

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em
Latosolo cultivado com cana-de-açúcar**

Lilian Pittol Firme

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Lilian Pittol Firme
Engenheiro Agrônomo

**Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo
cultivado com cana-de-açúcar**

Orientador:
Prof. Dr. CÉLIA REGINA MONTES

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba

2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Firme, Lilian Pittol

Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar / Lilian Pittol Firme.- - Piracicaba, 2007. 109 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar 2. Efluentes 3. Irrigação por gotejamento 4. Química do solo 5. Relação solo-planta 6. Tratamento de esgotos sanitários I. Título

CDD 633.61

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

*Ao meu eterno **Deus**;*

*A minha grande irmã e amiga **Lucia**;*

*Aos meus maravilhosos e abençoados pais **Ivaldo e Ângela**, sem eles nada seria possível;*

*Ao meu amado afilhado (**Rodrigo**) e amadas primas sobrinhas (**Amanda e Alice**);*

*A toda minha família que tanto amo e me orgulho (**avós, tios, tias, primos e primas**);
pela presença, confiança, credibilidade e amor, mesmo distantes.*

OFEREÇO

*As diversas moradoras da minha grande “**República e Família PITTBOAS**”*

*Michelle, Juliana, Lucia (irmã), Martha, Karina, Lilian (Lili), Cristina e Ana Paula,
pelo carinho. E em especial a **Micha e Ju** (irmãs de coração) e a **Lucia** (irmã) que
me acompanham desde 2001 nessa batalha de pós-graduação vividas
por momentos de preocupações, estresses, angústias, alegrias, conquistas.....*

DEDICO

*“.....o valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que
acontecem. Por isso, existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas
incomparáveis.....” (Fernando Pessoa)*

AMO VOCÊS

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Ciência do Solo, pela receptividade e suporte técnico, desde julho de 2001, para a realização do meu mestrado e do meu doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), pelo apoio financeiro e pela possibilidade de uso da área experimental e do efluente da estação de tratamento de Lins (SP).

Ao Grupo Equipav Açúcar e Álcool, pelo fornecimento das mudas e pela assistência no manejo da cana-de-açúcar desde o plantio até as análises industriais do caldo realizadas na Usina na Unidade de Promissão (SP).

A professora Dra. Célia Regina Montes, pela orientação.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP) e em especial ao Prof. Dr. Jairo Antônio Mazza, pelos ensinamentos para o meu enriquecimento profissional.

A professora Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade do Departamento de Ciências Exatas (Esalq/USP), pelo apoio nas análises estatísticas.

Ao Dr. Adriel Ferreira da Fonseca e aos professores Dr. Carlos Clemente Cerri e Dr. Jairo Antônio Mazza, pelas críticas e sugestões no exame de qualificação.

Aos professores do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e em especial a Prof. Dra. Marisa de Cássia Piccolo, pela atenção.

Aos funcionários da biblioteca da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelo profissionalismo e em especial a Silvia e Eliana pelas correções dessa tese.

Ao James, funcionário da USP, que em todo o momento esteve acompanhando o experimento em Lins (SP), pela dedicação.

Aos funcionários do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (Nupegel-Esalq/USP), Clotilde Maria Botachio, Elisete Ferreira, Paulo Sebastião e Sergio Luis de Jesus, pela ajuda.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP), Anderson L. Scarazete, Claudinei de Lara, Denise L. C. Mescolotti, Eleusa Cecília Bassi, Ednéia C. S. Mondoni, Jair Ferrer da Silva, João Álvaro R. Granja, José Luiz Vicente (Chico), Luiz A. Silva

Junior, Lucia Helena S. P. Forti, Luis Fernando Baldesin, Lurdes A. D. Gonzáles, Marcos A. F. Camargo, Maria Elizabete H. B. Guimarães, Marta C. R. dos Santos, Moisés Ruiz Arroio, Nancy Campos Amaral, Nelson Rabatisk (Juruna), Nivanda M. de M. Ruiz, Wladimir J. Rosignolo, Sueli M. A. C. Bovi, pela força na realização das minhas análises e em especial à Flávia Morales, pela acolhimento.

