

FELIZARDA VIANA BEBÉ

**AVALIAÇÃO DE SOLOS SOB DIFERENTES PERÍODOS
DE FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA E ALTERAÇÕES
NA QUALIDADE DO EFLUENTE DRENADO**

RECIFE - PE

Fevereiro de 2007

FELIZARDA VIANA BEBÉ

AVALIAÇÃO DE SOLOS SOB DIFERENTES PERÍODOS DE
FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA E ALTERAÇÕES NA
QUALIDADE DO EFLUENTE DRENADO

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como
parte das exigências do Programa de Pós
– Graduação em Engenharia Agrícola,
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Mário Monteiro
Rolim

RECIFE - PE
Fevereiro de 2007

Ficha catalográfica

M528L Bebé, Felizarda Viana
Avaliação de solos sob diferentes períodos de fertirrigação
com vinhaça e alterações na qualidade do efluente / Felizarda Viana Bebé.
2007.
39 f.: il.

Orientador: Mário Monteiro Rolim
Dissertação (Mestrado em Agronomia Agrícola – Água e Solo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco.

CDD 631.41

1. Fertilidade do solo
 2. Vinhaça
 3. Resíduos
 4. Nutrientes
- I. Rolim, Mário Monteiro
 - II. Título

FELIZARDA VIANA BEBÉ

Avaliação de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça e alterações na qualidade do efluente

Dissertação defendida e aprovada em 28 de fevereiro de 2007 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Mário Monteiro Rolim, Prof. Dr.

Examinadores:

Hans Raj Ghyei, Prof. Dr

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr

Maria de Fátima Cavalcanti Barros, Prof^a Dr^a.

“Tudo posso naquele que me fortalece ”.

Filipenses 4:13

A Deus,
Aos meus pais Noélio e
Maria Lúcia, pelo amor e
carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo na minha vida, e pelos sonhos alcançados.

Aos meus pais, pela alegria e acompanhamento desta jornada, e aos meus irmãos Júnior, Lucas e Fabiana, pela atenção nos momentos difíceis, por tudo!

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, especialmente aos Laboratórios de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos e o de Química do Solo pela oportunidade de realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela importante bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim pela orientação, pelos conhecimentos, sugestões e amizade.

A Uilka pela ajuda constante e eficiente na realização deste trabalho.

À Profa. Dr. Elvira Pedrosa, pela orientação na análise estatística, pela atenção, amizade e sugestões na elaboração deste trabalho.

Ao meu noivo George B. Silva, pelo companheirismo, carinho, incentivo e ajuda constante nas análises.

Ao Prof. Veronildo Souza de Oliveira pela ajuda no experimento e amizade.

Ao funcionário José Wanderley “Zeca” pela ajuda em campo e sugestões.

A todos os professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, principalmente aos Prof. Dr. Abelardo Montenegro, Prof^ª. Dr^ª. Maria de Fátima, Prof. Dr. Geber Barbosa, Prof. Dr. Júlio Vilar, Prof. Dr. Ênio Farias, Prof. Dr. Tonny Silva e Prof. Dr. Pandorfi pelos conhecimentos transmitidos, sugestões e amizade.

Ao Prof. Dr. Mateus Rosas Ribeiro pela descrição dos perfis dos solos, Prof. Dr. Clístenes Nascimento e a Prof. Dr^ª. Betânia por ter cedido o laboratório para realização de análises químicas.

A Prof^ª. Dr^ª. Sylvana Naomi Matsumoto da UESB, por ter contribuído na minha formação e pelo carinho e amizade.

Ao Prof. Dr. Emídio Cantídio pelo incentivo e amizade.

Aos funcionários Bartolomeu e Lulinha que sempre estiveram presentes no momento em que precisei.

A Júnior Granja pela colaboração e amizade.

Ao laboratorista Anacleto, pela ajuda nas análises de granulometria e pelo convívio.

Ao Engenheiro Agrônomo Luciano pela ajuda nas análises químicas.

Aos colegas de mestrado em Engenharia Agrícola da UFRPE: Daniella, Albert, Sérgio, Anildo, Márcio e Adriana pelo convívio e momentos de descontração, especialmente Thaís pela ajuda nas análises de laboratório, pelos conselhos, pela amizade de sempre.

Aos demais colegas do mestrado pelas horas de convivência e especialmente, Jussálvia por ter me acompanhando em viagem a campo, Aérica, Lígia e Pedro pela colaboração no laboratório.

Aos colegas do laboratório de fertilidade do solo, especialmente João Paulo e Vinícios pelo auxílio na execução das análises.

Aos amigos Shirley de Oliveira, Francisco Xavier, Pietro, Leandra, Edivan, Josângela, Fátima, Samuel, Cícero (Ciço), Josimar, Patrícia, Marcelo, Rossini, Jailson, Márcio.

A Usina Santa Tereza, principalmente Guilherme Heráclio por ter cedido a área para realização experimental.

E a todos que direto ou indiretamente contribuíram para elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
1 CAPÍTULO I – Introdução Geral.....	01
2 CAPÍTULO II - Alterações físico-químicas em solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça.....	07
Introdução.....	09
Material e Métodos.....	10
Resultados e Discussão.....	13
Conclusões.....	18
Literatura Citada.....	18
3 CAPÍTULO III - Alterações na qualidade de efluente de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça.....	21
Introdução.....	23
Material e Métodos.....	24
Resultados e Discussão.....	27
Conclusões.....	33
Literatura Citada.....	33
Conclusões Gerais.....	36

Resumo

A cana-de-açúcar é uma das culturas historicamente mais importante para o agronegócio brasileiro, com 4,5 milhões de hectares plantados gerando 26 milhões de toneladas de açúcar em bruto e cerca de 15,2 bilhões de litros de álcool combustível. O Brasil é o maior exportador mundial de açúcar e álcool. Por outro lado, a produção de álcool gera grande volume de vinhaça que apresenta em sua composição alto teor de matéria orgânica e elementos químicos. Dentre os elementos químicos da vinhaça, o potássio se encontra em maior concentração em relação ao cálcio e magnésio o que torna a vinhaça um resíduo bastante aproveitado como fertilizante. Desse modo o objetivo deste estudo foi avaliar as alterações físico-químicas ao longo do perfil e na qualidade do lixiviado de solos fertirrigados com vinhaça ao longo do tempo. Foram selecionadas quatro áreas: Área 1, com 0-5 anos de aplicação de vinhaça; Área 2, com 5-10 anos; Área 3, com mais de 10 e Área 4, que nunca recebeu aplicação de vinhaça. Em cada uma das áreas foram demarcados 20 pontos, georreferenciados, formando uma malha de 10 x 10,00 m e, coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Após a amostragem, o solo foi secado ao ar, destorroado e peneirado para realização de análises granulométricas, areia, silte e argila e físico-química para as variáveis Ca, Mg, K, Na, trocáveis, pH (1:2,5 solo:água) e condutividade elétrica no extrato da pasta saturada (CE). Para a qualidade do lixiviado, amostras de solo das referidas áreas foram retiradas e reproduzidas em 16 colunas de PVC com 20 cm e 120 cm, diâmetro e altura, mantendo as densidades e horizontes originais. Posteriormente o solo das colunas foram saturados e decorridos 7 dias foi aplicada uma lâmina de água (L1) e em seguida coletado o lixiviado. Após 7 dias da aplicação da L1 aplicou-se uma dose de vinhaça (L2) correspondente a $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e com 45 dias de incubação aplicou uma lâmina de lixiviação e coletou todo o efluente drenado (lixiviado) para análise de Ca, Mg, K, Na, pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT). Para o ensaio de campo, os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística e correlação de Pearson; do laboratório, submetidos a análise de medida repetida ao longo

do tempo para a variância e o teste de Tukey para a comparação das médias. Houve correlação entre a profundidade e as variáveis em todas as áreas tornando evidente que a aplicação de vinhaça altera os teores dos elementos químicos de acordo com as características e o manejo de cada área. Houve diferença para todas as variáveis entre a lâmina de água e de vinhaça aplicada evidenciando aumento na concentração dos elementos químicos, mas com valores bastante inferiores a vinhaça aplicada.

Palavras-chave: lixiviado, elementos químicos, aproveitamento de resíduos, solo

Abstract

Sugarcane is one the most historically important crop to agribusiness in Brazil, with 4.5 millions hectares cultivated producing 26 millions tons of sugar and 15.2 billions liters of combustive alcohol in 2006. Brazil is the main exporter of sucrose sugar and alcohol in the world. On the other hand, alcohol production generates high volume of stillage with high level of organic mater and chemical elements. Among the chemical elements, potassium concentration is higher than calcium and magnesium making this residue ordinarily used as fertilizer. Therefore, the objective of this study was to evaluate physic-chemical alterations in soils under different stillage fertirrigation periods and the leached quality of these soils. It was selected four areas: Area 1, being irrigated with stillage up to 5 years; Area 2, from 5 to 10 years; Area 3, more than 10 years; Area 4, without stillage application. In each area 20 points were demarcated, georeferenced, forming a $10 \times 10.00\text{m}$ mesh, and soil samples collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-40cm. After sampling, the soil was dried outdoors, disintegrated and passed through sieves for analysis of particles size: sand, silt, clay, and for the physic-chemicals: Ca, Mg, K, Na, pH (1:2.5 soil:water), and electric conductivity (EC) in saturated paste extract. For leached quality, soil samples of these areas were removed and filled out 16 PVC-columns (25 cm and 120 cm, diameter and height, respectively) with respective horizons and densities of the original soils. Soils inside the columns were saturated, and 7 days later, it was applied one water depth (L1) and collected the leached. Seven days after L1 application, it was applied stillage at rate equivalent to $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (L2), and after 45 days of incubation a leaching depth was applied and collected all drained effluent for analysis of Ca, Mg, K, Na, pH, EC and total dissolved solids (TDS). For the field experiment, simple linear correlations between pair of data were measure by Pearson's correlation coefficient. PVC-columns data were analyzed through repeated measure along the time for the variance, being used Tukey test for the averages comparison. The results pointed out correlation between depth and the other variables in all areas indicating stillage application alters chemical elements levels depending on soil

and handling of each area. In addition, there was significant difference between water and stillage depths for all the variables evidencing increasing in chemical elements concentration, but with quite inferior values to the stillage applied.

Key-Words: leaching, chemical elements, residues use, soil

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (híbridos de *Saccharum* spp.) foi introduzida no Brasil em 1553 estabelecendo principalmente nas regiões Centro-Sul e Nordeste sendo considerada historicamente como um dos principais produtos agrícolas do país. No Brasil, planta-se 4,5 milhões de hectares de cana (equivalentes a cerca de 3% das áreas agricultáveis do País, 19% da área do Reino Unido e 8% do território francês), matéria-prima que permite a fabricação de energia natural, limpa e renovável. Na safra de 2004/2005, a produção de cana-de-açúcar foi de, aproximadamente, 381 milhões de toneladas que renderam aproximadamente 26 milhões de toneladas de açúcar em bruto e cerca de 15,2 bilhões de litros de álcool combustível sendo considerado maior exportador mundial de açúcar e álcool (Brasil, 2005).

