



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

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE TRATADO DE ESGOTO
NOS ATRIBUTOS DO SOLO**

ADAILTON CONCEIÇÃO DOS SANTOS

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

ABRIL - 2011

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE TRATADO DE ESGOTO EM ATRIBUTOS DO SOLO

ADAILTON CONCEIÇÃO DOS SANTOS

Engenheiro Agrônomo

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: Ciências do Solo.

Orientadora: Dr^a. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co – orientador: Dr. Felizardo Adenilson Rocha

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

S237

Santos, Adailton Conceição dos.
Efeito da irrigação com efluente tratado de esgoto nos atributos do solo / Adailton Conceição dos Santos. – Cruz das Almas-Ba, 2011.
55f.; il.

Orientadora: Maria de Fátima da S. P. Peixoto.
Co-orientador: Felizardo Adenilson Rocha.

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

1.Latossolos - Recôncavo (BA). 2. Esgotos – Irrigação agrícola. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

**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
ADAILTON CONCEIÇÃO DOS SANTOS**

Prof^a Dr. Maria de Fátima da S. P. Peixoto (UFRB/CCAAB)
(Orientadora)

Prof^a Dr^a Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado
(UFRB/CCAAB)

Prof. Dr. Francisco de Sousa Lima (IFECT/CE)

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências
Agrárias em de de .
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em de de
.....

Ao meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, minha torre forte, minha fonte de vida, sempre fiel, mostrando a cada ato o quanto me ama e me ensinando a confiar e crer, que Ele é recompensador daqueles que o buscam.

“Posso todas as coisas naquele que me fortalece” (FL 4. 13).

OFEREÇO

A minha querida mãe Crispina (*in memórian*)
e a minha futura esposa Fernanda.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, aquele que me acolheu em todas as dificuldades.

A todos os meus familiares, em especial a minha mãe Crispina (*in memórian*) pelo apoio irrevogável, na busca de conhecimento.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, pela oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante o curso;

Aos professores Prof. Dr. Joelito de Oliveira Rezende, Prof. Dr. Washington Luiz Cotrin Duete, Prof. Dr. Luciano da Silva Souza pelo conhecimento transmitido em especial ao Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga que me auxiliou na estatística do trabalho;

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, Erasto, Edvaldo, Danívio, Zé Augusto, Joctã e Marcela pela amizade, pelo incentivo e pela colaboração no desenvolvimento do trabalho em especial nosso colega e irmão Cácio que Deus nos deu a honra de conhecer;

Aos estagiários pela colaboração e dedicação na realização deste trabalho;

Aos funcionários da UFRB, pelo apoio durante a realização do curso.

Enfim, a todos que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6
Capítulo 1	
ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO.....	11
Capítulo 2	
ATRIBUTOS MICROBIANOS DE SOLO TRATADO COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO.....	36
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55

EFEITO DA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE TRATADO DE ESGOTO NOS ATRIBUTOS DO SOLO

Autor: Adailton Conceição dos Santos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co – orientador: Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha

RESUMO: O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influencia da disposição do efluente tratado de esgoto doméstico nos atributos químicos, físicos e microbianos de um Latossolo Amarelo distrocoeso cultivado com mamoneira anã. A pesquisa foi realizada a partir de dois experimentos. O primeiro foi realizado a campo e estabelecido em delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas. Para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo foi amostrado nas profundidades 0,0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m. Os tratamentos consistiram de irrigação com diluições do efluente tratado de esgoto (0; 25; 50; 75 e 100%) . As principais alterações observadas no solo em resposta a disposição do efluente tratado de esgoto (ETE) foram: aumentos da acidez potencial em profundidade, da argila dispersa em água em superfície, da percentagem de sódio trocável, da condutividade elétrica e densidade do solo. Também verificou-se reduções de fósforo, potássio, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado. O efluente utilizado no estudo não apresentou grau de restrição à ameaça de sodicidade. No entanto apresentou grau de restrição ligeira e moderada para a ameaça de salinização do solo. Para avaliação dos atributos microbianos foi realizado um segundo experimento em condição de laboratório utilizando-se delineamento inteiramente casualizado. Amostras de solo foram coletadas na área do primeiro experimento na profundidade de 0,0-0,10m e incubadas com os tratamentos citados anteriormente e analisados nas datas pré-estabelecidas. Os resultados revelam aumento do BMS-C, redução do qCO₂ e manutenção da respiração basal no período avaliado. Apesar de não ter sido observada variação significativa da respiração basal, verificou-se elevada atividade microbiana no solo tratado com efluente de esgoto.

Palavras-chave: Latossolo; água residuária; atributos do solo.

EFFECT OF IRRIGATION WITH TREATED SEWAGE EFFLUENT ON SOIL ATTRIBUTES

Author: Adailton Conceição dos Santos

Advisor: Dr. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co - Advisor: Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha

ABSTRACT: The aim this study was to evaluate the influence of the provision effluent of treated domestic sewage on the chemical, physical and microbial attributes of a Oxisol cultivated with castor bean dwarf. The research was conducted from two experiments. The first was conducted in the field and established in a randomized block experimental design with split plots. To evaluate the physical and chemical properties of soil was sampled at depths from 0.0 to 0.20 and from 0.20 to 0.40 m. The treatments consisted of irrigation with treated sewage effluent dilutions (0, 25, 50, 75 and 100%). The major changes observed in the soil in response to application of treated sewage effluent (TSE) consisted on: increases the potential acidity at depth, water dispersible clay at surface, percentagem exchangeable sodium, electrical conductivity, soil density. It was also observed reductions in phosphorus, potassium, macroporosity and saturated hydraulic conductivity. The effluent used in the study not presented degree of restriction to the threat of sodicity. However presented degree of restriction slight and moderate for threat of soil salinization. To evaluate the microbiological attributes of soil, was conducted a second experiment in the laboratory using a completely randomized design. Soil samples were collected from first experiment at a depth of 0.0-0.10 m in March 2010 and incubated with the treatments mentioned above and analyzed on preset dates. The results show increased of BMS-C, reduction of qCO_2 and maintenance of respiration on period evaluated. Although not observed significant variation in basal respiration, there was a high microbial activity in the soil treated with sewage.

Key-words: Oxisol; wastewater; soil attributes.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais tem exigido das autoridades e das empresas públicas e privadas, atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais. Dentre os recursos, os hídricos, que até a geração passada eram considerados fartos, tornaram-se limitantes e comprometidos, em virtude da alta poluição em algumas regiões, necessitando, portanto, de rápida recuperação (BETTIOL, 2006).

Considerado uma das principais fontes de poluição, o esgoto doméstico proveniente dos centros urbanos é responsável por considerável contaminação dos recursos hídricos superficiais quando neles inexitem ou dispõem de sistemas de tratamento parcial dos dejetos. Quando submetidos a estações de tratamento de esgoto dois subprodutos são gerados: o lodo de esgoto e o efluente tratado de esgoto (ETE), geralmente lançado em cursos d'água. Sistemas completos, apesar de onerosos são eficientes, resultando em boa qualidade na remoção de poluentes. O ETE, portanto, retorna ao ambiente compondo a vazão do corpo d'água sem causar degradação ambiental. No entanto em países menos desenvolvidos, onde o esgoto dos municípios, ou são dispostos in natura, ou recebem tratamento incompleto, o ETE parcialmente tratado retorna em condição imprópria contribuindo para a contaminação do corpo d'água (SILVA, 2008).

A destinação deste resíduo para um setor que aceite águas com qualidades inferiores é uma alternativa capaz de apoiar a elaboração de políticas públicas e ambientais, e complementar os esforços voltados à melhoria dos recursos hídricos e ambientais (SILVA, 2008). Dentre as tecnologias disponíveis para o tratamento de água residuária de origem doméstica ou destino final dos efluentes líquidos, destaca-se o método de disposição de ETE no solo por meio da irrigação de culturas. A técnica se baseia na grande capacidade que o solo apresenta de decompor ou inativar materiais potencialmente prejudiciais ao

ambiente, através de reações químicas e da multiplicidade de processos microbiológicos. Os íons e compostos podem ser inativados por reações de adsorção, complexação ou precipitação; já os microrganismos presentes no solo podem decompor os mais diversos materiais orgânicos, desdobrando-os em compostos menos tóxicos ou atóxicos (COSTA et al., 2004) salomão.

O reuso agrícola de efluentes desponta como alternativa mais econômica para a disposição ambiental desse resíduo (ASANO et al., 1996), utilizado em diversos países (FILIP et al., 1999). Contudo, a utilização extensiva e continuada de efluentes na agricultura resulta em alta carga de sais minerais dissolvidos e sólidos suspensos, podendo promover alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (FILIP et al., 1999; BALKS et al., 1998; BOND, 1998; FRIEDEL et al., 2000) e também no ambiente (AL-NAKSHABANDI et al., 1997). As variações nas condições locais de solo, cobertura vegetal e composição do efluente são fatores determinantes da extensão dessas alterações, modificando (MOHAMMAD & MAZAHREH, 2003) ou não (MANCINO & PEPPER, 1992; WANG et al., 2003) a qualidade do solo. Logo se justifica a necessidade de estudos para, não só, regulamentar a prática como tornar de conhecimento público as potencialidades e riscos.

Estudos realizados revelam que a colocação de ETE no solo através da irrigação de plantas cultivadas tem sido uma das alternativas de baixo custo para a disposição deste subproduto no ambiente (ASANO et al., 1996). Os efluentes que causam impacto negativo ao ambiente, quando lançados diretamente nos corpos d'água, podem ser utilizados como fonte de água e, segundo suas características químicas, como fonte de nutrientes para o sistema solo-planta. Desse modo, a disposição de ETE no sistema solo-planta se constitui numa das alternativas mais fáceis para mitigar a problemática emergente de escassez de água e poluição dos mananciais (POLLICE et al., 2004), proporcionando benefícios econômicos e ambiental (DARWISH et al., 1999).

O ETE caracteriza-se por ser um material líquido que possui algumas características peculiares diferindo-o da água convencional. As principais diferenças em relação à água consistem na presença de matéria orgânica expressa pela demanda química de oxigênio (DQO – quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO – quantidade de oxigênio requerida para degradação microbiana de

compostos orgânicos nas águas residuárias a 20°C), macro e micronutrientes essenciais e não essenciais às plantas e patógenos (FONSECA, 2001).

No passado, o caminho mais fácil para a disposição desse resíduo, eram rios, lagos, mares ou recobrimdo o solo sem as devidas considerações sobre as consequências de risco a saúde e danos ambientais. (FEIGIN et al., 1991). Assim, a disposição de resíduos ricos em nutrientes, principalmente em N e P, nos rios, oceanos e outros corpos d'água, podem levar à eutroficação de águas, contribuindo para floração de algas tóxicas azuis-verdes (DORICH et al., 1984). Entretanto, nos anos recentes, tem havido incremento da pressão populacional para que essa prática seja evitada (BOND, 1998). A aplicação ao solo e a reutilização de efluentes tratados tem sido uma solução efetiva do custo potencial para o problema de disposição dos efluentes no ambiente (DARWISH et al., 1999).

A utilização de efluente tratado de esgoto doméstico (ETE) no processo de tratamento por disposição no solo tem como objetivo utilizar o sistema solo-planta para a degradação, assimilação e imobilização dos constituintes do efluente, e dos produtos de sua transformação no meio. Neste caso, o solo exerce normalmente, papel significativo na disposição do ETE, atuando como depósito e meio de tratamento para os diferentes constituintes químicos deste efluente (REZENDE, 2003).

As principais alterações descritas para os solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos sobre o carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007a).