Aos funcionários da Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (Fealq), Carla da Costa, Elizângela B. dos Santos, Jackeline Campos Da Silva, José Iremar da Silva (Linco), Karina O. Batista, Sérgio Ferraz de Mello e Udso Roberto Moraes, pela paciência.

Aos funcionários do CENA, e em especial a Antônia Mara P. Casarin, Aparecida de Fátima Patreze e Lílian Assêncio de Campos, pelo auxílio.

Ao Prof. Dr. Pablo Vidal-Torrado (professor e amigo), pelo carinho, apoio e exemplo de determinação durante esses seis anos que passei em Piracicaba.

Ao Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, pela amizade e oportunidade profissional dentro do seu grupo de trabalho.

Aos amigos do Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP), Adilson, Adna, Afrânio, Aline, Brivaldo, Caio, Chico, Carlos, Carolina, Dani, Dolorice, Estêvão, Fabiano, Gean, Gilberto, Gilmar, Henrique, Herdjania, Joãozinho, Junior, José Olímpio, Lucas, Maroka, Mirian, Ovo, Pablo, Purpurina e Stoécio, pela amizade.

Aos amigos do Nupegel, André, Bethe, Bruno, Daine, Débora, Kátia, Lise, Luiz Fernando, Mateus, Nathália, Puppi, Rafael Barufaldi, Rafael Leal, Rafael Mixirica, Sandra, Uwe e Yuri, pela compreensão.

Aos grandes amigos Débora, Rafael Silva (Mixirica) e Rafael Leal, pelos agradáveis momentos compartilhados tanto na salinha do Nupegel como na Av. Carlos Botelho e em especial ao Rafael Leal pelas inúmeras correções e discussões que colaboraram para a redação dessa tese, artigos e resumos, além dos incontáveis dias nos laboratórios.

Aos amigos das Repúblicas Arado, Covil, Fazendinha, Pau-a-Pique, Pau-Queimado, Pik-Reta, Potguara, Senzala, Vaktoa, e em especial a Batkverna, Uspeão, Vira Latas, Zona Rural e Viola Quebrada, pelas inúmeras integrações nesses seis anos de Esalq.

Aos sempre “Tios Bicho” Tiago e Valdomiro, pela convivência e incentivo.

Aos amigos Bari, Camila Patreze, Caroli, Catalão, Claudinha Fontes, César, Dani Talora, Daniel Sarmiento, Felipe Tonado, Fernandinha Bruno, Fernandinha Forli, Folha, Gavião,

Genelício, Jackson, Jonas, Juliano, Jurema, Lalá, Liana, Marconi, Mimi, Narson, Simão e Suzana, pelo companheirismo nesses anos de Piracicaba.

Aos meus eternos amigos da UFV, que hoje se encontram espalhados por todo Brasil, e em especial ao Goiano, Texano e Xerxes por fazerem parte da minha vida desde o início da minha carreira acadêmica em 1996.

Ao casal de amigos Mutuca e Roberta que conheci há poucos dias, mas que parece ter sido há anos, pela alegria.

A toda família da Micha (Tia Nazareth e Tio Olívio, Michell e Bárbara, Marquinho e Vânia, Marco Aurélio) e da Ju (Tia Raquel e Tio Del, Kiko e Élvio, Vó Lurdes e Vó Rubens) que desde 2001 passaram a ser também minha família.

A todos amigos de Piracicaba que freqüentaram e ainda freqüentam a minha casa, pelos diversos momentos que levarei por toda minha vida.

“.....grandes realizações são possíveis quando se dá atenção aos pequenos começos.....”

A amizade não se explica, ela simplesmente existe.