Segundo dados do IBGE (2007), houve um aumento na produção de 5,04 % em 2006 devido a colheita em novas áreas plantadas. A demanda crescente no mercado nacional e internacional por combustíveis renováveis, especialmente o álcool, contribuiu para a expansão das áreas de cana nos estados mais tradicionais no plantio da matéria-prima. São os casos da região da zona da mata no Nordeste brasileiro, distribuída nos Estados da Paraíba, Pernambuco e de Alagoas, e das regiões de Piracicaba e de Ribeirão Preto no Estado de São Paulo. O Estado de Pernambuco produziu na safra 1999/00 13.320.164 toneladas de cana-de-açúcar resultando do seu processamento 856.021 toneladas de açúcar e 339.893 m³ de álcool total. Outros estados como Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás estão investindo no plantio de cana-de-açúcar. No sul do Brasil, o Paraná já é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do Estado (Torquato, 2006).

Se por um lado, o aumento da área plantada, irá alavancar a produção no país de álcool, por outro resultará na geração de grandes volumes de resíduos. Dentre os resíduos gerados na indústria sucroalcooleira, os principais são a vinhaça, bagaço e a torta de filtro. A vinhaça é o resíduo mais importante devido ao grande volume produzido, pois cada litro de álcool gera uma proporção de 13 litros de vinhaça (Freire

& Cortez, 2000). A produção de bagaço também é bastante acentuada correspondendo a 300 kg por tonelada de cana, mas por outro lado o mesmo é utilizado pelas usinas como combustível e o excedente como adubo orgânico. Segundo Cerri et al. (1988), a torta de filtro é considerada o terceiro resíduo que representa até 30 kg por tonelada de cana moída e semelhante ao bagaço é revertida em adubo orgânico em canaviais.

A composição da vinhaça é bastante variável, dependendo principalmente da composição do vinho empregado na destilação que possivelmente depende de fatores como natureza e composição da matéria-prima, sistema utilizado no preparo do mosto, método de fermentação adotado e modo de conduzir a fermentação alcoólica, tipo de levedura utilizada, tipo de aparelho destilatório e maneira de destilação (Almeida, 1952 citado por Silva & Orlando Filho, 1981).

Por apresentar alta carga orgânica, a vinhaça é um resíduo altamente poluente, além disso, é rica em potássio, cálcio, sódio, nitrogênio e baixo teor de fósforo com um desbalanceamento do potássio em relação aos demais elementos. No Estado de Pernambuco, os primeiros dados da composição química de vinhaça foram verificados por Pontes (1959) constatando 3,5 kg de $K_2O\ m^{-3}$; 2,02 kg de cálcio m^{-3} ; 1,09 kg de sódio m^{-3} e 0,70 kg de nitrogênio m^{-3} . A vinhaça de mosto de melão apresenta maior concentração de elementos e matéria orgânica em relação à vinhaça proveniente dos demais mostos. Brito et al. (2005), verificaram teores de potássio, cálcio, magnésio e sódio de 1.123, 352, 16 e 113 respectivamente, expressos em $mg\ L^{-1}$ de vinhaça. A concentração de potássio foi de 2.400 $mg\ L^{-1}$ de vinhaça de mosto misto utilizada em experimento de campo por Paulino et al. (2002).

A vinhaça até a década de 80 era despejada em corpos hídricos ocasionando poluição dos rios e lagos, destruindo toda a fauna e flora existente. A presença de alta carga orgânica da vinhaça em contato com a água consome todo o oxigênio dissolvido devido a oxidação da matéria orgânica pelos microorganismos levando a morte de peixes. Dessa forma, a alternativa mais viável foi a disposição nos solos cultivados com a própria cana-de-açúcar aumentando a fertilidade pela presença de minerais contidos no resíduo (Ribeiro & Sengik, 1983).

Brito et al. (2005) verificaram que doses crescentes de vinhaça aumentam a concentração de K trocável, principalmente nas camadas mais superficiais como encontrado no horizonte Ap do Argissolo. Estudando os efeitos de diferentes doses de vinhaça sobre dois tipos de solos, reproduzidos em colunas de PVC, Sengik et al.

(1988), também observaram que houve um acréscimo de bases trocáveis e pH na camada superior do solo.

Além disso, se aplicada em doses elevadas pode alterar a qualidade da cana para produção de açúcar, lixiviar no perfil, contaminando o lençol freático e salinizando o solo (Centurion et al. 1989). A lixiviação dos nutrientes é influenciada pelo regime e distribuição de chuvas, pelo tipo de cobertura vegetal e por características do solo, dentre as quais destacam-se permeabilidade, capacidade de retenção de íons e concentração de sais na solução e formas dos compostos químicos do solo (Terry & McCants, 1970 citados por Leal et al., 1982).

Nunes et al. (1982) constataram aumento na lixiviação de K, Ca e Mg em Podzólico Vermelho amarelo com o incremento das doses de vinhaça aplicadas. O potássio por ser o elemento em maior concentração na vinhaça é preferencialmente o mais lixiviado. Por outro lado, o solo funciona como uma manta filtrante de águas residuárias devido a interceptação dos sólidos em suspensão pelas plantas, adsorção dos cátions à matriz do solo e oxidação da matéria orgânica promovida pelas bactérias que se estabelecem no solo (Matos & Sedyama, 1996). O solo é capaz de remover os elementos como verificado por Lyra et al. (2002) em efluente de poços de monitoramento com 3 metros de profundidade, valores de K bem inferiores aos contidos na vinhaça aplicada “*in-natura*”. Semelhantemente, Cunha et al. (1987) em áreas irrigadas com vinhaça, observaram baixo risco do potássio em poluir a água subterrânea, pois a lixiviação de íons abaixo da profundidade de 1,20 m foi baixa. Corrêa et al (2001) estudando a diferença entre área sob mata e sob cultivo de cana, os teores de potássio foram superiores na área sob cana fertirrigada com vinhaça na camada de 40-60 cm devido ao deslocamento do elemento com a precipitação intensa ocorrida na área experimental.

Estudos realizados mostraram que a maior concentração de sódio no lixiviado foi proporcional a dose de vinhaça adicionada devido a competição com potássio nos sítios de troca (Brito et al., 2005).

Dentro deste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações químicas em solos fertirrigados com vinhaça e a qualidade de efluente drenado.

LITERATURA CITADA

- BRASIL. Grupo de Trabalho Interministerial do Setor Sucroalcooleiro da Região Nordeste (Decreto de 21 de outubro de 2004). Casa Civil da Presidência da República, 2005, 100p.
- Brito, F.L. Rolim, M.M. Pedrosa, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Suplemento, Campina Grande, p. 52-56, 2005.
- Centurion, R.E.B.; Moraes, V.A.M.; Ruiz, R.T. Destilação final da vinhaça produzida por destilarias autônomas e anexas, enquadradas no programa nacional do álcool. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 11, 1989, Fortaleza: ABES, 1989.
- Cerri, C.C. Pólo, A.; Andreux, F.; Lobo, M.D.C.; Eduardo, B.P. Resíduos Orgânicos da Agroindústria Canavieira: 1. Características Físicas e Químicas. Piracicaba, STAB, p.34-37, 1988.
- Corrêa, M.C.M.; Consolini, F.; Centurion, J.F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Maringá, Acta Scientiarum, v.23, n.5, p.1159-1163, 2001.
- Cunha, R.C.A.; Costa, A.C.S.; Maset Filho, B.; Casarini, D.C.P. Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil: I - Physical and chemical aspects. Water Science and Technology, Colchester, v.19, n.8, p.155-156, 1987.
- Freire, W.J.; Cortêz, L.A.B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guaíba: Editora Agropecuária, 2000. 203p.
- IBGE. <http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia>. 01 Fev. 2007.
- Leal, J.R.; Nunes, M.R.; Velloso, A.C. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. II. Fosfato. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.2, p.177-180, 1982.
- Lyra, M.R.C.C. Avaliação do potencial poluidor da vinhaça utilizada sobre a qualidade das águas subterrâneas. Recife: UFRPE, 2002. 92p. Dissertação Mestrado.
- Matos, A.T.; Sedyama, M.A.N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquido de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: Seminário mineiro sobre manejo e utilização de dejetos de suínos, 1996, Viçosa. Anais...Viçosa: EPAMIG, 1996. p.45-54.

- Nunes, M.R.; Velloso, A.C.X.; Leal, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 16, n.2, p.171-176, 1982.
- Paulino, A.F.; Medina, C.C.; Robaina, C.R.P.; Laurani, R.A. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.23, n.2, p.145-150, 2002.
- Ribeiro, A.C; Sengik, E. Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e químicas de duas amostras de Latossolos. *Revista Ceres*, Viçosa, v.30, p.25-31, 1983.
- Sengik, E.; Ribeiro, A.C.; Condé, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.12, p.11-15, 1988.
- Silva, G.M.A.; Orlando Filho, J. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Boletim Técnico Planalsucar*, Piracicaba, v.3, n.8, p.5-22, 1981.
- Torquato, S.A. Análises e indicadores do agronegócio. Instituto de Economia Agrícola, São Paulo, v.1, n.10, 2006.

CAPÍTULO II

ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS EM SOLOS SOB DIFERENTES PERÍODOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA

Alterações físico-químicas em solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça¹

Felizarda V. Bebé², Mário M. Rolim³, Elvira M.R. Pedrosa³, George B. Silva⁴ & Veronildo S. Oliveira⁴

¹Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE

² UFRPE/DTR. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6276. Email: felizvb@yahoo.com (Foto)

³ UFRPE/DTR. Fone: (81) 3320-6276. Email: rolim@dtr.ufrpe.br, elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

⁴ UFRPE/DTR. Fone: (81) 3320-6276. Email: silvagb@yahoo.com.br, verofat@hotmail.com.br

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações físico-químicas associadas à profundidade e respectivas correlações em solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça. Para isto, na Usina Santa Tereza, PE, foram selecionadas quatro áreas: Área 1, com até 5 anos sob fertirrigação com vinhaça; Área 2, com 5-10 anos; Área 3, com mais de 10 anos e, Área 4, sem aplicação de vinhaça. Em cada uma das áreas foram marcados 20 pontos, georreferenciados, formando uma malha e, coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Após a amostragem, o solo foi secado ao ar, destorroado e peneirado para realização de análises granulométricas: areia, silte e argila e físico-químicas: Ca, Mg, K, Na, trocáveis, pH (1:2,5 solo:água) e condutividade elétrica (CE) no extrato da pasta saturada. O grau de correlação linear simples entre os pares de dados foi medido pelo coeficiente de correlação de Pearson. Os resultados obtidos mostraram correlação entre profundidade e demais variáveis em todas as áreas tornando evidente que a aplicação de vinhaça altera os teores dos elementos químicos de acordo com as características e o manejo de cada área.