A presença de alguns sais, principalmente o Na^+ , em excesso nos ETEs agricultura é, contudo, o fator limitante para a sua disposição no solo (WHO, 2004). O aumento nos teores de Na^+ trocável corresponde a uma das alterações mais característica da utilização de ETE na agricultura, sendo relatados em diferentes sistemas de cultivo (KARLEN et al., 1976; FEIGIN et al., 1991), e principalmente em experimentos de longa duração (QUIN; WOODS, 1978; BALKS et al., 1998). No entanto, o aporte e a dinâmica do Na^+ em solos irrigados com ETE depende de certos fatores, tais como: concentração do elemento no efluente; magnitude da absorção pelas plantas; intensidade do processo de lixiviação que ocorre no sistema solo; permeabilidade do solo; dinâmica dos outros íons, como

cálcio, magnésio, carbonatos e bicarbonatos (SANTOS, 2004). O nível de sódio relativo aos outros cátions na água de irrigação é quantificado a partir da razão de adsorção de sódio (RAS). A partir da combinação da salinidade elevada relativa e a RAS espera-se causar um aumento na porcentagem de sódio trocável (PST, a porcentagem de cátion trocável ocupado por sódio) no solo. Com o aumento da PST aumenta o risco de deterioração das propriedades físicas do solo, especificamente a dispersão de argila com subsequente desestruturação do solo a partir da quebra dos agregados, bloqueando os poros, e diminuindo a permeabilidade do solo. Esse processo ocorrendo periodicamente pode acumular água no solo prejudicando o crescimento das plantas, diminuir a lixiviação, e promover a salinização do solo (BOND, 1998). Entretanto, apesar dos riscos potenciais, a disposição de ETE no sistema solo-planta, quando bem planejada pode trazer benefícios, tais como fonte de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor.

No Brasil, a disposição no solo do ETE para fins agrícolas ainda é incipiente. Conseqüentemente existem poucas informações concernentes aos efeitos de sua disposição no solo (FONSECA, 2001). Entretanto algumas pesquisas têm sido realizadas. Em estudo realizado em área onde foram cultivadas em diferentes períodos as culturas de café, cana-de-açúcar, girassol e milho, irrigados com ETE no período de seis anos de aplicação. SILVA, (2008) verificou que o maior problema constatado corresponde ao excessivo aporte de Na^+ no agrossistema, ocasionando a dispersão de argilas nos solos da área experimental. Contudo, esse impacto pode ser facilmente remediado a partir da aplicação de condicionadores no solo, como o gesso agrícola.

Avaliando alterações físicas e químicas do solo e o estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem doméstica no período de 270 dias. MEDEIROS, (2005) verificou que quanto ao aspecto de salinidade, a água residuária de origem doméstica não apresentou grau algum de restrição de uso, porém, avaliando-se quanto ao risco potencial de provocar problemas de infiltração no solo, a água apresentou restrição de uso, de ligeira a moderada. FERREIRA, (2008) avaliando os riscos de salinização e contaminação do solo em área cultivada com cafeeiro e fertirrigada com efluente de esgoto doméstico, verificou que a utilização de efluente na agricultura apresentou potenciais riscos de salinização do solo. A sua utilização não pode ser baseada

na necessidade hídrica das culturas, considerando-se o esgoto doméstico como uma fonte de água, mas sim nos nutrientes que podem oferecer riscos de contaminação ambiental, como os sais, dentre os quais o que desempenha papel mais importante é o sódio.

De acordo com HESPANHOL, (2002) a aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma opção factível para aumentar a disponibilidade de água, estando os maiores benefícios dessa forma de reúso associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influencia da disposição do efluente de esgoto doméstico tratado em uma área cultivada com mamoneira anã, nos atributos do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

BETTIOL, W.; CAMARGO O. A. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. 1ª edição, Jaguariúna, SP 2006. 349p. Embrapa Meio Ambiente.

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

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.45, p.217-28, 2000.

BRANDAO, L.P.; MOTA, S.; MAIA, L.F. Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6., 2002, Vitória, ES. **Anais**. Vitória, ES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002

COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P. A. **Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. Fundamentos de Química do Solo**. 2ª. Ed./ Egon José Meurer, Editor. Porto Alegre: Gênese, 2004

DARWISH, M.R.; EL-AWAR, F.A.; SHARARA, M.; HAMDAR, B. Economic environmental approach for optimum wastewater utilization in irrigation: a case study in Lebanon. **Applied Engineering in Agriculture** , v.15, p.41-48, 1999.

DORICH, R.A.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Algal availability of phosphorus in suspended stream sediments of varying particle size. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.82-86, 1984.

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

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with Treated Sewage Effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991.

FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS, T.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent- irrigated soils. **Soil Science**, v.125, p.248-254, 1978.

FERREIRA, D. C. **Fertirrigação do cafeeiro com esgoto doméstico – riscos de salinização e contaminação do solo**. 2008. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

FILIP, Z.; KANAZAWA, S.; BERTHELIN, J. Characterization of effects of a long-term wastewater irrigation on soil quality by microbiological and biochemical parameters. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tokyo, v. 162, p. 409-413, 1999

FONSECA, A.F., MELFI, A.J., MONTEIRO, F.A.; MONTES, C.R.; ALMEIDA, V.V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton

85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p. 328-336, 2007a.

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

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

HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide costbenefit analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 66, p.133-119, 1997.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos, **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** V. 7, p. 75-95, 2002

HESPANHOL, I.; PROST, A. WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality, **Water Research**, London, v. 28, p. 119 - 124, 1994

KARLEN, D.L.; VITOSH, M.L.; KUNZE, R.J. Irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.5, p.269-273, 1976.

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

MEDEIROS, S. S. **Alterações física e químicas do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem**

doméstica. 2005. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

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

PALMER, M; BERNHARDT, E; CHORNESKY, E. Ecology for a crowded planet. **Science**, Washington, v. 304, p. 1251-1252, 2004.

POLLICE, A.; LOPEZ, A.; LAERA, G.; RUBINO, P.; LONIGRO, A. Tertiary filtered municipal wastewater as alternative water source in agriculture: a field investigation in Southern Italy. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.324, p.201- 210, 2004.

QUIN, B.F.; WOODS, P.H. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. I. Nutrient status of soil and pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.21, p.419-426, 1978.

REZENDE, A. A. P. **Fertirrigação do Eucalipto com Efluente Tratado de Fábrica de Celulose Kraft Branqueada**. 2003. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

SANTOS, A.P.R. **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**. 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVA, R. R. **Avaliação sócio-ambiental do uso de efluente de esgoto tratado na irrigação de culturas no Município de Lins – SP**. 2008. 123 p. Dissertação (Mestrado em Agrônoma) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

TANJI, K.K. Irrigation with marginal quality waters: issues. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.123, p.165-9, 1997.

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

WHO. **Health Guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva, Technical Report Series No. 74. World Health Organization, 2004.

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO¹

¹ Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Agriambi

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO IRRIGADO COM EFLUENTE TRATADO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Autor: Adailton Conceição dos Santos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co – orientador: Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha

RESUMO: O estudo teve por objetivo avaliar a influência da irrigação com efluente tratado de esgoto doméstico, em atributos físicos e químicos do Latossolo Amarelo distrocoeso, cultivado com mamoneira. O experimento foi realizado no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CCAAB/UFRB), no município de Cruz das Almas-BA, no período de dezembro de 2009 a abril de 2010, utilizando-se o genótipo de mamoneira EBDA MPB01. Os tratamentos consistiram de irrigação com diluições do efluente de esgoto doméstico tratado (ETE): T1 -100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% água do poço (AP); T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP e T5 – NPK + AP. As avaliações foram realizadas em duas faixas de profundidade (0,0-0,20; 0,20-0,40 m). Foram avaliados os seguintes atributos: argila dispersa em água (ADA), densidade do solo (Ds), percentagem da macro e microporosidade, volume total poros (VTP) e condutividade hidráulica em meio saturado (K_0), condutividade elétrica (CE), razão de adsorção de sódio (RAS), percentagem de sódio trocável (PST), pH, fósforo (P), potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), acidez potencial, matéria orgânica (M.O). As principais alterações observadas no solo em resposta a disposição do ETE foram: aumentos da acidez potencial em profundidade, da ADA em superfície, da PST, da CE, da Ds e reduções de P, K^+ , macroporosidade e da K_0 . O efluente utilizado no estudo não apresentou grau de restrição à ameaça de sodicidade. No entanto apresentou grau de restrição ligeira e moderada para ameaça de salinização do solo.

Palavras-chave: disposição; solo; água.

PHYSICAL ATTRIBUTES AND CHEMICAL SOIL IRRIGATED WITH DOMESTIC TREATED SEWAGE EFFLUENT

Author: Adailton Conceição dos Santos

Adviser: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co-adviser: Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the influence of irrigation with treated domestic sewage effluent in physical and chemical properties of Oxisol cultivated with castor bean. The experiment was conducted at the experimental field of Center Sciences Agricultural, Environmental and Biological of the University Federal Recôncavo of Bahia (CCAAB/UFRB), in Cruz das Almas/BA, from December 2009 to April 2010, using the genotype of castor bean EBDA MPB01. The treatments consisted of irrigation with treated sewage effluent dilutions (TSE): T1-100% TSE, T2 - 75% TSE + 25% well water (WW), T3 - 50% TSE + 50% WW, T4 - 25% TSE + 75% WW and T5 - NPK + WW. Evaluations were performed on two tracks deep (0.0 to 0.20, 0.20 to 0.40 m). Were evaluated the following attributes: water dispersible clay (ADA), soil density (SD), percentage of macro and microporosity, total pore volume (TPV) and soil hydraulic conductivity in saturated media (K_0), electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), exchangeable sodium percentage (ESP), pH, phosphorus (P), potassium (K^+), sodium (Na^+), calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}), potential acidity, organic matter (OM). The major changes observed in the soil in response to provision of TSE: Increases the potential acidity at depth, the ADA on the surface, the PST, the EC, the SD, and reductions of P, K^+ , macroporosity and K_0 . The effluent used in the study not presented degree of restriction to the threat of sodicity. However presented degree of restriction slight and moderate for threat of soil salinization.

Key-words: provision, soil, water

INTRODUÇÃO

Considerado uma das principais fontes de poluição, o esgoto doméstico proveniente dos centros urbanos é responsável por considerável contaminação dos recursos hídricos superficiais quando neles inexitem ou dispõem de sistemas de tratamento parcial dos dejetos. Quando submetidos a estações de tratamento de esgoto dois subprodutos são gerados: o lodo de esgoto e o efluente tratado de esgoto (ETE), geralmente lançado em cursos d'água. Sistemas completos, apesar de onerosos, são eficientes resultando na remoção dos poluentes. O ETE, portanto, retorna ao ambiente compondo a vazão do corpo d'água sem causar degradação ambiental. No entanto em países menos desenvolvidos, onde o esgoto dos municípios, ou são dispostos in natura, ou recebem tratamento incompleto, o ETE parcialmente tratado retorna em condição imprópria contribuindo para a contaminação do corpo d'água (Silva, 2008).

Nos últimos anos pesquisas tem sido realizada com o objetivo de encontrar tecnologias adequadas e de baixo custo para a disposição de ETE em um setor que aceite águas com qualidades inferiores (Ribas & Neto, 2008). Dentre as tecnologias disponíveis para o tratamento ou destino final dos efluentes líquidos, destaca-se o método de disposição de água no solo, por meio da irrigação de culturas, cuja técnica vem sendo utilizada em grande escala em várias locais do mundo em função do aumento da demanda por água potável (Medeiros, 2005).

Os possíveis efeitos da aplicação de ETE nos atributos químicos e físicos do solo, normalmente se pronunciam após longo período de aplicação, dado pelos parâmetros que definem sua composição física e química, pelas condições de clima e pelo tipo de solo (Medeiros, 2005). Estudando alterações químicas no solo decorrente da aplicação de ETE. Falkiner & Smith (1997) observaram aumento no valor de pH de solos irrigados com efluente e diminuição do teor de Al^{+3} devido ao aumento dos cátions trocáveis no solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+}) e da alcalinidade adicionados pelo efluente de esgoto tratado. Os mesmos autores também relataram que a capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) aumentou, e tal efeito foi atribuído à substituição de íons H^{+} na superfície das argilas devido à adição de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} e HCO_3^{-} pela irrigação com efluente.

