1, 13:1 e 2:1, respectivamente. Atualmente, a maioria dos trabalhos considera relações Ca:Mg entre 4:1 e 8:1 como adequadas para as plantas. No presente estudo, a relação Ca:Mg variou de 1:100 a 1:300, ou seja, para todos os tratamentos avaliados a quantidade de Mg acumulada foi muito maior do que a de Ca. A semelhança de propriedades químicas, raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade entre esses nutrientes resulta em competição antagônica por sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes, ou seja, o excesso de cálcio no solo inibe a absorção de magnésio e vice-versa. O déficit de Ca provoca distúrbios significativos no pinhão manso, por ser o macronutriente mais proeminente no apoplasto, atuando na interligação das cadeias pécticas (MATOH; KOBAYASHI, 1998). Prado & Vidal (2008) relataram que a omissão de Ca reduziu o crescimento do milho (*Pennisetum thiphoideum*). O acúmulo de Ca nas plantas sob a aplicação de ET e ET+ NP no Argissolo (0,21 e 0,19 mg vaso<sup>-1</sup>) foi superior aos do Cambissolo (0,11 e 0,11 mg vaso<sup>-1</sup>) e Latossolo (0,10 e 0,12 mg vaso<sup>-1</sup>).

Embora o comportamento do Mg acumulado pelas plantas tenha sido semelhante ao do cálcio, as quantidades de Mg acumulados pelas plantas foram muito maiores. Os teores de Mg acumulados pelas plantas no Latossolo variou de 3,2 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+PK) a 7,9 mg vaso<sup>-1</sup> (ET + NK); no Argissolo, a quantidade acumulada variou de 7,4 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) a 15,3 mg vaso<sup>-1</sup> (ET) e no Cambissolo variou de 4,9 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+ PK) a 9,2 mg vaso<sup>-1</sup> (ET) (Tabela 4). A aplicação de ET e ET+NP resultou em maior acúmulo de Mg no Argissolo (15,3 e 11,9 mg vaso<sup>-1</sup>) em relação ao Cambissolo (9,2 e 6,6 mg vaso<sup>-1</sup>) e Latossolo (5,3 e 5,3 mg vaso<sup>-1</sup>).



A quantidade de Cu acumulado pelas plantas cultivadas no Latossolo variou de 2,3 (ET+NP) a 28,7 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NK), sendo esta semelhante ao tratamento ET + PK, mas superior aos demais tratamentos. No Argissolo, a quantidade de Cu na planta variou de 4,0 mg vaso<sup>-1</sup> (controle) a 17,3 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+NP), sendo esta significativamente maior do que a dos outros tratamentos. No Cambissolo, a quantidade de Cu na planta variou de 3,3 mg vaso<sup>-1</sup> (ET+PK) a 41,3 mg vaso<sup>-1</sup> (controle); a quantidade de Cu acumulada pelo tratamento controle foi estatisticamente semelhante à dos tratamentos ET e ET+NPK e superior à dos demais tratamentos.

Como para os nutrientes anteriores, a quantidade de Cu acumulado pelo pinhão manso foi também dependente do tipo de solo. A quantidade de Cu acumulado pelas plantas no tratamento ET+NP do Argissolo foi maior do que a do Latossolo e do Cambissolo (Tabela 5). Os resultados deste estudo discordam dos encontrados por Fonseca (2005), que não constatou alterações nos teores de cobre nas plantas, independente do tipo de água utilizada.

A aplicação de efluentes constitui uma fonte de nutrientes para as culturas, a exemplo do pinhão manso, mas a dependência total de nutrientes do efluente pode levar a carências nutricionais e reduzir a produtividade das culturas (MAURER; DAVIES, 1993). As maiores quantidades acumuladas de nutrientes foram encontradas no Argissolo e o desequilíbrio da relação Ca:Mg pode ter sido o fator mais limitante ao desenvolvimento da cultura.

## CONCLUSÕES

Dentre os aspectos negativos, em solos de textura mais arenosa, sem a complementação mineral, observou-se redução da CTC e redução da SB. Isso ocorreu, também, principalmente nos tratamentos com K adicional e também por redução dos teores de Ca e Mg.

Plantas cultivadas em Argissolo, apresentaram respostas positivas à aplicação de efluentes por curto período de tempo.

Dentre os aspectos positivos da aplicação do efluente, observou-se melhoria na nutrição do pinhão manso, principalmente na absorção de N. Entretanto, não foram observadas maiores diferenças no teor da matéria seca entre os tratamentos avaliados, possivelmente devido ao desequilíbrio nutricional de Ca:Mg.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AI-NAKSHABANDI, G.A.; SAQQAR, M.M; SHATANAWI, M.R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, v.34, p.81-94, 1997.

ALVAREZ V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.

BARRETO, A. N.; NASCIMENTO, J. J. V. R. do; NOBREGA, J. A. da; MEDEIROS, E. P. de; BEZERRA, J. R. C. Influência da água residuária sobre o crescimento da mamoneira BRS Energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. **Energia e ricinoquímica: resumos**. Salvador: SEAGRI; Embrapa Algodão, 2008. p. 140.

BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. **Soil Science**, Baltimore, v. 65, n. 1, p. 69-75, 1948.

BERNARDES, R. S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. **Revista DAE**, São Paulo, v.46, n.145, p.129-150, 1986.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Aplicação controlada de efluente tratado e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semi-árido nordestino**. Brasília, DF: 2007. 120 p.

CÁCERES, D. R.; PORTAS, A. A.; ABRAMIDES, J. E. **Pinhão-manso**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_3/pinhaomanso/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/pinhaomanso/index.htm). Acesso em:

19/12/2010.