Palavras-chave: vinhaça, fertilidade do solo, aproveitamento de resíduos.

Physic-chemical alterations in soils under different periods of stillage fertirrigation

Abstract: The objective of this study was to evaluate physic-chemical alterations associated to soil depth and respective correlations in soils under different stillage fertirrigation periods. Therefore, at Usina Santa Tereza, it was selected four areas: Area 1, being irrigated with stillage up to 5 years; Area 2, from 5 to 10 years; Area 3, more

than 10 years; Area 4, without stillage application. In each area 20 points were demarcated, georeferenced, forming a mesh, being soil samples collected at depths of 0-10, 10-20 and 20-40cm. After sampling, the soil was dried outdoors, disintegrated and passed through sieves for analysis of particles size: sand, silt, clay, and for the physicochemicals: Ca, Mg, K, Na, pH (1:2.5 soil:water), and electric conductivity (EC) in saturated paste extract. Simple linear correlations between pair of data were measure by Pearson's correlation coefficient. The results pointed out correlation between depth and the other variables in all areas indicating stillage application alters chemical elements levels depending on soil and handling of each area.

Key-Words: stillage, soil fertility, residues use

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (híbridos de *Saccharum* spp.) do mundo, seguido da Índia e Austrália. Em média, 55% da cana produzida no Brasil se transformam em álcool e 45% em açúcar. No país a cana é plantada no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra (UNICA, 2004). Em 2006, o Brasil participou com 35,4 % do total de 48 bilhões de litros de álcool produzido no mundo, evidenciando aumento de 4,35 % em relação a 2005. Este aumento significativo na produção de álcool é reflexo do crescimento da produção de etanol nos Estados Unidos a partir do milho, da oferta brasileira de álcool, além da maior demanda por combustíveis renováveis (Torquato, 2006).

Uma das conseqüências do aumento da produção do álcool é a produção de grandes volumes de vinhaça, resíduo altamente poluente devido à presença de alta demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), consumindo de 12.000 a 20.000 mg de oxigênio por litro de substâncias biodegradáveis (Longo et al., 2002). Além da alta carga orgânica, a vinhaça é rica em potássio, cálcio, magnésio e sódio, com desbalanceamento do potássio em relação aos demais elementos. Uma das formas mais econômicas e eficientes de utilização da vinhaça é a disposição no solo, prática comum considerada como forma de tratamento e de disposição final (Feigin et al., 1991).

A fertirrigação com vinhaça é bastante difundida nas regiões canavieiras com resultados satisfatórios em relação às alterações químicas no solo, como o aumento de

matéria orgânica, pH, teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis. Quando aplicada adequadamente, cerca de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça equivale a uma adubação de 61 kg ha^{-1} de nitrogênio, 343 kg ha^{-1} de potássio e 108 kg ha^{-1} de cálcio (Medeiros et al., 2003).

Brito et al. (2005) verificaram que doses crescentes de vinhaça aumentam a concentração de K trocável, principalmente nas camadas mais superficiais do Argissolo estudado. Sengik et al. (1988), estudando os efeitos de diferentes doses de vinhaça provenientes de mosto misto sobre dois tipos de solos, também observaram acréscimo de bases trocáveis e pH na camada superior da coluna e em profundidade quando aplicaram a dose mais elevada.

A aplicação de vinhaça por longo período de tempo foi estudada por Camargo et al. (1983) onde foram verificados aumentos de pH, cálcio, magnésio e principalmente potássio nas camadas superficiais do solo e em profundidade quando da aplicação da maior dose.

Segundo Paula (1999), os elevados teores de potássio no complexo sortivo do solo podem acarretar acréscimos também na solução do solo, propiciando lixiviação dos nutrientes em profundidade. A aplicação inadequada de vinhaça pode contribuir para o aumento dos elementos químicos no solo, principalmente os sais de potássio e sódio que influenciam o aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) do solo (Santos, 1981).

De acordo com Cambuim (1983), o potássio apresenta comportamento mais dependente de períodos de incubação ao longo da profundidade, do que com doses de vinhaça. Glória constatou maiores teores de potássio em linhas de cana irrigadas com vinhaça do que as sem irrigação, principalmente a partir do terceiro ano.

A partir do que foi exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações físico-químicas em função da profundidade e respectivas correlações em solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada na Usina Santa Tereza, Goiana, PE, localizada na Mesorregião Mata e Microrregião Mata Setentrional do Estado de Pernambuco, situada nas coordenadas $7^{\circ}33'38''$ de latitude Sul e $35^{\circ}00'09''$ de longitude Oeste. A partir do histórico da usina em relação à aplicação de vinhaça, foram selecionadas quatro áreas

para constituírem os tratamentos e nelas classificados os solos, através de abertura de trincheira com profundidade de 1,5 m em cada área experimental. As amostras foram coletadas em cada horizonte do perfil do solo, em seguida acondicionadas em sacos plásticos e, posteriormente, transportadas para o Laboratório de Mecânica dos solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE, para as devidas análises físico-químicas.

As análises foram: granulometria pelo método do densímetro, densidade global (DG) pelo método do anel volumétrico para as amostras mais argilosas e pelo método da proveta para as arenosas, capacidade campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) obtidas no aparelho Extrator de Richards e a determinação da porosidade total (P) (Tabela 1). Todas as análises foram realizadas segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

As áreas experimentais, após classificação dos solos (EMBRAPA, 1999), foram denominadas de Área 1, correspondente a um Espodosolo que vem sendo aplicada vinhaça por um período de até 5 anos; Área 2, um Espodosolo com 5 a 10 anos; Área 3, um Argissolo Amarelo com mais de 10 anos de aplicação de vinhaça; e Área 4, um Espodosolo que nunca recebeu aplicação de vinhaça.

Tabela 1. Caracterização física dos solos das áreas estudadas

Hor. ⁽¹⁾	Prof. ⁽²⁾ (cm)	Composição granulométrica			DG ⁽³⁾ g cm ⁻³	P ⁽⁴⁾ (%)	CC ⁽⁵⁾ (%)	PMP ⁽⁶⁾ (%)
		Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila				
Área 1								
Ap	0-25	932	28	40	1,54	41,52	4,77	2,06
AE	25-40	935	25	40	1,58	41,54	3,55	1,76
E1	40-90	933	28	39	1,70	35,40	2,54	0,74
E2	90-100	927	42	31	1,76	33,12	2,83	0,97
Área 2								
Ap	0-18	932	26	42	1,52	39,96	6,99	2,29
AE	18-55	943	7	50	1,55	44,03	3,19	1,25
E	55-100	941	18	41	1,69	39,33	3,57	1,27
Área 3								
AP	0-15	555	86	359	1,20	54,56	18,99	11,37
AB	15-32	544	45	411	1,46	44,14	18,62	11,80
BA	32-65	434	57	509	1,52	43,06	19,97	13,17
BT1	65-100	374	116	510	1,35	48,91	22,91	15,01
Área 4								
Ap	0-20	818	53	129	1,40	45,67	5,72	3,58
AB	20-36	773	48	179	1,46	43,16	5,22	3,27
BA	36-75	713	29	258	1,50	42,25	4,14	3,04
BA1	75-100	674	48	278	1,38	46,57	4,52	2,88

Hor⁽¹⁾ = horizonte; Prof⁽²⁾ = profundidade; DG⁽³⁾ = densidade global; P⁽⁴⁾ = porosidade; CC⁽⁵⁾ = capacidade de campo a 0,33 Mpa; PMP⁽⁶⁾ = 1,5 Mpa

Em cada área selecionada, as amostras de solo foram retiradas em forma de uma malha de 10×10 m, totalizando 20 pontos, georreferenciados com GPS, modelo ETREX

da Garmin, com a utilização de trado tipo holandês nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm totalizando 240 amostras de solo, entre as linhas da cana-de-açúcar (Figuras 1A, B, C e D). Após a coleta, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Mecânica e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE para secagem ao ar (TFSA).

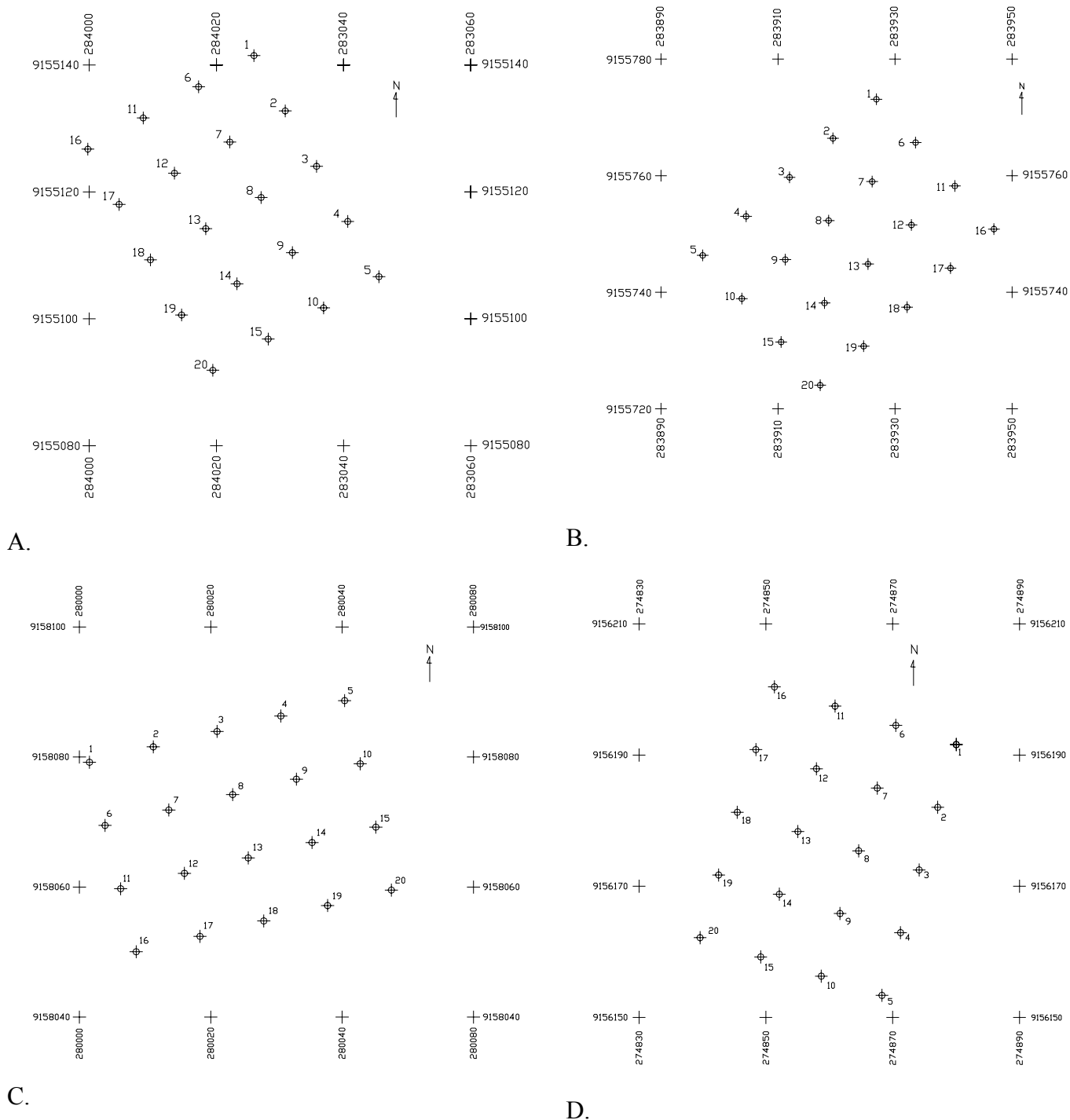


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem da Área 1 (A), Área 2 (B), Área 3 (C) e Área 4

Após a secagem, as amostras foram destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para realização das seguintes análises: granulometria (areia, silte e argila); pH em água na proporção 1:2,5 (solo:água); cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis extraídos em KCL 1 mol L⁻¹; sódio (Na) e potássio (K) trocáveis extraído em solução de Mehlich 1 e CE, todas conforme metodologia da EMBRAPA (1997).

O grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos foi medido pelo coeficiente de correlação de Pearson (r), para cada área estudada utilizando o programa SAS - Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de K trocável no solo se correlacionaram negativamente com a profundidade independentemente da área experimental estudada (Tabela 3), havendo redução da concentração com a profundidade. Nas Áreas 1 e 2 (Tabela 2) houve incremento de K principalmente na camada superficial, pois os valores médios nas camadas de 0-10 e 10-20 cm foram superiores a de 20-40 cm. Especificamente na camada de 0-10 cm, os valores de K foram superiores a de 10-20 cm e 20-40 cm (Tabela 3). A amostragem de solo nas Áreas 1 e 2 foram realizadas após dois dias da aplicação de vinhaça no campo e, após, não houve registro de precipitação para que o K lixiviasse no perfil do solo, ficando retido, principalmente, na camada superficial, maior contato entre os colóides do solo e a vinhaça. Paula et al. (1999) em estudo com solos de baixo potencial produtivo observaram aumento de K nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm.

Ainda para o K, pode-se verificar que os desvios padrão foram de 0,19; 0,32; 0,10 e 0,09 nas Áreas 1, 2, 3 e 4, respectivamente, na profundidade 0-10 cm (Tabela 3). Os resultados sugerem que a distribuição de vinhaça nessas áreas não foi uniforme, concordando com Corá et al. (2004). Essa distribuição deve ser decorrente da irrigação por aspersão efetuada, utilizando sistema autopropelido com canhão hidráulico, cuja uniformidade de aplicação geralmente é baixa.

Houve correlação significativa ($P \leq 0,05$) entre os teores de K e de Ca, Mg e Na nas Áreas 1, 2 e 3, fertirrigadas com vinhaça, enquanto na Área 4, o K correlacionou-se com o Na (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre variáveis do solo e com a profundidade nas diversas áreas estudadas

	Variáveis								
	K	Na	Ca	Mg	CE	pH	AR	S	AG
Área 1									
Prof	-0,72**	-0,15ns	-0,68**	-0,63**	-0,84**	-0,11 ns	0,43**	-0,33**	-0,50**
K	1,00	0,20*	0,52**	0,54**	0,76**	0,27**	-0,13 ns	0,09 ns	0,19ns
Na		1,00	0,28**	0,27**	0,22*	0,12 ns	0,01 ns	-0,01 ns	0,00 ns
Ca			1,00	0,78**	0,73**	0,10 ns	-0,29**	0,31**	0,04 ns
Mg				1,00	0,67**	0,15 ns	-0,38**	0,38**	0,14 ns
CE					1,00	0,16 ns	-0,40***	0,37**	0,26*
pH						1,00	-0,22ns ^s	0,20ns	0,12 ns
AR							1,00	-0,97**	-0,44**
S								1,00	0,21ns
AG									1,00
Área 2									
Prof	-0,70**	-0,63**	-0,84**	-0,91**	-0,56**	-0,50**	0,47**	-0,58**	0,29**
K	1,00	0,44**	0,67**	0,70**	0,61**	0,41**	-0,62**	0,60**	0,28**
Na		1,00	0,48**	0,55**	0,22*	0,34**	0,03 ns	-0,14 ns	0,39**
Ca			1,00	0,96**	0,61**	0,56**	-0,54**	0,67**	-0,30**
Mg				1,00	0,59**	0,56**	-0,56**	0,66**	-0,20ns
CE					1,00	0,24**	-0,54**	0,58**	-0,01 ns
pH						1,00	-0,38**	0,40**	0,05 ns
AR							1,00	-0,97**	-0,38**
S								1,00	0,13 ns
AG									1,00
Área 3									
Prof	-0,71**	-0,44**	-0,87**	0,03ns	-0,43**	-0,79**	-0,83**	-0,80**	0,87**
K	1,00	0,40**	0,78**	-0,39**	0,60**	0,66**	0,64**	0,68**	-0,70**
Na		1,00	0,46**	-0,14 ns	0,29**	0,39**	0,35**	0,38**	0,39**
Ca			1,00	-0,12 ns	0,57**	0,84**	0,79**	0,77**	-0,83**
Mg				1,00	-0,36**	0,08 ns	-0,41**	-0,53**	0,49**
CE					1,00	0,40**	0,55**	0,61**	-0,61**
pH						1,00	0,50**	0,59**	-0,57**
AR							1,00	0,78**	-0,96**
S								1,00	-0,93**
AG									1,00
Área 4									
Prof	-0,50**	-0,80**	-0,45**	0,09 ns	0,49**	-0,82**	-0,60**	-0,72**	0,76**
K	1,00	0,57**	-0,01 ns	-0,19 ns	-0,10 ns	0,43**	0,33**	0,18	-0,34**
Na		1,00	0,10 ns	-0,35**	-0,19 ns	0,72**	0,47**	0,55**	-0,60**
Ca			1,00	0,73**	-0,32**	0,59**	-0,02 ns	-0,16 ns	0,07 ns
Mg				1,00	-0,09 ns	0,18 ns	-0,17 ns	-0,34**	0,26
CE					1,00	-0,43**	-0,11 ns	0,06 ns	0,07 ns
pH						1,00	0,40**	0,30**	-0,45**
AR							1,00	0,27*	-0,94**
S								1,00	-0,58**
AG									1,00

* significativo a 5 %; ** significativo a 1 %; Prof: profundidade; AR: areia; S: silte; AG: argila.

Este resultado deve estar associado à aplicação de vinhaça, que além da elevada concentração de K, apresenta outros elementos, como Ca, Mg e Na, em sua composição, ocasionando incremento no solo.

Paula et al. (1999) encontraram acréscimos de Ca e Mg na camada de 0-20 cm, enquanto na de 20-40 cm não houve alteração. Resultados semelhantes foram observados por Brito et al (2005), onde os maiores teores de K trocável em Espodossolo ocorreram no horizonte superficial (0-15 cm) do perfil do solo. Entretanto, Camargo et al. (1987) observaram aumento dos cátions trocáveis em quase todas as profundidades devido à quantidade desses elementos adicionados pela vinhaça.

Os valores de Mg correlacionaram negativamente com a profundidade nas Áreas 1 e 2, comportamento foi semelhante ao do Ca, que ficou retido nas camadas superficiais do solo. O Ca correlacionou-se significativamente ($P \leq 01$) com o Mg em quase todas as áreas, com exceção da Área 3. Provavelmente, o solo dessas áreas foram corrigidos com calcário dolomítico, que a medida que se dissolve, libera Ca e Mg que são adsorvidos nas cargas negativas da argila, matéria orgânica ou dos óxidos, aumentando assim o teor destes cátions na parte sólida e conseqüentemente na solução do solo, favorecendo o acréscimo de Ca e Mg, além da vinhaça aplicada (Maia & Ribeiro, 2004).

Tabela 3. Valores médios, mínimo e máximo das variáveis avaliadas nas profundidades (Prof) 0-10, 10-20 e 20-40 cm

	Na	K	Ca	Mg	CE dS m ⁻¹	pH	Areia	Silte	Argila
	cmolc dm ⁻³						g kg ⁻¹		
Área 1									
Prof	0-10 cm								
Média	0,41	0,60	1,82	1,36	1,09	6,0	935	27	38
Mínimo	0,03	0,33	1,11	0,96	0,75	5,8	924	16	36
Máximo	3,30	1,25	2,77	1,98	1,52	6,4	944	36	40
Desvio	0,70	0,19	0,49	0,32	0,21	0,2	0,6	0,55	0,2
Prof	10-20 cm								
Média	0,44	0,63	1,96	1,38	1,08	6,1	939	25	36
Mínimo	0,18	0,22	1,24	1,05	0,83	5,6	924	15	36
Máximo	0,82	1,19	2,59	2,04	1,62	6,5	949	40	36
Desvio	0,14	0,26	0,38	0,23	0,17	0,2	0,68	0,68	0
Prof	20-40 cm								
Média	0,35	0,36	1,42	0,99	0,88	5,8	942	22	36
Mínimo	0,30	0,12	0,79	0,45	0,53	5,4	934	15	36
Máximo	0,43	0,52	2,55	1,43	1,16	6,4	949	30	36
Desvio	0,03	0,12	0,4	0,29	0,19	0,3	0,38	0,38	0
Área 2									
Prof	0-10 cm								