Jnad et al. (2001b), relatam que as principais alterações nos atributos físicos do solo decorrentes da aplicação de água residuária de origem doméstica tratada via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em áreas cultivadas com grama foi o incremento na capacidade de retenção de água no solo, atribuído ao decréscimo de macroporos e ao acréscimo de microporos influenciando, assim, a condutividade hidráulica do solo saturado. A redução no tamanho de poros foi atribuída à acumulação de sólidos em suspensão, matéria orgânica e decréscimo da concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, em relação à de Na^+ , que causou a dispersão das partículas de argila

A concentração de íons específicos como Na^+ e HCO_3^- encontrados na água residuária de esgoto doméstico pode, quando aplicada ao solo, resultar na deterioração de sua estrutura por meio do fenômeno conhecido por dispersão de argila, ocasionando como consequência, a redução da permeabilidade do solo (Feigin et al. 1991). Os autores afirmam ainda que, devido à abundância de partículas orgânicas e inorgânicas existentes na água, os poros da superfície do solo são obstruídos, reduzindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica, de 20 a 30%, sendo que os solos arenosos são mais susceptíveis ao entupimento que os solos argilosos.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado, nos atributos físicos e químicos do Latossolo Amarelo distrocoeso, cultivado com mamoneira.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas/BA. O clima de acordo com a classificação de Thornthwaite é do tipo C1 (seco e sub-úmido). A precipitação pluviométrica média anual é de 1026 mm, sendo distribuídas diferentemente em duas estações bem definidas: período úmido (março a agosto) com 63% da pluviosidade anual, e período seco (setembro a fevereiro), com temperatura média anual de 24,2 °C (Almeida, 1999).

A área experimental era explorada inicialmente com pasto de capim *Brachiaria decumbens*, com preparo convencional na sua formação. O solo foi

classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (Embrapa, 2006), Tb, textura média à argilosa (Ribeiro et al., 1995). A área experimental foi caracterizada, por meio de amostragens realizadas no solo em diversos pontos para determinação de seus atributos físicos e químicos nas faixas de profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m que representaram a condição inicial do solo (C_0).

Para as avaliações físicas foram abertas trincheiras para retirada das amostras indeformadas, coletadas através de anéis volumétricos.

Nos Laboratórios de Física e de Fertilidade do Solo, ambos do CCAAB - UFRB foram determinados os atributos físicos: argila dispersa em água (ADA), densidade do solo (D_s), condutividade hidráulica em meio saturado (K_0), porosidade total (PT) percentagem de macro e microporosidade, percentagem de areia silte e argila e químicos: condutividade elétrica (CE), pH, P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al, matéria orgânica (MO) e calculada a razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST), capacidade de troca catiônica (T), soma de bases (SB) e saturação por bases (V) conforme pode ser observado nas Tabelas 1 de acordo com metodologias descritas em EMBRAPA, (1997).

Com base na análise química do solo realizou-se a calagem seguindo a Recomendação para Uso de Corretivos e Fertilizantes do estado de Minas Gerais (CFSEMG) – 5ª aproximação (1999). A calagem foi realizada em meados de setembro de 2009 de acordo com o método da saturação por base (60%), aplicando-lhe de uma só vez, 1.310 kg ha^{-1} de calcário dolomítico.

O experimento teve início em dezembro de 2009 e foi concluído em abril de 2010, realizando-se a coleta do solo após esse período, nas faixas de profundidade de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. As amostras de solo foram coletadas paralelamente à linha de plantio, nos dois lados, a uma distância de aproximadamente 0,10 m do caule da mamoneira. Estas foram realizadas nas plantas centrais de cada unidade experimental, totalizando oito amostras simples, para formar uma composta.

A variedade utilizada foi a EBDA MPB 01, de porte anão, precoce (primeiro ciclo de aproximadamente 120 dias). As sementes foram fornecidas pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) - Estação Experimental de Itaberaba-BA. No plantio, utilizou-se 3 sementes por cova semeadas em espaçamento de 1,0 m x 0,5 m, em cada uma das 8 linhas, com posterior desbaste, totalizando assim uma área total de 380 m^2 (19 m x 20 m).

Aproximadamente 30 dias após o plantio, foi realizado o desbaste, manualmente, deixando-se uma planta por cova, com seleção visual daquela mais promissora, aplicando-se os tratamentos.

Tabela 1. Caracterização física e química do Latossolo Amarelo distrocoeso.

Atributos:		Faixa de profundidade:	
Físicos	Unidade	0,0 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m
VTP	(cm ³ cm ⁻³)	33,4	24,8
Ma	(%)	50,9	32,2
Mi	(%)	48,3	67,8
Ds	(g cm ⁻³)	1,6	1,7
K ₀	(cm h ⁻¹)	79	28,5
ADA	(%)	11,5	7,6
Areia	(g Kg ⁻¹)	703	703
Silte	(g Kg ⁻¹)	76	76
Argila	(g Kg ⁻¹)	221	221
Classe Textural		Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso
Químicos			
pH H ₂ O		4,9	4,8
H ⁺ Al	(Cmol _c dm ⁻³)	3	3,5
P	(mg dm ⁻³)	16	2
M.O	(g Kg ⁻¹)	10,7	9,5
K ⁺	(Cmol _c dm ⁻³)	0,12	0,002
Ca ⁺²	(Cmol _c dm ⁻³)	1,2	0,8
Mg ⁺²	(Cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,6
Na ⁺	(Cmol _c dm ⁻³)	0,1	0
SB	(Cmol _c dm ⁻³)	2,2	1,4
CTC _T	(Cmol _c dm ⁻³)	5	4,9
V	(%)	40	29
PST	(%)	2	0,4
RAS	(meq L ⁻¹) ^{0,5}	0,01	0,07
CE (1:1)	dS m ⁻¹	0,12	0,068

PT – porosidade total; %Ma – percentagem de macroporosidade; %Mi – percentagem de microporosidade; Ds – densidade do solo; Ks – condutividade hidráulica no solo saturado; ADA – argila dispersa em água; Faa – franco argilo arenoso. H+Al – Acidez potencial; P – Fósforo disponível; M.O – Matéria orgânica; (K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) – Potássio, Cálcio e magnésio trocável, respectivamente; SB - Soma de bases trocáveis; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V– Índice de saturação de bases; PST – Percentagem de sódio trocável; RAS – Razão de adsorção de sódio; CE – Condutividade elétrica do solo.

O delineamento experimental totalizou 20 unidades experimentais, com 40 plantas cada uma, ocupando uma área de 16 m². O experimento foi montado segundo o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos empregados e nas subparcelas, as faixas de profundidade (0,0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m) no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na substituição da água potável pelo efluente tratado de esgoto doméstico (ETE) na irrigação: T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% água

do poço (AP); T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP; T5 irrigação com água do poço e adubação química. Na adubação convencional foram aplicados 50 kg ha^{-1} de N (10 kg ha^{-1} plantio e 40 kg ha^{-1} em cobertura), 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 25 kg ha^{-1} de K_2O (Carvalho, 2005), usando-se como fonte de N (uréia), P (superfosfato simples) e K (cloreto de potássio).

O efluente utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto doméstico, localizada na cidade de Cachoeira-BA e operada pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA). Nesta empresa, o tratamento do efluente ocorre em três etapas: inicialmente é realizado um tratamento preliminar, que consiste na eliminação dos sólidos grosseiros por meio de gradagem e desarenação. Em seguida, o tratamento secundário, que é realizado por uma lagoa aerada, seguida por uma lagoa facultativa, instalada em série, caracterizando um sistema de tratamento biológico. O processo de decomposição da matéria orgânica nestas lagoas ocorre pela ação de diferentes grupos de bactérias, as quais realizam a quebras de moléculas orgânicas mais complexas, existentes no efluente de esgoto doméstico, em substâncias mais simples (Sperling, 1996).

Na lagoa aerada o oxigênio utilizado no processo biológico é introduzido mecanicamente através de aeradores, com a finalidade de manter a concentração de oxigênio dissolvido em toda ou parte da massa líquida, garantindo as reações bioquímicas que caracterizam o processo. Na lagoa facultativa ocorre penetração de luz e produção de oxigênio via fotossíntese em quase toda sua extensão, os microrganismos heterotróficos utilizam o oxigênio na decomposição de matéria orgânica. Parte dos sólidos dos esgotos deposita-se no fundo da mesma entrando em processo de decomposição anaeróbia (Sperling, 1996).

A fim de caracterizar a composição química do efluente de esgoto doméstico tratado, a cada irrigação foi coletada uma alíquota do efluente no ponto de aplicação (gotejador) correspondente ao esgoto bruto (sem diluição), armazenando-as adequadamente em freezer. Ao final de cada mês, fez-se uma amostra composta, a partir das alíquotas coletadas em cada irrigação. Com relação à água de boa qualidade (água de irrigação) utilizada para fazer as diluições do efluente, as alíquotas eram coletadas no reservatório.

As análises de macronutrientes e microbiológicas do efluente uma parte foi realizada pelo Laboratório da Qualidade da Água de Departamento de Engenharia

Agrícola e Ambiental – Universidade Federal de Viçosa (DEAA/UFV) e a outra parte no Laboratório da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Ceplac/ MAPA), seguindo a metodologia proposta pela APHA (1995) os resultados das análises se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas do efluente de esgoto doméstico tratado (ETE) e da água do poço (AP) utilizada no experimento.

Constituintes	Unidade	AP ⁽³⁾	ETE ⁽⁴⁾	VMRE
pH		7,52	6,5	6,8 a 7,3 ⁽¹⁾
Ca ⁺²	(mg L ⁻¹)	169,94	86,57	20 a 120 ⁽²⁾
Mg ⁺²	(mg L ⁻¹)	222,77	78,8	10 a 50 ⁽²⁾
K ⁺	(mg L ⁻¹)	16	51	10 a 40 ⁽²⁾
Na ⁺	(mg L ⁻¹)	56	140	50 a 250 ⁽²⁾
C.E	(dS m ⁻¹)	1,42	2,92	1,0 a 3,1 ⁽¹⁾
Salinidade	(mg L ⁻¹)	0,59	1,46	---
P _{total}	(mg L ⁻¹)	0,095	15,9	4,2 a 9,7 ⁽³⁾
N _{total}	(mg L ⁻¹)	24,9	60	10 a 50 ⁽²⁾
Alcalinidade	(mg L ⁻¹ CaCO ₃)	756,6	510,41	---
Dureza total	(mg L ⁻¹ CaCO ₃)	798	540	---
Cloretos	(mg L ⁻¹)	812,98	48	40 a 200 ⁽²⁾
HCO ₃ ⁻	(mg L ⁻¹)	922,47	1698,52	---
STD	(mg L ⁻¹)	2160,8	1050,8	400 a 1200 ⁽²⁾
DBO	(mg L ⁻¹)	6,7	155	10 a 80 ⁽²⁾
DQO	(mg L ⁻¹)	10	269	30 a 60 ⁽²⁾
CO	(mg L ⁻¹)	46	138	---
CT	(NMP/100 mL)	1,5 x10 ²	1,3 x 10 ⁶	---
CF	(NMP/100 mL)	< 1,0	< 1.0	---
RAS	(meq L ⁻¹) ^{0,5}	1,38	4,48	4,5 a 7,9 ⁽²⁾
Relação Ca:Mg		0,76	1,1	---
Relação DBO:DQO		0,67	0,58	2,4 ⁽¹⁾

pH – potencial hidrogeniônico; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; CO – Carbono orgânico; DQO – Demanda Química de Oxigênio; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; N_{total} – nitrogênio total; P_{total} – fósforo total; CT – coliformes totais; CF – coliformes termotolerantes (Fecais – *E.coli*); AP – água de poço artesiano; ETE – efluente tratado de esgoto; VMRE – valor médio de referência para esgoto tratado; ⁽¹⁾ Pescod (1992); ⁽²⁾ Feigin et al. (1991); ⁽³⁾ Bouwer e Chaney (1974) ⁽⁴⁾ média de seis valores.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com gotejadores distribuídos ao longo das linhas da cultura e composto por cinco taques com capacidade de 3.000 litros conectados entre si acoplados a motobomba de 0,5 CV, onde três armazenavam a ETE bruto e dois armazenavam AP. As diluições eram efetuadas em reservatórios com capacidade de 250 litros após passagem pelo filtro de areia e de disco, sendo o sistema de irrigação alimentado por um conjunto motobomba de 1,0 CV. O critério adotado na definição das lâminas de irrigação com água residuária (aplicadas por um sistema de gotejamento) na

implantação dos tratamentos baseou-se na evapotranspiração da cultura da mamona. Para estimativa das necessidades hídricas das culturas, instalou-se um Tanque Classe A, pluviômetro e estação meteorológica automática na área experimental, para monitoramento das condições meteorológicas. A frequência da aplicação da água residuária foi com turno de rega de dois dias, sendo realizada manutenção periódica do sistema de irrigação para evitar entupimentos e alteração na uniformidade de distribuição de água dos emissores. Além disso, foi realizado mensalmente teste de uniformidade de aplicação de água dos gotejadores, para garantir a eficiência do sistema de aplicação.