CARRAMASCHI, E. C. **Análise do comportamento da demanda por água para irrigação na região do Córrego da Rocinha no Distrito Federal**. 98 p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 2000.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**, v.49, n.1, p.8-13, 2001.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos a Nutrição Mineral de Plantas. In: NOVAIS, R.F et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.91-132.

DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto**. 88 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

DUARTE, A. de S. **Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)** 187 p. Tese (Doutorado) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

DUARTE, A. S.; de LIMA, V. L. A.; van HAANDEL, A. C. Microbiological quality evaluation of pepper irrigated with treated wastewater. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING ; CIGR WORLD CONGRESS, 15., 2002, San Francisco. ASAE, 2002. 4 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.

Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A.; OLIVEIRA, L. C. Aumento do rendimento de grãos e de massa verde de milho ocasionado pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-280, 1998.

FASCIOLO, G., GABRIEL, E., LIPINSKI, V. E MECA, M. I. Riego com efluentes tratados: potencial fertilizante para um cultivo de ajo. CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000. **Anais...** (CD-Rom).

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. M.; KÖNIG, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 9, n. 1/3, p. 893-902, 2005.

FONSECA, A. F. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente tratado em um sistema solo-pastagem**. 2005. 126p. Tese de (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

JOHNS G.G.; McCONCHIE, D.M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. ii. effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.45, p.1619-1638, 1994.

KOURAA A.; FETHI, F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A.; QUAZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilisation pond system in Benslimane (Morocco). **Urban water**, v.4, p.373-378, 2002.

LIMA, S. M. S.; SOUSA, J. T.; ARAÚJO, H. W. C.; FIGUEIREDO, A. M. F.; CEBALLOS, B. S. O. Qualidade sanitária de efluentes tratados para reuso Agrícola. *Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal*, v. 6, n. 2, dez. 05.p.32-39.

LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. Apresentação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.21-32.

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

MATOH, T.; KOBAYASHI, M. Boron and calcium, essential inorganic constituents of pectic polysaccharides in higher plant cell walls. **Journal of Plant Research**, Califórnia, v.11, n.1, p.179-190, 1998.

MAURER, M. A.; DAVIES, F. S. Microsprinkler irrigation of young "Redblush" grapefruit trees using reclaimed water. **HortScience**, v. 28, p.1157-1161, 1993.

MÁXIMO, C. C. **Avaliação do Emprego de Efluentes Sanitários Tratados em Irrigação Ornamental no Distrito Federal**. 130 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

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 parameters in a citrus orchard under Mediterranean

condition. **The Science of the Total Environment**, v.285, p.69-77, 2002.

NASCIMENTO, M. B. H. do; LIMA, V. L. A.; BELTRAO, N. E. de M.; SOUZA, A. P. de. Utilização de água residuária na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

PIMENTA, H. C. D.; TORRES, F. R. M.; RODRIGUES, B. S.; ROCHA JÚNIOR, J. M. da. O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 22., Curitiba, 2002. p.1-8.

POLGLASE, P. J.; TOMPKINS, D.; STEWART, L. G.; FALKINER, R. A. Mineralization and leaching of nitrogen in an effluent- irrigated pine plantation.

**Journal of Environmental Quality**, v.24, p.911-920, 1995.

PRADO, R. M.; VIDAL, A. A. Efeito da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 208-214, 2008.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SAMPAIO, S. C. **Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias da bovinocultura e suinocultura**. 180p. Tese Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

SANTOS, A. P. R. dos. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado ,rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho Distrófico cultivado com capim-Tifton 85.** 79 p. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT** – procedure guide for personal computers, version 6.12 edition. Cary, NC: SAS Institute, 1999. 1028p.

SOUSA, J. T de; LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura.** Campina Grande: EDUEP, 2002, 103 p.

TSAGARAKIS, K. P.; DIALYNAS, G. E.; ANGEKALIS, A. N. Water resources management in Crete (Greece) including water recycling and reuse and proposed quality criteria. **Agricultural Water Management**, v.66, n.2, p.35-47, 2004.

**UNESCO.** Facts and Figures, Water and Health. International Year of Freshwater. 2003. Disponível em: [www.wateryear2003.org](http://www.wateryear2003.org). Acessado em: Janeiro de 2011.

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Water Science & Technology**, v. 33, p.355-362,1996.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a ampliação dos sistemas de tratamento de esgotos pelo PAC, urge a necessidade de monitorar os subprodutos oriundos dos esgotos, os quais podem ser reutilizados como fonte alternativa de nutrientes para as culturas e para o solo.

As avaliações realizadas neste estudo forneceram subsídios para indagações quanto ao uso de efluentes de esgotos na agricultura. Será que a aplicação de efluentes tratados para fins agrícolas resultaria em respostas positivas no crescimento e produção das culturas? Ou, até que ponto essa prática pode ser viável?

Com a implantação de unidades de tratamento de esgotos, o descarte dos efluentes geralmente é realizado nas proximidades do local de tratamento, com a possibilidade de ocorrência de solos com diferentes atributos químicos, físicos e mineralógicos. Entretanto, a adoção de uma complementação com fertilizantes minerais pode contribuir de forma decisiva para a preservação e mesmo aumento das concentrações naturais de C no solo, mesmo em solos de textura mais grossa, minimizando as chances de redução na CTC do solo, principalmente nos tratamentos que não receberem suplementação de adubação nitrogenada.

A adoção dessa prática requer ainda maiores estudos envolvendo variações de solos e de culturas, de forma a alcançar melhores recomendações de uso sustentável do efluente em agrossistemas.