Média	0,44	0,70	4,06	2,56	0,80	6,1	906	55	39
Mínimo	0,30	0,25	1,88	1,38	0,41	5,7	874	40	36
Máximo	0,54	1,41	5,29	3,18	1,76	6,6	924	80	46
Desvio	0,07	0,32	0,83	0,41	0,38	0,3	1,42	1,19	0,45
Prof	10-20 cm								
Média	0,49	0,46	2,02	1,46	0,64	5,8	923	37	40
Mínimo	0,35	0,16	0,98	0,85	0,41	5,0	895	20	36
Máximo	0,91	1,14	4,04	2,36	0,97	6,3	940	60	50
Desvio	0,13	0,27	0,69	0,36	0,18	0,4	1,24	1,03	0,42
Prof	20-40 cm								
Média	0,74	0,29	1,60	1,08	0,42	5,6	926	32	42
Mínimo	0,26	0,11	0,98	0,48	0,22	4,8	880	15	40
Máximo	1,19	0,49	2,35	1,94	0,66	6,2	945	70	50
Desvio	0,27	0,12	0,39	0,31	0,13	0,5	1,52	1,26	0,38
Área 3									
Prof	0-10 cm								
Média	0,34	0,48	2,98	0,24	0,50	7,0	784	49	166
Mínimo	0,19	0,31	1,89	0,15	0,12	6,5	754	31	131
Máximo	0,47	0,74	4,53	0,37	0,84	7,8	804	66	211
Desvio	0,09	0,10	0,70	0,00	0,15	0,4	1,43	1,09	2,1
Prof	10-20 cm								
Média	0,31	0,25	2,11	1,56	0,25	6,5	768	33	199
Mínimo	0,23	0,18	1,73	1,11	0,17	6,0	755	20	176
Máximo	0,43	0,37	2,50	1,95	0,33	7,1	789	50	221
Desvio	0,05	0,04	0,21	0,28	0,04	0,3	0,93	0,87	1,29
Prof	20-40 cm								
Média	0,29	0,18	1,19	1,09	0,22	6,2	745	19	236
Mínimo	0,25	0,01	0,89	0,67	0,15	5,4	730	10	211
Máximo	0,36	0,28	1,63	1,63	0,34	7,4	764	30	255
Desvio	0,03	0,05	0,19	0,22	0,04	0,5	0,72	0,6	1,13
Área 4									
Prof	0-10 cm								
Média	0,04	0,13	1,12	0,20	0,28	6,8	901	24	74
Mínimo	0,02	0,05	0,69	0,06	0,19	5,9	880	15	55
Máximo	0,08	0,33	1,32	0,28	0,41	7,5	915	30	95
Desvio	0,01	0,09	0,16	0,06	0,05	0,4	0,96	0,50	1,01
Prof	10-20 cm								
Média	0,02	0,09	2,72	1,24	0,28	6,5	902	20	78
Mínimo	0,01	0,04	1,23	0,47	0,21	5,7	879	10	56
Máximo	0,03	0,19	3,31	2,04	0,37	7,3	924	25	101
Desvio	0,00	0,05	0,47	0,45	0,04	0,5	1,07	1,00	0,46
Prof	20-40 cm								
Média	0,01	0,06	1,79	0,85	0,29	6,0	881	13	106
Mínimo	0,00	0,03	0,73	0,15	0,19	5,0	844	5	81
Máximo	0,02	0,12	2,58	1,56	0,42	7,0	904	20	136
Desvio	0,00	0,02	0,52	0,34	0,05	0,5	1,5	0,4	1,43

Os valores de CE correlacionaram com as variáveis Ca, Mg, Na e K nas Áreas 1, 2 e 3, as quais foram fertirrigadas com vinhaça ao longo dos anos (Tabela 2). Na Área 4, houve correlação significativa entre CE e Ca e, também com a profundidade; contudo,

não correlacionou-se com o K e Na, provavelmente porque a área 4 apresenta baixos teores destes elementos, uma vez que nunca foi aplicada vinhaça. O valor médio de CE na camada de 10-20 cm foi maior em relação às camadas 0-10 e 20-40 cm (Tabela 3), indicando leve lixiviação do Ca, existente em maior proporção devido à aplicação a lanço de calcário ocorrida na Área. A CE representa a quantidade de cátions solúveis no extrato de saturação do solo, conseqüentemente, o aumento dos elementos no solo propicia incremento na CE. De modo geral, o incremento de Ca, Mg e K resultaram no aumento da CE. Em áreas fertirrigadas com vinhaça estudadas por Camargo et al., (1987), a CE atingiu na camada de 0-10 cm, 4,9 dS m⁻¹ em uma das amostragens, mas não houve diferença nos resultados para os diversos tratamentos nem para a profundidade.

Quanto ao pH, observou-se correlação negativa com a profundidade no solo das Áreas 2, 3 e 4 (Tabela 2), evidenciando redução com o aumento da profundidade (Tabela 3). Quanto às correlações entre pH e as outras variáveis, apresentou correlação positiva com o K na Área 1; K, Na, Ca e Mg na Área 2; K, Na e Ca nas Áreas 3 e 4. As camadas mais profundas do solo geralmente apresentam maior acidez em relação às camadas superficiais devido a aplicação de corretivos (calcário) e adubações que favorecem o aumento do pH do solo (Maia & Ribeiro, 2004). Por outro lado, Nunes et al. (1981) relatam que o aumento do pH do solo é resultante do aumento de bases trocáveis, principalmente o K, incorporadas pela aplicação de vinhaça, que geralmente ocorrem nas camadas mais superficiais. Brito (2004) verificou aumento do pH em todos os solos estudados e com as doses de vinhaça de 350 e 700 m³ ha⁻¹.

Nas áreas 1 e 2 ocorreu correlação negativa entre areia e silte, onde foi constatado aumento de areia e redução de silte com a profundidade (Tabela 2). Em relação às Áreas 3 e 4, areia e argila correlacionaram negativamente com a profundidade ($P \leq 0,01$) (Tabela 2) evidenciando leve redução na quantidade de areia e, conseqüentemente, acréscimo na quantidade de argila com o aumento da profundidade (Tabela 3). Na Área 3, houve correlação positiva entre areia e silte (Tabela 2), redução de areia e silte simultaneamente com a profundidade (Tabela 3).

Os elementos Ca e Mg correlacionaram negativamente com os teores de areia e positivamente com os teores de silte na Área 2 (Tabela 2). À proporção que aumentou a quantidade de areia em profundidade, verificou-se redução do Ca e Mg. Ribeiro et al. (1983), em experimento para verificar a dispersão de argila, utilizando vinhaças de diferentes composições, concluiu que a vinhaça com maior concentração de K, Ca e Mg

não apresentou efeito dispersante da argila. Freire & Aguiar (1993), quando incorporaram vinhaça concentrada em Latossolos de textura média e argilosa verificaram aumento nos teores de argila, silte e areia média nos solos em relação aos tratamentos que não receberam vinhaça.

Houve correlação negativa entre o teor de K e a quantidade de areia ($p \leq 0,01$) na Área 2 (Tabela 2) indicando a não lixiviação no perfil como pode ser observado nas médias listadas na Tabela 3. Era de se esperar lixiviação do K no perfil do solo devido à alta mobilidade deste elemento, além da permeabilidade do solo. Para avaliar a qualidade de solos do ponto de vista ambiental, a não lixiviação é um fator importante, pois minimiza a elevação de sais nas águas do lençol freático.

De qualquer forma, o valor r é uma medida do grau de dispersão dos pontos em torno de uma reta. Quanto maior for a dispersão dos pontos em torno da reta, menor será o valor de r . Contudo, se r for igual a zero ou estiver bem próximo de zero não significa necessariamente que as variáveis não estão correlacionadas, apenas que não existe correlação linear entre os valores das duas variáveis (Vieira, 2004).

CONCLUSÕES

1. Os teores de K e Na foram influenciados pela aplicação de vinhaça. As alterações que ocorreram nos solos das diferentes áreas foram influenciadas pela aplicação de vinhaça, calcário, além das diferentes características físicas dos solos.
2. Houve decréscimo dos elementos na camada de 20-40 cm em todas as áreas, independente dos anos e da vinhaça aplicada.

LITERATURA CITADA

- Brito, F.L. Rolim, M.M. Pedrosa, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, Suplemento, p. 52-56, 2005.
- Camargo, O.A.; Valadares, J.M.A.S.; Berton, R.S.; Teófilo Sobrinho, J.; Menk, J.R.F. Alteração de características químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico pela aplicação de vinhaça. Instituto Agrônomo, Campinas, n.9, 23p. 1987.

- Camargo, O.A.; Valadares, J.M.A.S.; Geraldi, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Instituto Agronômico, Campinas, n.76, 30p. 1983.
- Cambuim, F.A. A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. Recife: UFRPE, 1983. 133p. Dissertação Mestrado.
- Corá, J.E.; Araújo, A.V.; Pereira, G.T.; Beraldo, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p. 1013-1021, 2004.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de análises de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- Freire, W.J.; Cortêz, L.A.B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Guaíba: Editora Agropecuária, 2000. 203p.
- Freire, W.J.; Aguiar, M.A. Incorporação de vinhaça concentrada em dois solos distintos: características químicas, físicas e mecânicas da mistura obtida. Engenharia Agrícola, Campinas, v.13, p.85-96, 1993.
- Glória, N.A. Emprego da vinhaça para fertilização. Piracicaba, Codistil, 1976. 31p.
- Maia, J.L.T.; Ribeiro, M.R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1127-1132, 2004.
- Nogueira, A.M.P.; Venturini Filho, W.G. Aguardente de cana.
<http://dgta.fca.unesp.br/docentes/waldemar/aguardente/Cap%C3%ADtulo%20-%20Aguardente%20de%20cana2.pdf>. 30 Jan. 2007.
- Nunes, M.R.; Velloso, A.C.X.; Leal, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 16, n. 2, p. 171-176, 1981.
- Paula, M.B.; Holanda, F.S.R.; Mesquita, H.A.; Carvalho, V.D. Uso da vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 7, p. 1217-1222, 1999.

Ribeiro, A.C.; Novais, R.F.; Bahia Filho, A.F.C. Efeitos da vinhaça sobre a dispersão de argila de amostras de Latossolos. *Revista Ceres*, v.30, n.167, p.12-18. 1983.

Sengik, E.; Ribeiro, A.C.; Condé, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.12, p.11-15, 1988.

Silva, G.M.A.; Orlando Filho, J. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Boletim Técnico Planalsucar*, Piracicaba, v.3, n.8, p. 5-22, 1981.

Souza, E.F.; Bernado, S.; Carvalho, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.19, n.1, p.28-12, 1999.

Torquato, S.A. Análises e indicadores do agronegócio. Instituto de Economia Agrícola, São Paulo, v.1, n.10, 2006.

Unica. União dos produtores de cana-de-açúcar.

http://www.unica.com.br/pages/agroindustria_alta.asp. 10 fev. 2007.

Vieira, S. Bioestatística: tópicos avançados. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 216p.

CAPÍTULO III

ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DE EFLUENTE DE SOLOS SOB DIFERENTES PERÍODOS DE FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA

Alterações na qualidade de efluente de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça¹

Felizarda V. Bebé², Mário M. Rolim³, Elvira M.R. Pedrosa³ & George B. Silva⁴

¹Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE

² UFRPE/DTR. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6276. Email: felizvb@yahoo.com (Foto)

³ UFRPE/DTR. Fone: (81) 3320-6276. Email: rolim@dttr.ufrpe.br, elvira.pedrosa@dttr.ufrpe.br

⁴ UFRPE/DTR. Fone: (81) 3320-6276. Email: silvagb@yahoo.com.br

Resumo: O objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações na qualidade do lixiviado de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça. Foram selecionadas quatro áreas: Área 1, com até 5 anos sob fertirrigação com vinhaça; Área 2, com 5-10 anos; Área 3, com mais de 10 anos e, Área 4, sem aplicação de vinhaça. Amostras de solo das referidas áreas foram retiradas e reproduzidas em 16 colunas de PVC com 20 cm e 120 cm, diâmetro e altura, mantendo as densidades e horizontes originais. Posteriormente o solo das colunas foram saturados e decorridos 7 dias foi aplicada uma lâmina de água (L1) e em seguida coletado o lixiviado. Após 7 dias da aplicação da L1 aplicou-se uma dose de vinhaça (L2) correspondente a 300 m³ ha⁻¹ e com 45 dias de incubação aplicou uma lâmina de lixiviação e coletou todo o efluente drenado (lixiviado) para análise de Ca, Mg, K, Na, pH, condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT). Os dados obtidos foram submetidos à análise de medida repetida ao longo do tempo para a variância e ao teste de Tukey para a comparação das médias. Houve diferença para todas as variáveis entre a lâmina de água e de vinhaça aplicada evidenciando aumento na concentração dos elementos químicos, mas com valores bastante inferiores a vinhaça aplicada.