As informações climáticas (precipitação, temperatura, umidade relativa) mensais registradas e os volumes de água e efluente utilizado na irrigação durante o experimento estão dispostos respectivamente nas Tabelas 3 e 4.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo programa SAS (SAS INSTITUTE, 2004). As médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Comportamento médio das variáveis climáticas mensais analisadas durante o experimento.

Mês	Precipitação acumulada (mm)	Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)
Dezembro	16,0	26,53	68,13
Janeiro	11,2	26,60	68,83
Fevereiro	38,2	26,55	72,82
Março	143,6	26,49	77,33
Abril	241,0	24,76	83,86
Mai	70,0	24,17	89,71
Junho	120,0	22,23	85,26

Tabela 3. Volumes de água e efluente utilizado na irrigação do experimento.

Tratamentos	Volume (Litros)	
	ETE	AP
T1	17280	0
T2	12960	4320
T3	8640	8640
T4	4320	12960
T5	0	17280
Total	43200	43200

ETE – Efluente tratado de esgoto doméstico; AP – Água do Poço

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas concentrações médias de nutrientes encontrada no ETE (Tabela 2) e nos volumes aplicados em cada tratamento durante o experimento (Tabela 3), estimou-se o aporte de nutriente por meio do ETE (Tabela 4). No entanto esta estimativa não contempla um aspecto fundamental, a forma como os nutrientes se encontra. De acordo com as características iniciais do solo (Tabela 1), as estimativas de aporte de nutrientes ao solo e as exigências nutricionais da mamoneira, constata-se que a irrigação com efluente ao final do experimento, não seria capaz de atender apenas a recomendação de P para cultura.

A quantidade de Na^+ adicionado ao solo, ao termino do experimento, variou de 151 a 378 Kg ha^{-1} . De acordo com Salomão et al (2005) essas taxas de aplicação de sódio ao solo são bastante elevadas quando comparadas com solos que receberam irrigação com água superficial com baixa concentração de sódio e condutividade elétrica menor que $0,70 \text{ dS m}^{-1}$, podendo, então, constituir fator limitante para o uso da ETE na agricultura.

Tabela 5. Aporte de nutrientes e sódio aplicados ao solo em função da aplicação de diferentes diluições de ETE, proveniente de esgoto doméstico tratado.

	N-total	P-total	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺
	Kg ha⁻¹					
T1	162	43	81	234	213	378
T2	138	32	70	290	310	321
T3	115	22	58	346	407	265
T4	91	11	67	403	504	208
T5	67	0,3	35	459	602	151

ETE – Efluente tratado de esgoto doméstico; AP – Água do Poço; T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% AP; T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP; T5 - NPK + AP

Tabela 6. Probabilidade de o valor F tabulado (F_{n-1} ; $\alpha = 0,05$) ser maior do que F calculado para aceitar a hipótese nula ($H_0: u = u_0$), para as causas da variação: bloco; tratamento, profundidade e interação tratamento x profundidade para as propriedades químicas do Latossolo Amarelo sob cultivo da mamoneira

FV	Atributos químicos													
	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H+Al	CTC	V	PST	RAS	MO	CE	pH	K ⁺	Na ⁺	SB
Bloco	0,50	0,50	0,60	0,20	0,30	0,70	0,40	0,80	0,10	0,80	0,40	0,70	0,10	0,60
Trat	0,00	0,01	0,06	0,00	0,05	0,10	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,40	0,01
Prof	0,00	0,00	0,05	0,02	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,10	0,10
Trat*prof	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,70	0,30	0,90	0,80
CV (%)	9,3	10,7	22,2	7,7	6,1	7,6	6,0	9,8	5,6	5,9	4,5	11,6	193	12,7

FV – fator de variação; CV - coeficiente de variação; (H+Al) - Acidez potencial; P - Fósforo disponível; M.O - Matéria orgânica; (K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) - Potássio, Cálcio e magnésio trocável, respectivamente; SB - Soma de bases trocáveis; CTC - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação de bases, Na⁺ - Sódio trocável; PST - Percentagem de sódio trocável; RAS – Razão de adsorção de sódio; CE - Condutividade elétrica do solo

De acordo com os valores de pH encontrados (Tabela 7), observou-se que o T5 foi estatisticamente superior aos tratamentos com ETE elevando o pH do solo em média 0,3 unidade não diferindo em profundidade (Tabela 6). No entanto de acordo com a classificação agrônômica, o pH permaneceu em uma faixa considerado bom (CFSEMG, 1999). Os resultados encontrados discordam de Gloaguen et al. (2007), que estudando a química de solo e de solução num experimento com milho e girassol conduzido na mesma área experimental irrigado com efluente proveniente da mesma estação de tratamento de esgoto, constataram aumentos de pH da ordem de 0,5 -1,0 tanto em superfície quanto em subsuperfície.

A quantidade de K⁺ adicionado ao solo através dos tratamentos com ETE variou entre 35 a 81 Kg ha⁻¹ (Tabela 5). No entanto verificou-se que houve redução desse elemento no solo em relação à condição inicial do solo (C₀). De acordo com a Tabela 7, o T5 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos em função da adubação de fundação. Entretanto os valores de K⁺ encontrado no solo foram considerados médio e baixos (CFSEMG, 1999). Segundo Feigin et al. (1991) mesmo que haja aumento na concentração de K⁺ disponível mediante a disposição de águas residuárias ao solo, a quantidade desse nutriente exigido pelas plantas é tão elevada que dificilmente apenas a irrigação com efluente poderia suprir adequadamente as plantas.

Tabela 7. Alterações químicas do solo em resposta à aplicação de diferentes diluições de água residuária, proveniente de esgoto doméstico tratado

Atributos	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
pH H ₂ O (1:2,5)	5,8ab	5,9ab	6,0ab	5,6b	6,1a
K ⁺ (Cmolc dm ⁻³)	0,07b	0,07b	0,07b	0,07b	0,1a
Na ⁺ (Cmolc dm ⁻³)	0,02a	0,01a	0,01a	0,01a	0,04a
SB (Cmolc dm ⁻³)	2,7b	2,9b	3,0b	2,8b	3,4a

Médias seguidas de mesma letra na horizontal, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. K⁺ - Potássio trocável; SB - Soma de bases trocáveis; Na⁺ - Sódio trocável. T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% água do poço (AP); T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP; T5 - NPK + água do poço

Como mostra a Tabela 7, não foi observado efeito significativo nos valores de Na⁺ trocável encontrado em função dos tratamentos utilizados bem como das profundidades avaliadas. Apesar de o ETE apresentar uma concentração média de 140 mg L⁻¹ (Tabela 4) os valores de Na⁺ trocável encontrado no solo permaneceram semelhante a C₀, provavelmente isso pode ter ocorrido em função da duração do experimento (120 dias). Com relação à soma de bases (SB) os valores encontrados (Tabela 7) demonstram que o T5 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos promovendo aumento de 49,5% em relação C₀ (Tabela 1). De acordo com CFSEMG (1999) os valores encontrados foram considerados médio.

Os teores de P disponível encontrado revelaram que o T5 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos em função da adubação e que os maiores valores foram apresentados na faixa de profundidade 0,0 – 0,20 m (Tabela 8). De acordo com os resultados, aplicação de ETE ao solo não foi uma boa fonte de P comparado ao superfosfato simples, sendo observada redução em torno de 84,4% do P disponível no solo em resposta a aplicação dos tratamentos com ETE em relação a C₀, esse fato pode ser atribuído a absorção desse nutriente pela cultura. Os resultados discordam dos encontrados na literatura (Stewart et al., 1990; Johns & McConchie, 1994b e Al-Nakshabandi et al., 1997).

Tabela 8. Alterações químicas do solo em resposta à aplicação de diferentes diluições de água residuária, proveniente de esgoto doméstico tratado.

Trat.	P mg dm ⁻³	Ca ⁺²	Mg ⁺² Cmol _c dm ⁻³	H+Al	CTC _T	V %	PST	RAS (meq L ⁻¹) ^{0,5}	MO g Kg ⁻¹	CE (1:1) dS m ⁻¹
0 - 0,20 m										
T1	3,0cA	2,0aA	1,0aA	2,1aB	4,7bA	56,4bA	2,1bA	0,9cB	16,3aA	0,24aA
T2	3,8bA	2,0aA	1,0aA	2,0aB	5,19aA	58,3bA	2,4aA	1,1bB	16,0aA	0,23aA
T3	2,5dA	2,0aA	1,0aA	1,95aB	4,9bB	63,7aA	2,5aA	1,3aA	15,8aA	0,21bA
T4	2,0dA	2,0aA	1,0aA	2,0aB	4,8bB	61,8aA	2,3bA	1,2bA	15,0bA	0,21bA
T5	18,0aA	2,0aA	1,0aB	2,0aA	5,4aA	64,4aA	2,0bA	1,2bB	14,0bA	0,16cA
0,20 - 0,40 m										
T1	1,0bB	1,3bB	1,0bA	2,8aA	4,8bA	57,1aA	2,1aA	1,5aA	13,0aB	0,15aB
T2	1,0bB	1,0bB	1,3bA	2,0bB	4,8bB	60,2aA	1,8cB	1,3bA	11,8aB	0,12bB
T3	1,0bB	1,0bB	1,3bA	2,0bB	5,1aA	55,2bB	1,8cB	1,4aA	11,5aB	0,11bB
T4	1,25bB	1,0bB	1,0bA	2,0bB	5,3aA	49,8cB	1,5dB	1,5aA	12,3aB	0,11bB
T5	9,9aB	1,7aB	1,8aA	2,0bB	5,3aA	62,1aA	1,9bA	1,4aA	10,8aB	0,12bB

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, para tratamentos, e maiúscula, para profundidade de amostragem, não diferem pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Trat. – tratamentos; (H+Al) - Acidez potencial; P - Fósforo disponível; M.O - Matéria orgânica; (Ca⁺² e Mg⁺²) - Cálcio e magnésio trocável, respectivamente; CTC_T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação de bases, PST - Percentagem de sódio trocável; RAS - Razão de adsorção de sódio; CE - Condutividade elétrica do solo. T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% água do poço (AP); T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP; T5 - NPK + água do poço.