Muito obrigada

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 A cultura da cana-de-açúcar e sua importância.....	16
2.2 Cana-de-açúcar irrigada.....	17
2.3 Parâmetros tecnológicos e industriais da cana-de-açúcar.....	19
2.4 Efluente de esgoto tratado (EET): seu uso e possíveis alterações no agrossistema.....	20
2.4.1 Aspectos gerais de aidez, macro e micronutrientes em solos irrigados com EET.....	22
2.4.2 Aspectos gerais do nitrogênio (N) e do carbono (C) em solos irrigados com EET e na cultura da cana-de-açúcar.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Localização da área experimental, variedade de cana-de-açúcar, tipo de solo e manejo da cultura.....	26
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	30
3.3 Época de coleta, preparo e análise de amostras do efluente de esgoto tratado.....	30
3.4 Época de coleta, preparo e análise de amostras de solo.....	31
3.5 Época de coleta, preparo e análise do tecido foliar e do colmo.....	32
3.6 Época de coleta e preparo das amostras para as análises tecnológicas e industriais da cana-de-açúcar.....	33
3.7 Análise estatística.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Características do efluente de esgoto tratado.....	35
4.2 Diagnose foliar, qualidade tecnológica e produção da cana-planta.....	39
4.2.1 Concentração dos macronutrientes na folha, no colmo e no caldo.....	39
4.2.2 Teores dos micronutrientes na folha, no colmo e no caldo.....	43
4.2.3 Análise tecnológica e industrial da cana-planta.....	47

4.2.4 Produtividade da cana-planta irrigada com EET.....	51
4.3 Atributos químicos do solo.....	53
4.3.1 Acidez ativa (pH), acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável (Al ³⁺).....	53
4.3.2 Fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na).....	59
4.3.3 Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn).....	66
4.3.4 Matéria orgânica (MO), carbono total (CT) e nitrogênio total (NT).....	76
5 CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICES.....	93

RESUMO

Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar

O uso de efluente de esgoto tratado (EET) na agricultura apresenta-se como uma alternativa viável por se tratar de uma fonte de umidade e de nutrientes minerais aos sistemas agrícolas, aliado à redução da utilização de água de boa qualidade na irrigação, bem como a diminuição da descarga do EET nos rios, minimizando assim possíveis danos ambientais. Entretanto, deve-se ressaltar a importância do monitoramento contínuo do sistema solo-planta em razão do risco da utilização de águas residuárias, sobretudo aquelas ricas em sódio. Desse modo, esse trabalho teve como objetivo contribuir para o conhecimento dos efeitos da aplicação de EET no sistema solo-cana-de-açúcar, avaliando possíveis alterações químicas do solo e da planta, e a qualidade do caldo. O experimento foi instalado num campo experimental situado em Lins, São Paulo. A adubação mineral de plantio consistiu na aplicação de metade da dose recomendada do adubo nitrogenado, 15 kg ha^{-1} de N (nitrato de amônio), 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 80 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio). O delineamento experimental foi em blocos completos com parcelas subdivididas no tempo com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: SI, sem irrigação; 100 %, umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200% que corresponderam a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente. Foram observados aumentos nas concentrações de sódio (Na) nas folhas, fósforo (P) e cálcio (Ca) no caldo, e potássio (K) no colmo. Para os micronutrientes houve diminuições nas concentrações de manganês (Mn) e zinco (Zn) na folha, no caldo e no colmo, e no caso do ferro (Fe) a diminuição ocorreu no caldo. A irrigação com EET não ocasionou prejuízos a qualidade dos colmos industrializáveis. As maiores produtividades foram observadas nos tratamentos 100 e 150, $247,33$ e $232,81 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. No solo, houve incrementos do pH, das concentrações de P, Na, B e Fe, e um decréscimo nas concentrações de Ca, magnésio (Mg), K e cobre (Cu). Os teores de matéria orgânica (MO) decresceram em todo perfil do solo e, os teores de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT) não apresentaram alterações em razão da irrigação com EET. A não utilização da dose completa do adubo nitrogenado não implicou na queda da produtividade da cana-planta. As perspectivas para a irrigação da cana-de-açúcar com EET são promissoras, demandando estudos de longo prazo para confirmação dos resultados até agora obtidos e também para o monitoramento de possíveis prejuízos que possam vir a ocorrer no sistema solo-planta.