Palavras-chave: lixiviado, elementos químicos, aproveitamento de resíduos

Alterations in effluent quality of soils under different periods of stillage fertirrigation

Abstract: The objective of the present study was to evaluate alterations in leached quality of soils under different stillage fertirrigation periods. For this, it was selected

four areas: Area 1, being irrigated with stillage up to 5 years; Area 2, from 5 to 10 years; Area 3, more than 10 years; Area 4, without stillage application. Soil samples of these areas were removed and filled out 16 PVC-columns (25 cm and 120 cm, diameter and height, respectively) with respective horizons and densities of the original soils. Soils inside the columns were saturated, and 7 days later, it was applied one water depth (L1) and collected the leached. Seven days after L1 application, it was applied stillage at rate equivalent to $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (L2), and after 45 days of incubation a leaching depth was applied and collected all drained effluent for analysis of Ca, Mg, K, Na, pH, CE and SDT. Data were analyzed through repeated measure along the time for the variance, being used the Tukey test for the averages comparison. There was significant difference between water and stillage depths for all the variables evidencing increasing in chemical elements concentration, but with quite inferior values to the stillage applied.

INTRODUÇÃO

A vinhaça até a década de 80 era despejada em corpos hídricos ocasionando poluição dos rios e lagos, destruindo toda a fauna e flora existente. A presença de alta carga orgânica na vinhaça em contato com a água consome todo o oxigênio dissolvido, devido a oxidação da matéria orgânica pelos microorganismos, levando a morte de peixes por asfixia. No entanto, a legislação em relação à disposição inadequada de vinhaça tem avançado muito, coibindo os derramamentos nos leitos dos rios (Medeiros et al., 2003). Assim, a alternativa econômica e tecnicamente viável encontrada foi a sua disposição em solos cultivados com cana-de-açúcar, aumentando a fertilidade a partir da adição de matéria orgânica e nutriente. Porém, se aplicada em altas doses pode comprometer a qualidade da cana para produção de açúcar, lixiviar no perfil, contaminando o lençol freático e salinizando o solo (Centurión et al. 1989).

A lixiviação dos nutrientes é influenciada pelo regime e distribuição de chuvas, pelo tipo de cobertura vegetal e por características do solo, dentre as quais se destacam: permeabilidade, capacidade de retenção de íons e concentração de sais na solução e formas dos compostos químicos do solo (Terry & McCants, 1970, citados por Leal et al. 1982).

Nunes et al. (1982) constataram aumento na lixiviação de K, Ca e Mg em Podzólico Vermelho-Amarelo com o incremento das doses de vinhaça aplicadas. O potássio por ser o elemento em maior concentração na vinhaça é preferencialmente o

mais lixiviado. Devido a grande quantidade de potássio presente na vinhaça, o cálcio e o magnésio são deslocados do complexo de troca do solo.

Em relação à poluição das águas, Cunha et al. (1987), em áreas irrigadas com vinhaça, observaram baixo risco do potássio em poluir a água subterrânea, pois a lixiviação de íons abaixo da profundidade de 1,20 m foi baixa. Brito et al. (2003) verificaram em efluentes de colunas com adição de 500 e 1000 m³ ha⁻¹ de vinhaça, valores de cálcio, magnésio, potássio, sódio, condutividade elétrica e demanda química de oxigênio (DQO) bem inferiores aos contidos na vinhaça aplicada “*in-natura*” devido ao poder de remoção do solo. Diferentemente, Ludovice (1997) observou poluição do lençol freático em experimento de monitoramento de efluentes em canais condutores de vinhaça em que foram verificados valores inferiores ao da vinhaça aplicada, mas elevados de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO e CE até 1,5 m de profundidade.

Diante do contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as alterações no lixiviado de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE. A vinhaça utilizada foi coletada na torre de destilação de álcool da Usina Santa Tereza, cuja caracterização encontra-se na Tabela 1. As amostras de solo também foram retiradas em área agrícola da Usina Santa Tereza, Goiana-PE, localizada na mesorregião Mata e na Microrregião Mata Setentrional do Estado de Pernambuco, situada entre as coordenadas 7° 33' 38'' de latitude Sul e 35° 00' 09'' de longitude Oeste, distando 65,7 km da cidade de Recife.

De acordo com o histórico de aplicação de vinhaça na usina, foram selecionadas quatro áreas experimentais e abertas trincheiras com profundidade de 1,5 m para classificação do solo segundo EMBRAPA (1999). Em seguida, foram coletadas amostras de cada horizonte, acondicionados em saco plástico e transportadas para o Laboratório de Mecânica dos solos e Aproveitamento de Resíduos para caracterização. As amostras de solo foram secas ao ar obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA). As análises físicas realizadas foram: granulometria, pelo método do densímetro, densidade do solo (Ds) pelo método da proveta os solos de textura arenosa, e os solos de textura franca-arenosa, e argilosa por meio de amostrador e anéis com volume de 100 cm⁻³

(amostras indeformadas), densidade de partículas (DP), e a determinação da porosidade total a partir da DS e DP, capacidade campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) obtida no aparelho Extrator de Richards (Tabela 2), todas conforme métodos da EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Caracterização físico-química da vinhaça “in natura”

Parâmetros	Unidades	Valores
DQO	mg L ⁻¹	35.000
Cálcio	mg L ⁻¹	613,0
Magnésio	mg L ⁻¹	776,5
Sódio	mg L ⁻¹	19,73
Potássio	mg L ⁻¹	5.006,3
pH	-	4,47
CE ⁽²⁾	dS m ⁻¹	13,0
SDT ⁽¹⁾	mg L ⁻¹	

⁽¹⁾ Sólidos dissolvidos totais

As análises químicas das amostras de solo foram Ca e Mg, extraídos em KCL; Na e K trocáveis extraídos em solução de Mehlich 1; pH em água na proporção 1:2,5 (solo:água); e CE do extrato da pasta saturada (Tabela 3), conforme metodologia da EMBRAPA (1997).

Tabela 2. Caracterização física dos solos das áreas estudadas

Prof. (cm)	Composição granulométrica			Densidade Global g cm ⁻³	Porosidade %
	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila		
Área 1					
0-25	932	28	40	1,54	41,52
25-40	935	25	40	1,58	41,54
40-90	933	28	39	1,70	35,40
90-100	927	42	31	1,76	33,12
Área 2					
0-18	931,90	26,48	41,60	1,52	39,96
18-55	943,00	6,04	50,096	1,55	44,03
55-100	941,20	17,56	41,24	1,69	39,33
Área 3					
0-15	554,8	86,4	358,8	1,20	54,56
15-32	544,4	44,76	410,8	1,46	44,14
32-65	434,4	56,76	508,8	1,52	43,06
65-100	374,4	115,76	509,8	1,35	48,91
Área 4					
0-20	818,0	53,16	128,8	1,40	45,67
20-36	773,0	48,2	178,8	1,46	43,16
36-75	713,0	28,92	258,08	1,50	42,25
75-100	674,4	47,48	278,08	1,38	46,57

Após o levantamento, as áreas foram denominadas de Área 1, constituída de Espodosolo com 0-5 anos de aplicação de vinhaça; Área 2, referente a um Espodosolo com aplicação de 5-10 anos; Área 3, referente a um Argissolo Amarelo com mais de 10 anos de aplicação e Área 4, referente a um Espodosolo que nunca foi aplicado vinhaça.

Tabela 3. Caracterização química dos solos das áreas estudadas

Prof. (cm)	Cátions Trocáveis				pH ⁽¹⁾	CE ⁽²⁾ dS m ⁻¹
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺		
cmol _c kg ⁻¹						
Área 1						
0-25	0,472	0,024	0,088	0,044	5,5	0,396
25-40	0,378	0,049	0,07	0,035	6,0	0,205
40-90	0,337	0,009	0,08	0,027	5,8	0,265
90-100	0,052	0,001	0,024	0,027	5,8	0,199
Área 2						
0-18	1,019	0,189	0,131	0,04	5,9	0,254
18-55	0,146	0,004	0,07	0,027	5,2	0,207
55-100	0,053	0,004	0,073	0,044	5,2	0,165
Área 3						
0-15	1,361	0,300	0,394	0,053	6,0	0,446
15-32	0,471	0,438	0,251	0,040	5,2	0,468
32-65	0,373	0,286	0,292	0,040	5,3	0,540
65-100	0,344	0,075	0,267	0,040	4,3	0,288
Área 4						
0-20	0,977	0,074	0,090	0,040	5,2	0,259
20-36	0,836	0,072	0,052	0,027	5,5	0,392
36-75	0,546	0,070	0,039	0,035	4,7	0,425
75-100	0,330	0,026	0,027	0,040	4,2	0,307

⁽¹⁾ Determinado em proporção solo: água 1:2,5; ⁽²⁾ Condutividade elétrica no extrato da pasta saturada

Na confecção das colunas foram retiradas amostras de solo das áreas experimentais mediante abertura de trincheiras em profundidade de acordo com cada horizonte do solo. As amostras foram levadas para o Laboratório e colocadas em lonas plásticas para secagem. Em seguida, foram destorroadas e peneiradas em peneira com abertura de 4 mm e preenchidas as 16 colunas de PVC (20 cm de diâmetro) reproduzindo os perfis (até 1,00 m de profundidade) do solo das Áreas 1, 2, 3 e 4, com densidade e espessura dos horizontes semelhantes ao perfil do solo das áreas amostradas no campo.

Antes do preenchimento com solo foi colocada em cada coluna uma camada de 10 cm de brita fina e em cima desta uma tela com 2 mm de abertura e diâmetro semelhante

ao da coluna, para evitar a passagem de sedimentos para o lixiviado, efluente. Após o preenchimento das colunas, o solo foi saturado, com água de abastecimento, por fluxo ascendente para evitar a formação de caminhos preferenciais. Dessa forma, foram constituídos 4 tratamentos, sendo Tratamento 1 (Trat 1), correspondente ao solo da Área 1, com 0-5 anos de aplicação de vinhaça; Tratamento 2 (Trat 2), Área 2, com aplicação de 5-10 anos; Tratamento 3 (Trat 3), Área 3, mais de 10 anos de aplicação e, Tratamento 4 (Trat 4), Área 4, que nunca foi aplicado vinhaça.