Avaliando os teores de Ca²⁺ nas duas profundidades, observou-se que apenas a profundidade de 0,20 – 0,40 m apresentou diferenças significativas em função dos tratamentos, revelando que o T5 foi superior aos demais. No entanto os maiores valores de Ca²⁺ foram encontrados na profundidade de 0,0 – 0,20 m indicando que não houve movimentação em profundidade desse elemento no solo (Tabela 8). Com relação ao Mg²⁺ no solo, apenas a profundidade de 0,20 – 0,40 m se mostrou influenciada pelos tratamentos sendo que o T5 apresentou um aumento de 80% desse elemento em relação à profundidade de 0,0 – 0,20 m, indicando que para esse tratamento houve movimentação do Mg²⁺ no solo (Tabela 8). No entanto vale salientar que água de poço utilizada superou em três vezes a concentração de Mg²⁺ encontrada no ETE (Tabela 2). Todavia o acréscimo ou decréscimo de Ca²⁺ e Mg²⁺ está diretamente relacionado à concentração na água residuária aplicada, à concentração absorvida pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo. Esse resultado contrasta com os dados obtidos por Stewart et al. (1990) e Falkiner & Smith (1997), os quais observaram aumento no teor de Mg²⁺ pela disposição do ETE no solo.

Com relação à acidez potencial ($H + Al$), houve diferença entre os tratamentos apenas na profundidade 0,20 – 0,40 m. Nesta camada foi observado que o T1 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, promovendo um incremento da acidez potencial em torno de 40% em relação ao T5 (Tabela 8). Apesar do aumento promovido pelo T1, os valores encontrados para acidez potencial foram considerados baixo (CFSEMG, 1999), indicando que o ETE não elevou de forma limitante a acidez potencial do solo. Em relação à CTC_T os valores encontrados revelaram que os tratamentos T5 e T2 foram estatisticamente superiores na profundidade 0,0 – 0,20 cm não diferindo entre si (Tabela 8). Já na profundidade 0,20 – 0,40 m os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos T5, T4 e T3. De acordo com os resultados observados constata-se que nos tratamentos T4 e T3 houve movimentação em profundidade de bases trocáveis em função da CTC_T apresenta-se maior em profundidade. Os valores da CTC_T foram considerados médios (CFSEMG, 1999).

Os valores observados para índice de saturação por bases no solo demonstram que houve efeito de tratamento em ambas as profundidades (Tabela 8). Os maiores valores foram observados nos tratamentos T5, T4 e T3 na profundidade 0,0 – 0,20 m não diferindo entre si (Tabela 8). Os valores encontrados para esse atributo do solo foi considerado bom para os tratamentos T5, T4 e T3 que apresentaram 64,4, 61,8 e 63,7 respectivamente (CFSEMG, 1999).

Os valores da PST demonstram que os tratamentos T2 e T3 foram apresentaram os maiores valores observados promovendo aumento em torno de 20% em relação a C_0 na profundidade de 0,0 – 0,20 m (Tabela 8). Com relação à profundidade 20 – 40 cm foi observados aumento de 4 vezes o valor da C_0 indicando provável sodificação do solo com o uso prolongado do ETE, principalmente em profundidade, concordando com Yadav et al. (2002) e Santos (2004). Aumentos na PST representam um risco considerável de deterioração da estrutura física do solo, mais especificamente através da dispersão de argilas e conseqüente desestabilização de agregados, entupimento de poros e decréscimo na permeabilidade do solo (Bond, 1998). Têm sido comuns aumentos na PST em solos fertirrigados com ETE, independentemente se o uso for agrícola ou florestal (Feigin et al., 1991; Pescod, 1992; Bond, 1998), notadamente em experimentos de longa duração (Balks et al., 1998).

Na avaliação conjunta da CE e da PST, notou-se que o solo não apresenta problemas de salinidade e o sódio adsorvido se encontra abaixo dos limites prejudiciais (Pizarro, 1990).

Com relação a CE do solo os tratamentos T1 e T2 foram estatisticamente superiores, sendo que os maiores incrementos desse atributo ocorreram na profundidade de 0,0 – 0,20 m (Tabela 8). O aumento da condutividade elétrica (CE) do solo mediante a irrigação com efluente tem sido comum em sistemas agrícolas (Latterell et al., 1982; Johns & McConchie, 1994b; Al-Nakshabandi et al., 1997), pastagens (Hortenstine, 1976) e florestas (Smith et al., 1996; Falkiner & Smith, 1997; Speir et al., 1999), mais pronunciadamente na camada superficial do solo (Latterell et al., 1982; Al-Nakshabandi et al., 1997; Speir et al., 1999). Esse aumento de salinidade mais evidente na camada superficial do solo pode ser, segundo Al-Nakshabandi et al. (1997), devido a dois fatores: evaporação da superfície do solo, levando ao acúmulo de sais; exposição do subsolo à contínua lixiviação e substituição dos sais na periferia da zona úmida, a qual, normalmente tem apresentado aumento na concentração de sais.

Tendo em vista que a salinização dos solos representa uma das grandes preocupações quanto à aplicação do ETE, o ETE empregado neste estudo apresentou grau de restrição ligeiro e moderado, pois sua CE ficou no intervalo 0,7 a 3,0 dS m^{-1} , no entanto no que se refere à sodicidade, o ETE não apresentou grau de restrição por apresentar RAS na faixa 3 – 6 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$ associado a CE $> 1,2 \text{ dS m}^{-1}$ (Ayers & Westcot, 1991).

Com relação à RAS, observa-se que houve aumento em ambas as profundidades avaliadas em relação a C_0 , sendo mais pronunciado na profundidade 0 – 20 cm (Tabela 8). O T3 foi estatisticamente superior na profundidade de 0 – 20 cm, onde verificou-se aumento de 130% em relação a C_0 . Já na profundidade de 20 – 40 cm o T2 foi quem apresentou o menor valor, no entanto elevou a RAS em 18,6% em relação a C_0 . Al-Nakshabandi et al. (1997) constataram que o uso de efluente doméstico tratado com valores de CE e RAS iguais a 2,5 dS cm^{-1} e 5,6 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$, respectivamente, no cultivo de berinjela, acarretou um acréscimo de 20,5% na salinidade da camada superficial do solo em cinco meses de cultivo.

A concentração de M.O do solo foi estatisticamente superior nos tratamentos T1, T2 e T3 bem como na profundidade de 0,0 – 0,20 m (Tabela 8).

Foi verificado aumento em mais de 50% na concentração da M.O do solo em relação a C_0 . Logo o uso do ETE favoreceu o incremento desse atributo no solo, discordando de Medeiros et al. (2005) que constatou redução do teor de matéria orgânica no solo em relação a C_0 comparando com tratamento com ETE e manejo convencional. De acordo com CFSEMG (1999) os valores encontrados para concentração de M.O foram considerado baixo.

Tabela 9. Probabilidade de o valor F tabulado (F_{n-1} ; $\alpha = 0,05$) ser maior do que F calculado para aceitar a hipótese nula ($H_0: u = u_0$), para as causas da variação: bloco; tratamento, profundidade e interação tratamento x profundidade para as propriedades físicas do Latossolo Vermelho sob cultivo da mamoneira

FV	Atributos físicos					
	VTP	Macro	Micro	ds	K_0	ADA
Bloco	0,06	0,50	0,50	0,05	0,9	0,70
Trat	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Prof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trat*prof	0,40	0,4	0,40	0,20	0,00	0,00
CV (%)	11,0	6,9	4,4	3,1	20,3	5,6

FV – fator de variação; CV – coeficiente de variação; PT - porosidade total; Ma – percentagem de macroporos; Mi - percentagem de microporos; ds - densidade do solo; K_0 – condutividade hidráulica no solo saturado; ADA - argila dispersa em água.

Conforme se observa na Tabela 10, o volume total de poros não foi influenciado pelos tratamentos aplicados. No entanto a distribuição do tamanho de poros foi alterada, onde o tratamento que recebeu o menor volume do efluente (T4) apresentou maior percentagem de macroporos não diferindo do T5. Com relação à percentagem de microporos os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos T1, T2 e T3 não diferindo entre si. No entanto foi observada redução acentuada na distribuição da porosidade do solo capaz de limitar o cultivo do solo (Tabela 10).

Segundo Kiehl (1979), o solo ideal para a produção agrícola deve apresentar uma distribuição percentual de 34% para macroporos e 66% para microporos. Tal condição facilita tanto uma rápida drenagem do excesso de água através dos macroporos após uma chuva, permitindo adequada aeração do solo, quanto à armazenagem de um volume de água relativamente alto retido à baixa energia nos microporos e facilmente disponível às plantas por um período de tempo relativamente longo após uma chuva.

Tabela 10. Alterações físicas do solo em resposta à aplicação de diferentes diluições de água residuária, proveniente de esgoto doméstico tratado

Tratamentos	VTP (cm ³ cm ⁻³)	Macro (%)	Micro (%)	Ds (g cm ⁻³)
T1	29,00a	32,72b	67,27a	1,82a
T2	29,87a	34,31b	65,68a	1,81a
T3	30,62a	36,61b	63,38a	1,78a
T4	31,62a	46,15a	53,84b	1,81a
T5	32,75a	44,44a	55,55b	1,69b

Médias seguidas de mesma letra na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. VTP - volume total de poros; %Ma - percentagem de macroporos; %Mi - percentagem de microporos; ds - densidade do solo; K₀ - condutividade hidráulica no solo saturado; ADA - argila dispersa em água. T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% água do poço (AP); T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP; T5 - NPK irrigação com água do poço

Com relação à densidade do solo, os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos que receberam ETE. Este resultado, provavelmente pode estar associado à abundância de partículas orgânicas e inorgânicas existentes no ETE, que podem favorecer a obstrução dos poros da superfície do solo elevando a densidade (Feigin et al. 1991).

Na Tabela 11 estão dispostos os valores da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0). Os resultados revelam que houve redução de forma generalizada em relação a C_0 . No entanto as maiores reduções foram promovidas pelo T1 em nas duas profundidades avaliadas. A condutividade hidráulica representa a propriedade que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso (Libardi, 2000). Sendo o solo e a água, respectivamente, o meio poroso e o fluido de interesse, define-se, então, condutividade hidráulica do solo (K_0) como o parâmetro que traduz a facilidade com que a água flui através do solo (Carvalho, 2002). Cada solo devido às suas características irá transmitir a água através de seus poros com maior ou menor rapidez. Os resultados encontrados nessa pesquisa corroboram com os encontrados na literatura (Thomas; Scwatz; Benedixen, 1966; Lance; Rice; Gilbert, 1980; Clanton; Slack, 1987; Cook; Kelliher; McMahon, 1994; Balks et al., 1998).

Tabela 11: Alterações físicas do solo em resposta à aplicação de diferentes diluições de água residuária, proveniente de esgoto doméstico tratado.

Tratamentos	K_0 (cm h ⁻¹)		ADA (%)	
	0,0 – 0,20 m	0,0 – 0,40 m	0,0 – 0,20 m	0,0 – 0,40 m
T1	17,47bA	9,23bA	13,5aA	10,6bB
T2	42,98aA	24,56bB	14,2aA	10,3bB
T3	46,18aA	21,54bB	10,6cA	11,1bA
T4	59,65aA	37,45aB	13,1aA	11,1bB
T5	46,19aA	32,86 aB	11,9bA	12,7aA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, tratamentos, e maiúscula, para profundidade de amostragem, não diferem pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. K_0 – condutividade hidráulica no solo saturado; ADA – argila dispersa em água. T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% água do poço (AP); T3 - 50% ETE + 50% AP; T4 - 25% ETE + 75% AP; T5 - NPK irrigação com água do poço

A percentagem de ADA aumentou em relação a C_0 em ambas as profundidades. No entanto para profundidade 0,0 – 0,20 m o ETE favoreceu o incremento da percentagem de ADA. Já na profundidade 0,20 – 0,40 m o maior incremento foi observado no T5. Montes et al. (2004), trabalhando com aplicação de água residuária de origem doméstica em um Argissolo, verificaram que a dispersão das argilas aumentou com o tempo até 0,80 m de profundidade e que este aumento foi mais pronunciado na camada de 0,0-0,10 m, contrapondo Medeiros (2005) que observaram redução da porcentagem de ADA utilizando água residuária de origem doméstica para fertirrigação do cafeeiro cultivado em um Cambissolo. A variação da proporção de argila dispersa em água (ADA) de um solo ao longo do tempo indica o grau de dispersão/ floculação das partículas desse solo.