Palavras-chave: Efluente de esgoto tratado; Química do solo; Cana-de-açúcar; Qualidade do caldo

ABSTRACT

Effects of treated sewage effluent irrigation on the soil-plant system of an Oxisol cultivated with sugarcane

The use of treated sewage effluent (TSE) in agriculture is a viable alternative once it is a source of humidity and mineral nutrients to the agricultural systems, allied to the reduction of good quality water consumption for agricultural irrigation, as well as the reduction of the discharge of TSE in the water courses, thus minimizing possible environmental damages. However, it should be standed out the importance of the continuous monitoring of the soil-plant system because of the risks represented by the wastewater use, overall those rich in sodium. In this manner, this work aimed to contribute to the knowledge of TSE application effects in the soil-sugarcane system, evaluating the chemical alterations of the soil and the plant, and also the quality of the soup. The experiment was installed in an experimental area situated at Lins, São Paulo State. The mineral fertilization at planting was half of the recommended nitrogen dose, 15 kg ha⁻¹ of N (ammonium nitrate), and also 120 kg ha⁻¹ of P (single superphosphate) and 80 kg ha⁻¹ of K (potassium chloride). The experimental design was in complete blocks with split plots in time, with five treatments and four replicates. Applied treatments were: SI, without irrigation; 100%, soil humidity at the field capacity; 125, 150 and 200% that corresponded to 25, 50 and 100% more soil humidity than the field capacity, respectively. Increases in the concentrations of sodium (Na) in the leaves, phosphorus (P) and calcium (Ca) in the soup, and potassium in the culms were observed. Considering the micronutrients, reductions on the concentrations of manganese (Mn) and zinc (Zn) in the leaves, culms and soup occurred, while in the case of iron (Fe), observed reductions occurred for the soup. TSE irrigation has not prejudiced the quality of the industrialized culms. The highest yields were observed in the treatments 100 and 150, 247.33 and 232.81 t ha⁻¹, respectively. Increments of the values of pH and concentrations of P, Na, boron (B) and Fe were obtained in the soil, while, in the case of Ca, magnesium (Mg), K and copper (Cu) concentrations in the soil decreased. The organic matter levels decreased all over the soil profile and, the levels of total carbon (TC) and total nitrogen (TN) were not altered by the irrigation with TSE. The non-use of the mineral N fertilizer complete dose did not imply in the fall of the sugarcane-plant productivity. The perspectives for sugarcane irrigation with wastewater are promising, demanding however long-term studies in order to confirm the results obtained till the present moment, and also to the monitoring of possible damages that may occur in the soil-plant system.