Uma semana após a saturação das colunas foi aplicada uma lâmina de água (L1) correspondente a 25% do volume de poros de cada coluna. Posteriormente foi coletado todo o volume de água percolado a partir de um dreno acoplado na parte inferior de cada coluna para realização das análises.

Após 7 dias foi aplicada uma única lâmina de vinhaça (L2) correspondente a 300 m³ ha⁻¹, lâmina de 30 mm, em todas as colunas de solo das Áreas 1, 2, 3 e 4 resultando em uma adubação equivalente a 743,34 kg de K₂O por hectare de cana-de-açúcar. Após o período de incubação de 45 dias foi aplicada novamente uma lâmina de água correspondente a 25% do volume de poros e em seguida foi coletada toda a água drenada das colunas para análise.

Em ambos os casos, o efluente drenado foi submetido à análise de Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica, K e Na em fotômetro de chama, pH, em peagâmetro digital e CE e sólidos dissolvidos totais (SDT) em condutivímetro digital, segundo metodologia descrita pela APHA (1995).

Os dados foram submetidos ao teste de esfericidade de Mauchly (Xavier et al., 2000) e aplicada análise de medida repetida ao longo do tempo utilizando o programa SAS - Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de medida repetida ao longo do tempo aplicada aos dados de Ca (Figura 1) foi significativa ($P \leq 0,01$) para o tempo e interação tempo x tratamento. Houve diferença significativa entre os valores de Ca no lixiviado com aplicação de água (L1) e vinhaça (L2) evidenciando aumento na concentração de Ca quando da aplicação de vinhaça em todos os tratamentos. O maior valor de Ca obtido no Trat 1 quando aplicou-se água foi devido a calagem realizada 2 meses antes da coleta do solo, favorecendo o

acúmulo de Ca no solo, que com aplicação da lâmina de água foi deslocado do complexo de troca para a solução do solo, lixiviando no perfil.

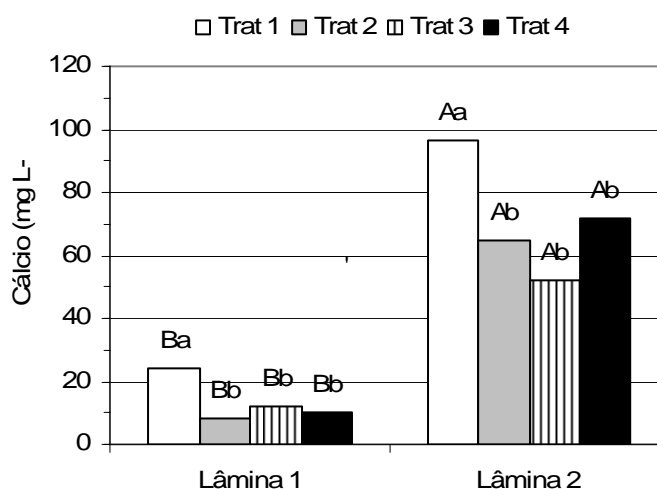


Figura 1. Valores de Cálcio no lixiviado de solos dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúsculas referem diferença entre as lâminas e minúsculas entre os tratamentos

A concentração de cálcio referente ao Trat 1 foi superior aos demais tratamentos devido a aplicação de vinhaça (L2) que apresentou 613 mg L^{-1} de Ca e a textura arenosa do solo (93,3 % de areia), facilitando a lixiviação do elemento. Valores semelhantes de Ca em lixiviado proveniente de Espodossolo após 30 dias de incubação foram verificados por Brito (2004) quando aplicou uma lâmina de vinhaça correspondente a $350 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. No entanto pode-se observar que a concentração do cálcio no lixiviado foi 6 vezes menor que a concentração deste elemento na vinhaça (913 mg L^{-1}), evidenciando o poder de remoção do solo mesmo sendo arenoso corroborando com Lyra et al. (2003).

Quanto aos valores de magnésio pode-se verificar diferença significativa entre os tempos (água e vinhaça) e interação tempo x tratamento (Figura 2). A aplicação de vinhaça contribuiu para o acréscimo de Mg em todos os tratamentos, pois a vinhaça utilizada apresentou uma concentração de magnésio de $776,5 \text{ mg L}^{-1}$ de vinhaça. Apesar da vinhaça conter maior concentração de Mg em relação a de Ca, o mesmo não foi observado no lixiviado. Este resultado pode ter ocorrido em função do solo apresentar maior teor de Ca no complexo sortivo, pela adição de calcário ocorrida meses antes da

coleta (Maia & Ribeiro, 2004), e provavelmente o Mg aplicado via vinhaça ficou adsorvido no solo e assim lixiviou menos do que o Ca.

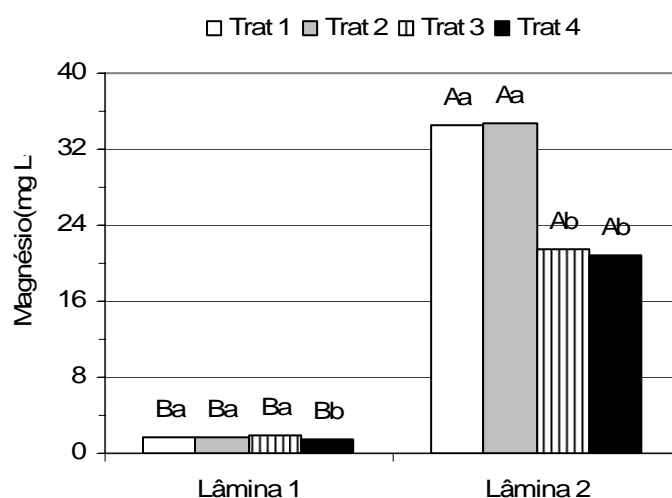


Figura 2. Valores de magnésio no lixiviado de solos dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúsculas referem diferença entre lâmina e minúsculas entre os tratamentos

Os valores de Mg no lixiviado estiveram superiores (entre 20,8 e 34,8 mg L⁻¹) aos observados por Lyra (2002) em efluente de poços de monitoramento em áreas fertirrigadas com vinhaça, que encontravam entre 3 e 18 mg L⁻¹, semelhantemente Brito (2004) verificou valores de Mg na faixa de 3 a 18 mg L⁻¹ quando aplicou doses de 350 e 750 m³ ha⁻¹.

O teor de K no lixiviado não se diferenciou entre os tratamentos tanto com aplicação da lâmina L1 como da L2 (Figura 3). No entanto, com a aplicação de vinhaça (L2) houve aumento nos teores de K do lixiviado devido à elevada concentração do elemento na composição da vinhaça. Em pesquisas desenvolvidas por Brito et al. (2005), os maiores valores de K foram encontrados no Espodossolo tanto no lixiviado aos 30 como aos 60 dias de incubação com vinhaça. Lo Mônaco (2005) trabalhando com doses crescentes de água residuária de café, resíduo semelhante a vinhaça quanto a concentração de potássio, verificou lixiviação no perfil do solo com aplicação de todas as doses evidenciando a alta mobilidade do elemento no solo.

De acordo com Van Raij (1981), os sais de potássio apresentam alta solubilidade e as concentrações de K na solução do solo podem atingir valores elevados podendo lixiviar no perfil do solo.

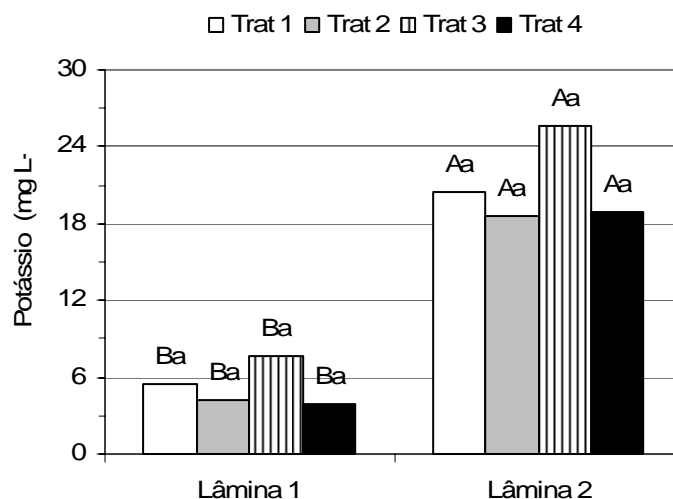


Figura 3. Valores de potássio no lixiviado dos solos dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúsculas referem diferenças entre lâminas e minúsculas entre os tratamentos

Em relação aos valores de Na, houve diferença ($P \leq 0,01$) entre as lâminas L1 e L2 (Figura 4). As maiores concentrações de Na foram verificadas no lixiviado da L2 em relação da L1, pois o K da vinhaça pode ter deslocado o Na adsorvido nos colóides do solo. Além disso, pode-se verificar que os maiores valores de Na foram observados nos tratamentos cujos solos foram de textura arenosa facilitando a lixiviação no perfil. Brito (2004) encontraram valores crescentes de Na em lixiviado com as doses de vinhaça aplicadas, evidenciando a substituição do K pelo Na existente no complexo sortivo do solo. De acordo com Sengik et al. (1988), quantidades consideráveis de sais permanecem em solução quando da aplicação de $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sugerindo potencial de salinização pela aplicação de vinhaça em solos de textura arenosa.

Para a CE observou-se diferença entre os lixiviados das lâminas L1 e L2. Com a aplicação de vinhaça (L2) houve incremento da CE devido a maior concentração de Ca, Mg, Na e K na solução. A vinhaça utilizada no presente estudo apresentou CE de 13 dS m^{-1} e os valores médios observados no lixiviado foram de $0,340$ a $0,870 \text{ dS m}^{-1}$. O Trat 1 e 2 quando aplicou a L2 (vinhaça) apresentaram maior CE em relação ao Trat 3 devido a textura argilosa que pode ter favorecido a adsorção dos elementos pelas cargas negativas dos colóides minerais, dificultando a lixiviação dos sais. Lyra et al (2003) encontraram valores de $0,35$ a $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ em efluente de poços de monitoramento, evidenciando o poder de remoção dos sais pelo solo

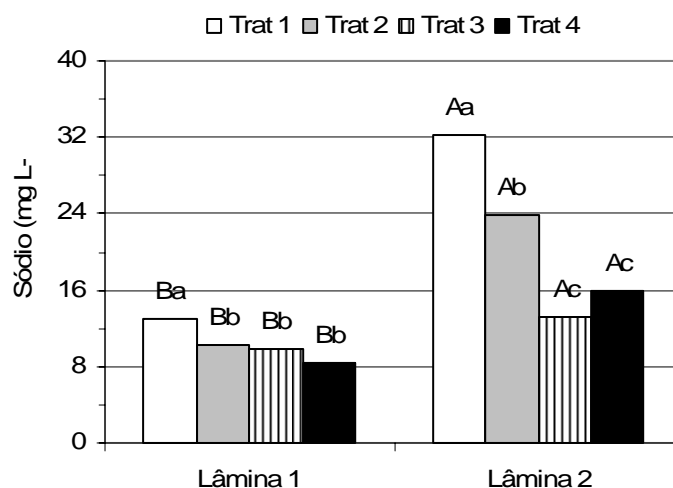


Figura 4. Valores de sódio no lixiviado de solo dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúscula referem diferença entre lâmina e minúscula entre os tratamentos

A aplicação de 300 m³ ha⁻¹ de vinhaça com uma concentração de 5000 mg L⁻¹ de potássio pode aumentar a salinidade em solos arenosos como pode ser verificado na Figura 5, onde o Trat 1 referente ao Espodossolo com 0-5 anos de aplicação de vinhaça apresentou valores de CE acima de 0,7 dS m⁻¹, valor acima do limite para qualidade de água para irrigação descrito por Ayers & Westcot (1991).