CONCLUSÃO

Para as condições em que o estudo foi desenvolvido, constataram-se:

1. Aumentos da acidez potencial em profundidade, da percentagem de argila dispersa em água em superfície, da percentagem de sódio trocável, da condutividade elétrica e da densidade do solo;
2. Reduções da disponibilidade de fósforo, potássio, percentagem de macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado;

3. O ETE empregado neste estudo apresentou grau de restrição ligeiro e moderado para ameaça de salinização do solo;
4. O ETE não apresentou grau de restrição para ameaça de sodicidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. **Informações meteorológicas do CNP: Mandioca e Fruticultura tropical**. Cruz das Almas – BA: EMBRAPA – CNPMF. 1999. 35 p. (EMBRAPA – CNPMF. Documentos, 34).

AL-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.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 1995. 1134p

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

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

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

BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v.26, p. 133-176, 1974.

CFSEMG. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª. Aproximação**. Viçosa, MG. 1999. 359 p.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARVALHO, B. C. L. **Manual de Cultivo da Mamona**, Salvador EBDA, 2005. 65p.

COOK, F.J.; KELLIHER, F.M.; McMAHON, S.D. Changes in infiltration during wastewater irrigation of a highly permeable soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 23, p. 476-482, 1994.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FALKINER, R.A.; SMITH, C.J. Changes in soil chemistry in effluent- irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.131-147, 1997.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent**. Advanced Series in Agricultural Science. Berlin: Editora Spring-Verlang. 1991. 216p.

GLOAGUEN, T.V.; FORTI, M.C.; LUCAS, Y.; MONTES, C.R.; GONÇALVES, R.A.B.; HERPIN, U. & MELFI, A.J. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agric. Water Manag.** V.88, p.119-131, 2007.

HORTENSTINE, C.C. Chemical changes in the soil solution from a Spodosol irrigated with secondary-treated sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p 335-338, 1976.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. **Subsurface Drip Dispersal of Residential Effluent: II. Soil Hydraulic Characteristics**. Transactions of the ASAE. Vol 44(5), 2001b.

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 Agricultural Research**, v.45, p.1619-1638, 1994b.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: CERES, 1979. 262 p.

LANCE, J.C.; RICE, R.C.; GILBERT, R.G. Renovation of wastewater by soil columns flooded with primary effluent. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 52, p. 381-388, 1980.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, Edição do Autor, 2000. 509p

MEDEIROS, S. S. **Alterações física e químicas do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem doméstica**. 2005. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MEDEIROS, S. S., SOARES, A. A., FERREIRA, P. A., NEVES, J. C. L., MATOS, A. T., SOUZA J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.9, p. 603-612. 2005.

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

PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición, 471p, 1990.

RIBAS, T. B. C.; NETO, P. F. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. Taubaté, v. 3, p. 81-94, 2008. Revista Ambiente & Água – **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 3, 2008.

RIBEIRO, L. P.; SANTOS, D. M. B.; LIMA NETO, I. de A.; BARBOSA, M. F.; CUNHA, T. J. F. Levantamento detalhado dos solos, capacidade de uso e classificação de terras para irrigação da Estação de Plasticultura da Universidade Federal da Bahia/Politeno em Cruz das Almas (BA). Revista **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 105-113, 1995.

SANTOS, A.P.R. **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**. 2004. 35f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SMITH, C.J.; HOPMANS, P.; COOK, F.J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.94, p.317-323, 1996.

SPEIR, T.W.; VAN SCHAİK, A.P.; KETTLES, H.A.; VICENT, K.W.; CAMPBELL, D.J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p.1105-1114, 1999.

STEWART, H.T.L.; HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.63, p.155-177, 1990.

THOMAS, R.E.; SCWATZ, W.A.; BENEDIXEN, T.W. Soil chemical changes and infiltration rate reduction under sewerage spreading. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 30, p. 641-646, 1966.

VON SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 2, 211 p.

YADAV, R.K.; GOYAL, B.; SHARMA, R.K.; DUBEY, S.K.; MINHAS, P.S. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water – a case study. **Environment International**, v.28, p.481-486, 2002.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS MICROBIANOS DE SOLO TRATADO COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO²

² Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: *Bragantia*

ATRIBUTOS MICROBIANOS DE SOLO TRATADO COM EFLUENTE TRATADO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Autor: Adailton Conceição dos Santos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co – orientador: Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha

RESUMO: O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de efluente de esgoto doméstico tratado em alguns atributos microbianos de um Latossolo Amarelo distrocoeso. O experimento foi realizado no laboratório de biologia do solo do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CCAAB/UFRB), no município de Cruz das Almas/BA. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram do umedecimento do solo com diluições do efluente tratado de esgoto (ETE) com água destilada (AD): T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% AD; T3 - 50% ETE + 50% AD; T4 - 25% ETE + 75% AD e T5 – somente água destilada (testemunha), avaliados aos 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 26 e 32 dias após a incubação, com quatro repetições e quatro potes sem solo (branco) para remover o efeito da contaminação de CO₂ oriundo do ambiente. Para avaliar o carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e quociente metabólico, foram retiradas amostras nas profundidades 0,0 - 0,10 m. Os resultados encontrados, revelaram aumento do BMS-C e redução do qCO₂ e manutenção da respiração basal. Apesar de não ter sido observada variação significativa da respiração basal, verificou-se elevada atividade microbiana no solo tratado com efluente de esgoto.

Palavras-chave: Latossolo; Biomassa do solo; Aproveitamento agrícola

MICROBIAL ATTRIBUTES OF SOIL TREATED WITH DOMESTIC TREATED SEWAGE EFFLUENT

Autor: Adailton Conceição dos Santos

Advisor: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima da S. P. Peixoto

Co – Advisor: Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the treated domestic sewage effluent effect on some soil microbial attributes. The experiment was conducted in the soil biology laboratory at the Agricultural, Biological and Environmental Science Center in Federal University of Bahia Recôncavo (CCAAB/UFRB), in Cruz das Almas city/Bahia. The experimental design was completely randomized design with five treatments and four replications. The treatments consisted of moistening the soil with dilutions of treated effluent from sewage (TSE) with distilled water (DW): T1 - 100% TSE, T2 - 75% TSE + 25% DW; T3 - 50% TSE + 50% DW; T4 - 25% TSE + 75% DW and T5 - only distilled water (control), assessed at 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 26 and 32 days after hatching, with four replicates and four pots without ground (white) to remove the effect of contamination of CO₂ from the environment. To assess the microbial biomass carbon, basal respiration and metabolic quotient, samples were taken at depths from 0.0 to 0.10 m in March 2010. The results revealed increased BMS-C and decrease of qCO₂ and maintenance of respiration. Although not observed significant variation in basal respiration, there was a high microbial activity in soil treated with sewage.

Key-words: Oxisol; Soil biomass; Agricultural use.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade de água para o consumo humano tem levado à procura de usos alternativos para águas de qualidade inferior. A irrigação de áreas agrícolas com esgoto tratado é de interesse de diversos setores da sociedade, em especial, o setor agrícola e ambiental (Fonseca *et al.*, 2007a).

Estudos revelam que o uso do efluente tratado de esgoto (ETE) como fonte de água e nutrientes tem proporcionado efeito benéfico sobre o crescimento de culturas e promovido incrementos significativos na atividade bioquímica do solo (Paula, 2008, Ramirez-Fuentes *et al.*, 2002), avaliada através da respiração microbiana, da sua relação com a biomassa microbiana, ou seja, respiração específica da biomassa ou quociente metabólico (Speir, 2002). Estes parâmetros, de acordo com o autor, mostraram-se sensíveis as alterações causadas no solo, a partir, da aplicação de efluente. O aporte de material orgânico via disposição de ETE no solo pode estimular a atividade microbiana, devido ao aumento de carbono e nutrientes disponíveis ou inibir, devido à presença de metais pesados e outros poluentes ou ainda manter a atividade microbiana semelhante a áreas não irrigadas com esgoto tratado (Bettioli & Camargo, 2006; Pontes, 2002; Wang *et al.*, 2003).

As transformações bioquímicas da matéria orgânica e a liberação de nutrientes no solo irrigado com efluentes, através de rotas de mineralização, são conduzidos por microrganismos autóctones e introduzidos no solo, junto com o efluente. Dessa forma, os microrganismos e suas atividades bioquímicas podem ser úteis não apenas para avaliar a capacidade depuradora, mas também sua atividade biológica como parte da qualidade do solo (Filip *et al.*, 1999). Sendo a atividade microbiana do solo responsável em grande parte pela decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, síntese de substância húmicas e conseqüentemente, estabilidade estrutural do solo (Pinheiro *et al.*, 2004, Siqueira *et al.*, 1991) é imprescindível a avaliação da influência da disposição de efluentes de esgoto tratado sobre as transformações bioquímicas necessárias à qualidade do solo e seu efeito na comunidade microbiana.

De acordo com Tótola & Chaer, (2002) altas taxas de respiração microbiana podem indicar tanto um distúrbio ecológico bem como um alto nível de produtividade do ecossistema. Logo surge a necessidade de relacionar a taxa de respiração com outros parâmetros microbiológicos como, por exemplo, o carbono da biomassa e quociente metabólico.

A relação entre a respiração microbiana e a biomassa microbiana de carbono, resulta no quociente metabólico (qCO_2), que tem sido usado como indicador do grau de desenvolvimento de um ecossistema ou grau de perturbação a que um agroecossistema está sujeito (Anderson & Domsch, 1993). O qCO_2 indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo indicador sensível para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (Saviozzi et al., 2002).

O estudo da mineralização da carga orgânica de efluentes, após aplicação no solo, pode nortear a definição da dose a ser aplicada a campo, de maneira que não prejudique a microbiota do solo. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de água residuária nos atributos microbianos do Latossolo Amarelo distrocoeso.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de biologia do solo do Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas – BA. Para realização dos estudos, foram retiradas com auxílio de um trado amostras de solo na profundidade 0,0-0,10 m em área sob cultivo da mamoneira no período de março de 2010 para realização das análises microbiológicas. As amostras coletada foram acondicionada em saco plástico e transportada imediatamente para o laboratório. Em seguida, foi peneirada em malha de 2 mm de abertura para a retirada de restos vegetais, pequenos insetos e organismos da fauna do solo.

Conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1999) o solo foi analisada quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química do Latossolo utilizado no experimento.

pH H₂O	P	K⁺	Ca+Mg	Ca⁺²	Mg⁺²	Al⁺³	H+Al	Na⁺	SB	T	V	MO
	mg dm ⁻³	-----Cmolc dm ⁻³ -----									%	g Kg ⁻¹
Faixa de profundidade: 0 - 0,20 m												
4,9	16	0,12	1,8	1,2	0,6	0,2	3,0	0,1	1,9	4,9	38,8	10,7

P – Fósforo disponível; (K⁺, Ca⁺², Mg⁺² e Na⁺) – Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio trocável, respectivamente; Al⁺³ – Alumínio trocável; (H+Al) – Acidez potencial; SB - Soma de bases trocáveis; CTC (T) – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V– Índice de saturação de bases; M.O – Matéria orgânica

O experimento foi conduzido em incubadora BOD na ausência de luz, com temperatura controlada de 25±0,20°C e umidade mantida próxima a 70 % da capacidade de retenção de água. Periodicamente, o teor de umidade era verificado por pesagem e corrigido com as diluições do efluente.