Keywords: Treated sewage effluent; Soil chemistry; Sugarcane; Soup Quality

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Sistema de três lagoas anaeróbias seguidas de três lagoas facultativas operada pela SABESP e a área experimental..... 26
- Figura 2 – Lâminas mensais de irrigação aplicadas e precipitação pluvial durante o período experimental (início 18/05/2005 e término 10/08/2006). Pp: precipitação pluvial, 100: Irrigação com EET (umidade do solo na capacidade de campo); 125, 150 e 200: Irrigação com EET, (correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo)..... 39
- Figura 3 – Produtividade da cana-planta irrigada com EET. As médias com as letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente..... 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas e físicas iniciais do solo (LEAL, 2007).....	29
Tabela 2 – Características químicas do efluente utilizado na irrigação.....	36
Tabela 3 – Aporte de nutrientes e de carbono via EET no primeiro ciclo da cultura de cana -de-açúcar.....	39
Tabela 4 – Concentração de macronutrientes presentes nas amostras de folha da cana- planta irrigada com EET nas Épocas 2 (dez/05) e 3 (set/06).....	41
Tabela 5 – Concentração de macronutrientes presentes nas amostras de caldo da cana- planta irrigada com EET na Época 3 (set/06).....	42
Tabela 6 – Concentração de macronutrientes presentes nas amostras de colmo da cana- planta irrigada com EET e extração desses nutrientes pelo colmo na Época 3 (set/06).....	43
Tabela 7 – Concentração de micronutrientes presentes nas amostras de folha da cana- planta irrigada com EET nas Épocas 2 (dez/05) e 3 (set/06).....	45
Tabela 8 – Concentração de micronutrientes presentes nas amostras de caldo da cana- planta irrigada com EET na Época 3 (set/06).....	46
Tabela 9 – Concentrações e extrações de micronutrientes presentes nas amostras de colmos da cana-planta irrigada com EET na Época 3 (set/06)	47
Tabela 10 – Análises tecnológicas da cana-planta irrigada com EET nos períodos de maio, junho e setembro de 2006.....	49
Tabela 11 – Parâmetros industriais da cana-planta irrigada com EET na Época 3 (set/06)....	50
Tabela 12 – Efeito da irrigação com EET nos valores de pH do solo.....	55
Tabela 13 – Efeito da irrigação com EET nos valores de H ⁺ Al do solo.....	56
Tabela 14 – Efeito na irrigação com EET nos valores de alumínio trocável do solo.....	57
Tabela 15 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de P disponível do solo.....	59
Tabela 16 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Ca trocável do solo.....	61
Tabela 17 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Mg trocável do solo.....	62
Tabela 18 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de K trocável do solo.....	64
Tabela 19 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Na trocável do solo.....	66

Tabela 20 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de B disponível no solo.....	69
Tabela 21 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Cu disponível no solo.....	70
Tabela 22 – Efeito da irrigação com EET nos teores de Fe disponível no solo.....	71
Tabela 23 – Efeito da irrigação com EET nos teores de Mn disponível no solo.....	73
Tabela 24 – Efeito da irrigação com EET nos teores de Zn disponível no solo.....	74
Tabela 25 – Efeito da irrigação com EET nos teores de MO do solo.....	78
Tabela 26 – Efeito da irrigação com EET nos teores de NT do solo.....	79
Tabela 27 – Efeito da irrigação com EET nos teores de NT do solo.....	81

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a questão do uso racional dos recursos hídricos tem adquirido ampla repercussão, envolvendo aspectos políticos, tecnológicos e ambientais. A demanda cada vez maior de água para o abastecimento público e sua escassez em determinadas regiões do globo, aliado a deterioração da qualidade da água para o consumo humano, têm estimulado pesquisas visando formas alternativas de utilização de águas residuárias.

O uso dos esgotos tratados (EET) na agricultura beneficia as culturas agrícolas com o suprimento de água necessário para o seu desenvolvimento durante o ciclo e, parcialmente, como fonte de nutrientes, sobretudo de nitrogênio. Além disso, através do aproveitamento agrícola dos EET, os corpos d'água são preservados pela menor carga de nutrientes e/ou poluentes a eles adicionada.

Vários países, localizados tanto em regiões áridas como úmidas, têm demonstrado a viabilidade da utilização, de forma sustentável, dos EETs na irrigação. Entretanto, no Brasil, o uso de efluentes na agricultura ainda é incipiente e as mudanças que podem ocorrer, sejam estas positivas e/ou negativas, são pouco conhecidas.

A produção de cana-de-açúcar é uma das mais antigas e importantes atividades econômicas exploradas no Brasil, ocupando uma posição de destaque no cenário agrícola nacional. Sua importância sócio-econômica está relacionada ao consumo *in natura*, sob forma de forragem para alimentação animal, fabricação de melaço, aguardente e, com especial destaque a produção de açúcar e álcool.