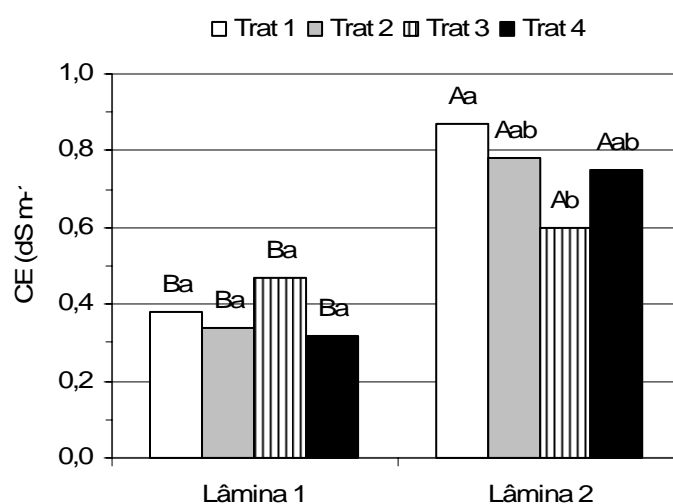


Figura 5. Valores de CE no lixiviado de solos dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúsculas referem diferença entre lâminas e minúsculas entre os tratamentos

O SDT apresentou comportamento semelhante a CE devido a relação existente entre as duas variáveis (Ayers & Westcot, 1991). Houve aumento significativo ($p \leq 0,01$) do SDT devido ao incremento de elementos químicos adicionados juntamente com a vinhaça, principalmente nos Trat 1 e Trat 2 que correspondem aos lixiviados dos Espodosolos, textura arenosa, contribuindo para lixiviação no perfil do solo. Resultados semelhantes foram verificados por Brito (2004), em que os maiores valores de SDT ocorreram no lixiviado do Espodosolo devido a facilidade de permeabilidade destes solos. Valores semelhantes de SDT também foram observados por Lyra et al., (2003) em efluente proveniente de áreas próximas a um canal condutor de vinhaça.

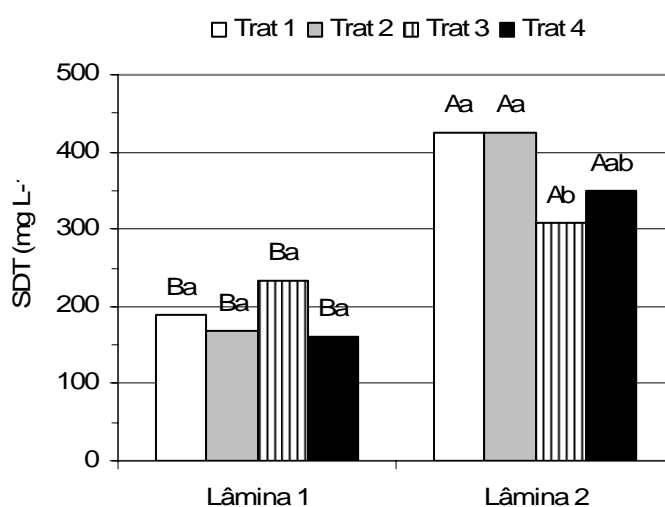


Figura 6. Valores de SDT no lixiviado de solos dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúsculas referem diferença entre lâminas e minúsculas entre os tratamentos

O aumento de pH em solos com aplicação de vinhaça tem sido bastante discutido na literatura. No entanto, em lixiviado não apresenta o mesmo comportamento. O pH do lixiviado quando se aplicou a L1 foi significativamente maior ($p \leq 0,01$) em relação ao da L2 com aplicação de vinhaça (Figura 7). No presente estudo, houve redução significativa ($p \leq 0,01$) no pH dos lixiviados quando aplicou a lâmina de vinhaça (L2) com 45 dias de incubação. Segundo Bouwer & Chaney (citados por Fonseca, 2001), a degradação da matéria orgânica das águas residuárias pelos microorganismos, pode liberar CO_2 e ácidos orgânicos que podem acidificar o meio. Brito (2004) verificou diminuição do pH em lixiviado aos 30 dias de incubação em relação a testemunha mas com 60 dias notou-se um leve aumento do mesmo devido a intensificação da

degradação da matéria orgânica após o período de 30 dias, onde ocorreu a liberação de elétrons que diminuíram a concentração de oxigênio e conseqüentemente elevando o pH dos lixiviados.

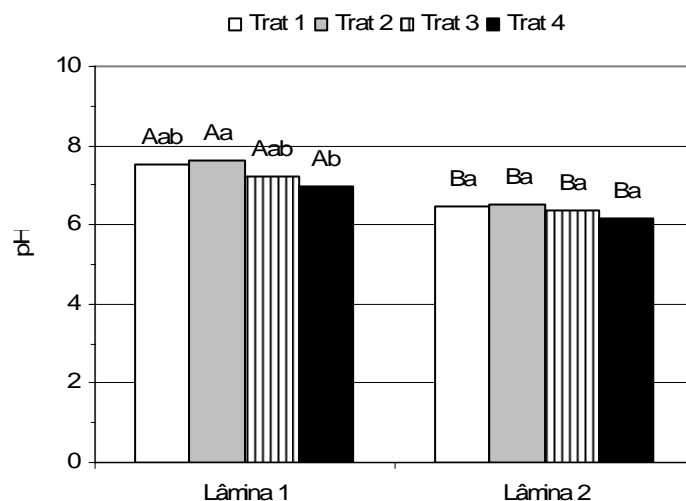


Figura 7. Valores de pH no lixiviado de solos dos tratamentos com aplicação das lâminas L1 e L2, letras maiúsculas referem diferença entre lâminas e minúsculas entre os tratamentos

CONCLUSÕES

1. A aplicação de vinhaça ao longo dos anos no canal não influencia nas características químicas do lixiviado, pois o solo adsorve os elementos químicos aplicados minimizando a lixiviação no perfil do solo.

2. A lâmina de 300 m³ ha⁻¹ deve ser utilizada de forma adequada para não comprometer a qualidade da água lixiviada.

LITERATURA CITADA

- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. Qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB. 1991. 218p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29.
- Brito, F.L. Rolim, M.M. Pedrosa, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, Suplemento, p. 52-56, 2005.

- Brito, F.L. Avaliação da qualidade do lixiviado e de atributos químicos ao longo do perfil de três tipos de solos fertirrigados com vinhaça. Recife: UFRPE, 2004. 60 p. Dissertação Mestrado.
- Brito, F.L. Rolim, M.M. Efeito da aplicação de vinhaça em colunas de solo: avaliação do poder de remoção de alguns parâmetros. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 32, 2003, Goiânia, Anais... Goiânia: SBEA, 2003. CD Rom.
- Centurión, R.E.B.; Moraes, V.A.M.; Ruiz, R.T. Destilação final da vinhaça produzida por destilarias autônomas e anexas, enquadradas no programa nacional do álcool. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 11, 1989, Fortaleza, Anais... Fortaleza: ABES, 1989. CD Rom.
- Cunha, R.C.A.; Costa, A.C.S.; Maset Filho, B.; Casarini, D.C.P. Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil: I - Physical and chemical aspects. Water Science and Technology, Colchester, v.19, n.8, p. 155-156, 1987.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de análises de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Fonseca, A. F. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. Piracicaba: ESALQ, 2001. 126p. Dissertação de Mestrado.
- Leal, J. R.; Nunes, M.R.; Velloso, A. C. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo: II fosfato. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.2, p.177-180, 1982.
- Lyra, M.R.C.C.; Rolim, M.M.; Silva, J.A.A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. v.7, n.3, p.525-532, 2003.
- Lyra, M.R.C.C. Avaliação do Potencial Poluidor da vinhaça utilizada sobre a qualidade das águas subterrâneas. Recife: UFRPE, 2002. 92p. Dissertação de Mestrado.
- Lo Monaco, P.A. Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. Viçosa: UFV, 2005. 96 p. Tese Doutorado.

- Ludovice, M.T.F. Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático. Campinas: UNICAMP, 1997. 117p. Dissertação de Mestrado.
- Maia, J.L.T. & Ribeiro, M.R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1127-1132, 2004.
- Medeiros, S.C.L.; Ribeiro, S.R.; Coneglian, C.M.R.; Barros, R.M.; Brito, N.N.; Dragoni Sobrinho, G.; Tonso, S.; Pelegrini, R. Impactos da agroindústria canavieira sobre o meio ambiente. In: Fórum de Estudos Contábeis, 3, 2003, Rio Claro, Anais... Rio Claro: UNICAMP, 2003.
- Nunes, M.R.; Leal, J.R.; Velloso, A.C.X. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. III. Potássio, Cálcio e Magnésio. Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília, v.17, n.3, p. 371-374, 1982.
- Sengik, E.; Ribeiro, A.C.; Condé, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, n.12, p.11-15, 1988.
- Van Raij, B. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Potafós, 1981. 142 p.
- Xavier, L.H. Modelos univariado para análise de medidas repetidas e verificação de acurácia por meio de simulação. Piracicaba:USP, 2000. 91p. Dissertação Mestrado.

CONCLUSÕES GERAIS

CONCLUSÕES FINAIS

1. A aplicação de vinhaça aumentou os teores de K e Na em todas as profundidades nas áreas fertirrigadas (Áreas 1, 2 e 3), principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm;
2. Os teores de Ca e Mg foram semelhantes em todas as áreas.
3. Os valores de pH diminuíram com a profundidade em todas as áreas, independente da aplicação de vinhaça e dos períodos de aplicação;
4. A quantidade de areia, silte e argila variaram de acordo com as classes de solo estudadas;
5. Os teores de Ca, Mg, Na e K foram maiores no efluente proveniente da aplicação de vinhaça (L2);
6. O incremento na CE e SDT ocorreram em função do aumento dos teores de Ca, Mg, Na e K no efluente com vinhaça (L2);
7. A concentração de Ca, Mg, Na e K no efluente foram inferiores a concentração da vinhaça aplicada, tornando evidente a remoção destes elementos pelos solos estudados.