O delineamento experimental, foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos, 9 datas e 4 repetições, sendo que as datas de avaliações foram 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 26 e 32 dias após a incubação, com quatro potes sem solo (branco) para remover o efeito da contaminação de CO₂ oriundo do ambiente.

Os tratamentos aplicados foram quatro diluições do efluente (ETE) com água destilada (AD): T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE + 25% AD; T3 - 50% ETE + 50% AD; T4 - 25% ETE + 75% AD e T5 – somente água destilada (testemunha).

A respiração basal ou microbiana (C-CO₂) foi determinada a partir de unidades experimentais constituídas de potes respirométricos de vidro (600 mL) com tampa de rosca, contendo 100 g de solo (base seca) e vedados com fita adesiva. A umidade foi corrigida para 70% da capacidade máxima de retenção de água com os tratamentos supracitados. Sobre a superfície do solo, em cada pote respirométrico, foi colocado um frasco contendo 10 mL de solução de NaOH 1 mol L⁻¹, para absorver o CO₂ liberado do solo. Nas datas acima assinaladas, retirou-se o frasco com a solução de NaOH e adicionou-se 5 mL da solução de BaCl₂ 4 mol L⁻¹ e 3 gotas do indicador fenolftaleína a 1%. A quantidade de CO₂ liberado do solo foi determinada após titulação do excedente de NaOH com solução de HCl 1 mol L⁻¹ (Isermeyer, 1952 apud Alef e Nannipierl, 1995).

A respiração microbiana ou basal dos tratamentos foi medida pelo CO₂ liberado durante o período de incubação. O C-CO₂ liberado por hora de incubação foi calculado pela equação 1 (EMBRAPA, 2007):

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = ((V_b - V_a) \cdot M \cdot 3 \cdot 1000) / (P_s) / T$$

(Equação 1)

Em que: RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo; V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco); V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M = molaridade exata do HCl; 3 = Equivalente grama do C-CO₂; 1000 = fator de conversão de unidade; P_s (g) = massa de solo seco e T = tempo de incubação da amostra em horas.

Ao final da incubação, a biomassa microbiana foi determinada pelo método descrito por Vance et al. (1987), utilizando-se, em substituição ao clorofórmio, o forno de microondas marca Philco, frequência de 2.450 MHz e potência de 1,35KW por três (03) minutos para eliminar os microrganismos e provocar a liberação dos componentes celulares (Ferreira et al., 1999).

Os solos irradiados e não irradiados foram agitados com solução de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ (solo/solução de K₂SO₄ = 1/4), durante 30 minutos e filtrados. Os teores de carbono liberados da biomassa (BMS-C) foram determinados nos extratos através da metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

O carbono da biomassa microbiana (BMS-C) foi calculado pela equação 2:

$$\text{BMS-C} = E_c / K_c$$

(Equação 2)

Em que: E_c = (C orgânico extraído do solo irradiado) - (C orgânico extraído do solo não-irradiado) e K_c = fator de conversão de 0,33 (Sparling e West, 1988; Islam e Weil, 1998), para o método fumigação extração ou irradiação extração, ou seja, é um coeficiente (fator de mineralização do carbono – proporção do C microbiano liberado na forma de CO₂ durante a incubação).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi calculado, obtido pela razão entre C respirado por unidade de C microbiano. Esta relação entre o CO₂ acumulado e o total do CBM prediz que, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente em utilizar os recursos em seu meio, menos C é perdido como CO₂

pela respiração, podendo este ser incorporado aos tecidos microbianos. O cálculo qCO_2 da respiração basal do solo é dado pela equação 3, descrita em Embrapa (2007):

$$qCO_2 \text{ (mgC CO}_2 \text{ .g BMS C.h}^{-1} \text{)} = \text{RBS (mgC CO}_2 \text{ .kg}^{-1} \text{ solo.h}^{-1} \text{)} / \text{BMS-C (mg C.kg}^{-1} \text{ solo) . 10}^{-3} \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que: qCO_2 = Quociente metabólico do solo; RBS = Respiração basal do solo; BMS-C = Carbono da biomassa microbiana do solo

O efluente utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto doméstico, localizada na cidade de Cachoeira - BA e operada pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA). O tratamento do efluente ocorre em três etapas: inicialmente é realizado um tratamento preliminar, que consiste na eliminação dos sólidos grosseiros por meio de gradagem e desarenação, seguido do tratamento secundário, que é realizado em lagoa aerada, sucedida por lagoa facultativa, instaladas em série, caracterizando um sistema de tratamento biológico. O processo de decomposição da matéria orgânica nestas lagoas ocorre pela ação de diferentes grupos de fungos e bactérias, aos quais realizam a quebras de moléculas orgânicas mais complexas, existentes no efluente de esgoto doméstico, em substâncias mais simples (Sperling,1996).

Na lagoa aerada o oxigênio utilizado no processo biológico é introduzido mecanicamente através de aeradores, com a finalidade de manter a concentração de oxigênio dissolvido em toda ou parte da massa líquida, garantindo as reações bioquímicas que caracterizam o processo. Na lagoa facultativa ocorre penetração de luz e produção de oxigênio via fotossíntese em quase toda sua extensão, os microrganismos heterotróficos utilizam o oxigênio na decomposição de matéria orgânica. Parte dos sólidos dos esgotos deposita-se no fundo da mesma podem entrar em processo de decomposição anaeróbia (Sperling,1996).

A fim de caracterizar a composição química do efluente tratado de esgoto doméstico (ETE), foram coletadas alíquotas do efluente, correspondente ao esgoto bruto (sem diluição).

Parte das análises de macronutrientes e microbiológicas do efluente foram realizadas pelo Laboratório da Qualidade da Água de Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental – Universidade Federal de Viçosa (DEAA/UFV) e a outra parte no Laboratório da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Ceplac/ MAPA), seguindo a metodologia proposta pela APHA (1995). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas do efluente de esgoto doméstico tratado utilizado no experimento.

Constituintes	Unidade	ETE ⁽⁴⁾	VMRE
pH	---	6,5	6,8 a 7,3 ⁽¹⁾
Ca ⁺²	(mg L ⁻¹)	86,57	20 a 120 ⁽²⁾
Mg ⁺²	(mg L ⁻¹)	78,8	10 a 50 ⁽²⁾
K ⁺	(mg L ⁻¹)	51	10 a 40 ⁽²⁾
Na ⁺	(mg L ⁻¹)	140	50 a 250 ⁽²⁾
C.E	(dS m ⁻¹)	2,92	1,0 a 3,1 ⁽¹⁾
Salinidade	(mg L ⁻¹)	1,46	---
P _{total}	(mg L ⁻¹)	15,9	4,2 a 9,7 ⁽³⁾
N _{total}	(mg L ⁻¹)	60	10 a 50 ⁽²⁾
Alcalinidade	(mg L ⁻¹ CaCO ₃)	510,41	---
Cloretos	(mg L ⁻¹)	48	40 a 200 ⁽²⁾
HCO ₃ ⁻	(mg L ⁻¹)	1698,52	---
STD	(mg L ⁻¹)	1050,8	400 a 1200 ⁽²⁾
DBO	(mg L ⁻¹)	155	10 a 80 ⁽²⁾
DQO	(mg L ⁻¹)	269	30 a 60 ⁽²⁾
CO	(mg L ⁻¹)	138	---
Relação C/N	---	2,3	---
RAS	(meq L ⁻¹) ^{0,5}	4,48	4,5 a 7,9 ⁽²⁾

pH – potencial hidrogeniônico; ST – Sólidos Totais Dissolvidos; CO – Carbono orgânico; DQO – Demanda Química de Oxigênio; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; N_{total} – nitrogênio total; P_{total} – fósforo total; ETE – efluente tratado de esgoto; VMRE – valor médio de referência para esgoto tratado; ⁽¹⁾ Pescod (1992); ⁽²⁾ Feigin et al. (1991); ⁽³⁾ Bouwer e Chaney; ⁽⁴⁾ média de seis valores;

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo programa SAS (SAS INSTITUTE, 2004). As médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o monitoramento da atividade microbiana através da respiração basal (liberação de CO₂) foi possível avaliar os efeitos da aplicação do efluente tratado de esgoto no solo durante o período 32 dias de incubação. De acordo

com os resultados obtidos a respiração microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \text{ Kg solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$) não sofreu alterações significativas em função dos tratamentos aplicados (Figura 1).

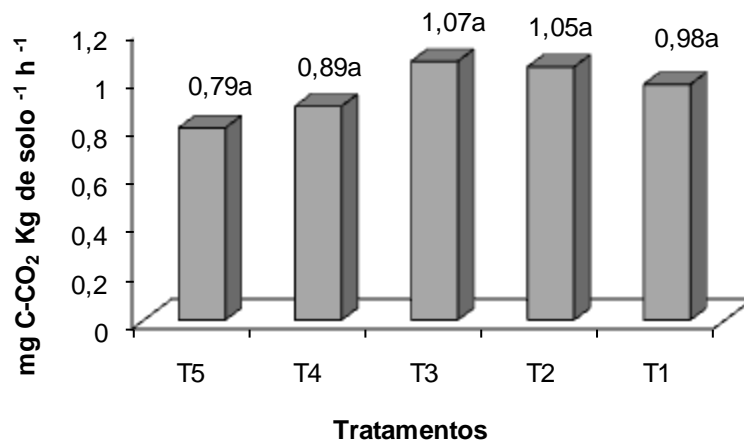


Figura 1 - Respiração microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \text{ Kg de solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$), em função da aplicação dos tratamentos (T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE mais 25% AD; T3 - 50% ETE + 50% AD; T4 - 25% ETE + 75% AD; T5 – testemunha) de efluente de esgoto tratado, de um Latossolo cultivado com mamoneira

Os resultados obtidos para o C-CO_2 acumulado demonstram aumento da atividade microbiana do solo pela adição do ETE, variando conforme as diluições aplicadas (Figura 2). Observou-se que os maiores valores emanado de C-CO_2 através da respiração, foram apresentados nos tratamentos T1, T2 e T3 atingindo a emissão máxima de 292,5, 354,0 e 269,9 mg C Kg solo^{-1} , respectivamente, seguido do tratamento T4 com 241,5 mg C Kg solo^{-1} e da Testemunha com 184,5 mg C Kg solo^{-1} .

A baixa emissão de C-CO_2 observada no tratamento testemunha provavelmente seja em função do solo apresentar baixo teor de matéria orgânica (CFSEMG, 1999). Considerando-se que a maioria dos microrganismos do solo, são heterotróficos, este resultado reflete os baixos teores de matéria orgânica do solo em questão que apresentou 10,7 g Kg^{-1} , que provavelmente é formada por um material altamente recalcitrante e já estabilizado. Com relação ao tratamento T4 observou-se que para essa diluição, houve uma redução na ordem de 31,78% na emissão de CO_2 em relação ao tratamento T2, indicando provavelmente maior eficiência no uso do substrato por parte da microbiota (Figura 2).

As diferenças entre as quantidades de C-CO₂ liberadas nos tratamentos que receberam ETE e a testemunha indicam a contribuição do efluente no aumento da atividade microbiana, ou seja, os microrganismos do solo podem ter se adaptado produzindo enzimas capazes de degradar as substâncias presentes no ETE. No entanto, o aumento na respiração basal pode ser o primeiro sinal de estresse, uma vez que a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular (Araújo, 2007).

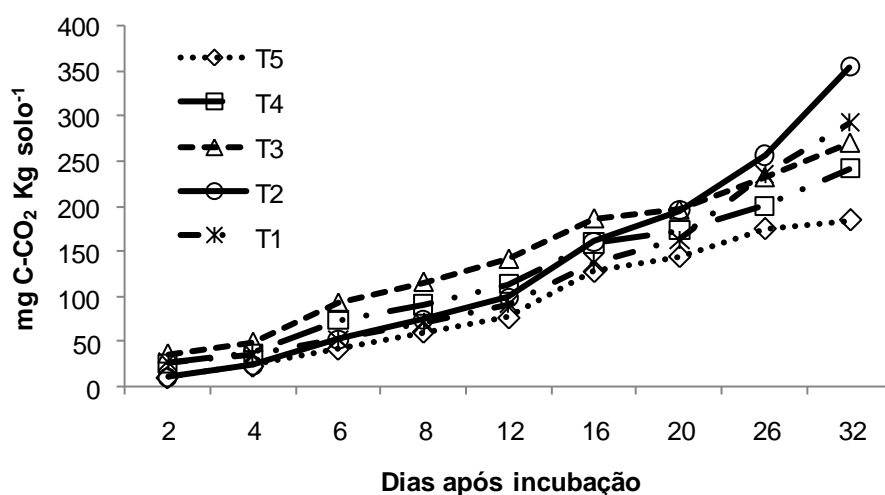


Figura 2 – Produção acumulada de C na forma de CO₂ em 9 épocas de avaliação em Latossolo incubado durante 32 dias em função da aplicação dos tratamentos (T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE mais 25% AD; T3 - 50% ETE + 50% AD; T4 - 25% ETE + 75% AD; T5 - Testemunha - AD) de efluente de esgoto doméstico tratado, em um Latossolo, cultivado com mamoneira.

Os valores encontrados para o carbono da biomassa microbiana (BMS-C) em virtude da aplicação de diluições do ETE no solo variaram de 280 a 611 mg C Kg de solo⁻¹ (Figura 3). O tratamento T4 estimulou o aumento da biomassa microbiana (611 mg C Kg de solo⁻¹), possivelmente, devido ao fornecimento de C, energia e nutrientes em proporção mais adequada para os microrganismos (Figura 3) quando comparada aos demais tratamentos. O valor observado para BMS-C no tratamento T4 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, promovendo um acréscimo de 118% em relação à testemunha. Com a redução da diluição do ETE, constatou-se que as médias de BMS-C no solo não foram diferentes estatisticamente da testemunha e entre si.

A disposição de efluente no solo por longos períodos tem promovido diferentes efeitos no carbono da biomassa microbiana, aumento do BMS-C tem sido relatado em diversos estudos (Meli et al., 2002; Ramirez-Fuentes et al., 2002; Gelsomino et al., 2006), bem como a ausência de efeito (Schipper et al., 1996; Wang et al., 2003). O efeito da disposição de efluente no solo sobre o carbono da biomassa microbiana está, principalmente, relacionado com a adição de carbono dissolvido no efluente, salinidade, sodicidade, presença de metais pesados (Yuan et al., 2007; Rietz & Haynes, 2003; Mamilov et al., 2004; Rasul et al., 2006; Wichern et al., 2006) e favorecimento das condições ambientais.

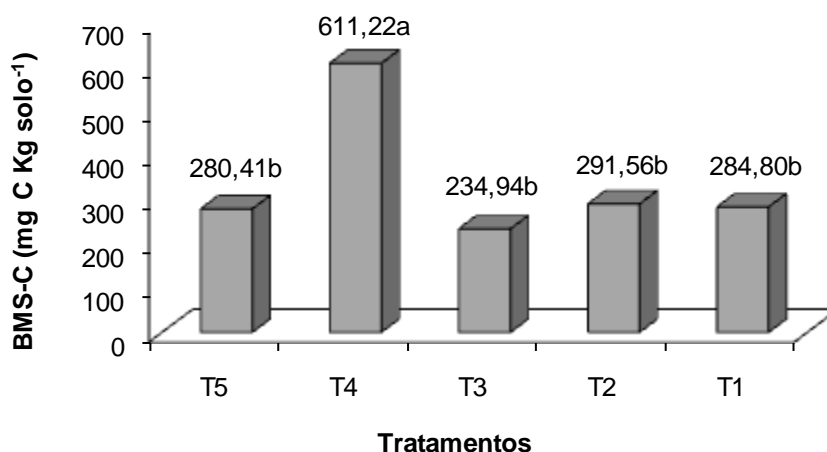


Figura 3 – Carbono da biomassa microbiana (BMS-C), em função da aplicação dos tratamentos (T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE mais 25% AD; T3 - 50% ETE + 50% AD; T4 - 25% ETE + 75% AD; T5 - Testemunha - AD) de efluente de esgoto doméstico tratado, em Latossolo cultivado com mamoneira.

O qCO_2 variou entre 1,11 a 6,79 mg C- CO_2 .g BMS C.h⁻¹, conforme nos mostra na tabela (Figura 4). De acordo com Insam e Domsch (1988), a respiração microbiana por unidade de biomassa microbiana diminui em sistemas mais estáveis. Baseado nessa informação pode-se concluir que os tratamentos em geral não causaram distúrbios a microbiota do solo. Entretanto, o T4 apresentou valor de qCO_2 estatisticamente menor que os demais tratamentos demonstrando que, para essa diluição, houve estímulo por parte do ETE aplicado, indicando que maior proporção de C foi utilizado para crescimento e reprodução da biomassa microbiana (Tótola & Chaer, 2002), sendo superior ao solo umedecido com água destilada somente (Testemunha).

Embora alguns autores apresentem valores limites para identificar uma condição de estresse em uma comunidade microbiana, como o valor de $2 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ Cmic h}^{-1}$, proposto por Anderson (2003). Entretanto os resultados encontrados para o $q\text{CO}_2$ indicaram que não ocorreu estresse na microbiota do solo em função da aplicação do efluente, já que o valor de $q\text{CO}_2$ no solo que recebeu somente água destilada (testemunha) não diferiu estatisticamente dos tratamentos T1, T2 e T3. Em geral, um baixo quociente metabólico indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (Sakamoto & Obo,1994).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) é um valioso indicador de estresse, perturbação ou estabilidade do ecossistema (Speir, 2002). Ele indica o estado metabólico dos microrganismos e a quantidade de energia necessária para a manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para a síntese da biomassa.

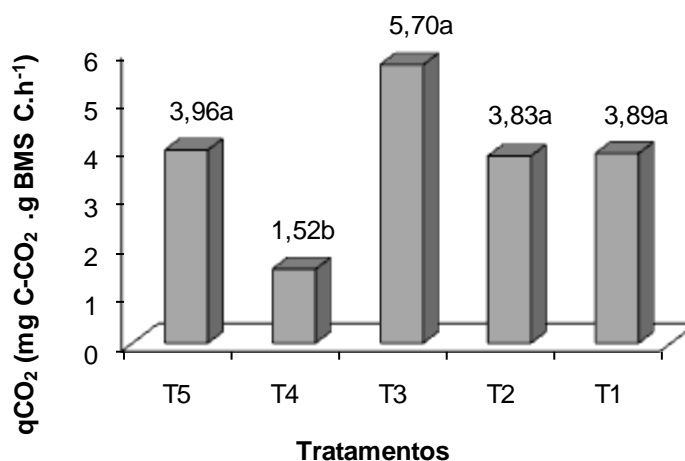


Figura 4 – Quociente metabólico, em função da aplicação de diferentes diluições ETE (T1 - 100% ETE; T2 - 75% ETE mais 25% AD; T3 - 50% ETE + 50% AD; T4 - 25% ETE + 75% AD; T5 - Testemunha - AD) de efluente de esgoto doméstico tratado, em Latossolo cultivado com mamoneira.

CONCLUSÃO

Para as condições em que foi desenvolvido o estudo, os resultados revelam que:

1. O uso do efluente tratado de esgoto doméstico favoreceu o aumento do carbono da biomassa microbiano em Latossolo Amarelo cultivado com mamoneira;
2. O quociente microbiano sofreu redução na diluição de 25% do efluente tratado (T4) aplicado em Latossolo Amarelo;
3. A respiração basal do solo não foi afetada com a aplicação do efluente.
4. O efluente em estudo não apresentou risco a microbiota do Latossolo Amarelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

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

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R. T. R., Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosciences Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Logo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349p

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.991-996, 1999.

FILIP, Z.; KANAZAWA, S.; BERTHELIN, J. Characterization of effects of a long-term wastewater irrigation on soil quality by microbiological and biochemical parameters. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 162, p. 409-413, 1999.

FONSECA, A. F. ; Herpin, U; Paula, A. M.; Victoria, R. L.; Melfi, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental

implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, p.194-209, 2007a.

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

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v. 47, p.177-188, 1988.

ISLAM K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology & Fertility of Soils**. v.27, p.408-416, 1998.

MAMILOV, A.; DILLY, O.M.; MAMILOV, S.; INUBUSHI, K. Microbial eco-physiology of degrading Aral Sea wetlands: consequences for C-cycling. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.50, p.839-842, 2004.

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

PAULA, A. M. **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de efluente de esgoto tratado**. 2008. 120p. Tese (Doutorado em Agrônoma) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PONTES, W.L. **Mineralização de um biossólido industrial no solo e efeito desse na biomassa e atividade microbiana**. 2002. 73p. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregation distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 77, p. 79-84, 2004.

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

RASUL, G.; APPUHN, A.; MÜLLER, T.; JOERGENSEN, R.G. Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. **Applied Soil Ecology**, v.31, p.1-10, 2006.

RIETZ, D.N.; HAYNES, R.J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, p. 845-854, 2003.

SAKAMOTO, K.; OBO, Y. **Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass**. *Biol. Fert. Soils*, v. 17, p. 39-44, 1994.

SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT User's Guide. v. 8.0. Vols. I, II and III. Cary NC: **SAS Institute**, Inc., 2000.

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

SIQUEIRA, J. O.; NAIR, M. G.; HAMMERSCHMIDT, R.; SAFIR, G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil microbial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.10, p.63-121, 1991.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.337-343, 1988.

SPEIR, T.W. Soil biochemical properties as indices of performance and sustainability of effluent irrigation systems in New Zealand—a review. **Journal of The Royal Society of New Zealand**, v. 32, p 535–553, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1995. (Boletim Técnico, 5).

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: V. ALVAREZ, V. H.; SCHAEFEER, C.E.G.R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 195-276.

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

VON SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 2, 211 p.

YUAN, B.C.; LI, Z.Z.; LIU, H.; AO, M.; ZHANG, Y.Y. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. **Applied Soil Ecology**, v.35, p.319-328, 2007.

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

WICHERN, J.; WICHERN, F.; JOERGENSEN, R.G. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. **Geoderma**, v.137, p.100-108, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da escassez progressiva dos recursos hídricos, vivenciada por vários países, organismos governamentais e setores da sociedade civil tem buscado, de forma cada vez mais intensa, fontes alternativas para substituir seu uso em atividades que prescindem de água de boa qualidade. Dentre essas atividades, destaca-se a agricultura, responsável por consumis cerca de 70% de toda água coletada no mundo. A reutilização direta da água pode ser a melhor estratégia de combater esse problema. Nesse sentido diversos pesquisadores vêm testando uso planejado do efluente de esgoto doméstico tratado na irrigação de culturas. Os resultados revelaram que efluente foi responsável por uma serie de alterações negativas no solo, apesar de não ser observado nenhum aumento expressivo desses atributos. Do ponto de vista ambiental e econômico, a disposição do ETE no solo pode vir como alternativa para o tratamento do ETE, além de potencializar a produção de alimentos; contudo, é necessário o monitoramento constante dos atributos do solo através de estudos de médio e longo prazo, a fim de se identificar possíveis efeitos acumulados no solo e na cultura decorrentes da aplicação do ETE.