Além disso, a cultura da cana atende aos critérios estabelecidos por Segarra et al. (1996) quanto ao potencial de utilização de EETs na irrigação de culturas agrícolas: (i) alto consumo de água, (ii) alta absorção de N, (iii) potencial de mercado nacional e internacional, (iv) potencial de uso no processamento quando necessário e (v) retorno econômico relativamente alto.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a sustentabilidade de utilização de EET na irrigação, por gotejamento, da cultura da cana de açúcar aliada à maior produtividade da cultura, tendo como foco principal de estudo às alterações ocasionadas pela irrigação com EET no comportamento dos macro e micronutrientes no solo e na planta, da matéria orgânica (MO), carbono total (CT) e nitrogênio total (NT) no solo, bem como na qualidade do caldo. Para este fim, foram analisados: (i) pH, H+Al, Al⁺³, matéria orgânica (MO), Ca, Mg, P, K, Na, B, Cu,

Fe, Mn e Zn nas amostras do solo, (ii) Ca, Mg, P, K, Na, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas amostras de colmo, caldo e folha; (iii) as concentrações de nitrogênio total (NT) e carbono total (CT) do solo (iv) porcentagem de sólidos solúveis (Brix), porcentagem aparente de sacarose em solução (Pol%caldo), pureza, porcentagem de sacarose na cana (Pol%cana), açúcares redutores (AR), fibra, açúcares totais recuperáveis (ATR), acidez, teor alcoólico, P_2O_5 , dextrana e amido e (v) determinado à máxima lâmina de irrigação que pode ser aplicada sem que ocorram prejuízos ao sistema solo-planta.

Considerando a importância da preservação do ambiente e da utilização de maneira sustentável dos resíduos produzidos pelos sistemas de tratamento de esgotos, o trabalho teve como hipóteses: (i) que a aplicação da dose de 50 % do fertilizante nitrogenado mineral recomendado para a cultura de cana-de-açúcar, associado à irrigação com efluente é suficiente para manter as condições adequadas do solo e da cultura e (ii) que a lâmina de irrigação excedente de 50 % da capacidade de campo do solo não causaria prejuízos ao solo e a cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar e sua importância

Considerada uma planta semi-perene, a cana-de-açúcar é uma gramínea que apresenta um ciclo médio de quatro anos, desde o plantio até a renovação das áreas plantadas. Pertencente ao gênero *Saccharum*, espécie *Saccharum* ssp, é cultivada em climas tropicais e subtropicais. É uma cultura que requer uma entrada substancial de água e nitrogênio para o alcance do máximo rendimento (CASAGRANDE, 1991; WIEDENFELD, 1995; SEGATO et al., 2006).

O plantio da cana-de-açúcar é feito em duas épocas, de setembro a novembro “cana de ano” e de janeiro a abril “cana de ano e meio”. Em função do clima a cana de ano possui o máximo desenvolvimento de novembro a abril, enquanto que para a cana de ano e meio a fase de maior crescimento é de outubro a abril, sendo o pico máximo de crescimento de dezembro a abril (CASAGRANDE, 1991).

O clima é o principal fator determinante das restrições impostas pelo ambiente, sendo que as interações entre clima, solo e planta influenciam a época de colheita, a reforma do canavial e a escolha da variedade (GEMENTE et al., 1986).

No Brasil, o primeiro plantio de cana surgiu em São Vicente no ano de 1532. No século XVII, com a ajuda dos holandeses, houve um aumento da produção brasileira de açúcar. No século XVIII ocorreu uma queda no setor devido à concorrência com o mercado europeu. Durante os séculos XIX e XX o setor sucroalcooleiro passou por períodos de altos e baixos, novamente pela concorrência de mercado (MARQUES, 2001).

Com a crise do petróleo em meados da década de 70, tornou-se significativa a produção de álcool etílico ou etanol a partir da cana-de-açúcar, seja para a utilização direta em motores (álcool hidratado) ou em mistura com a gasolina (álcool anidro). Desde então, o álcool combustível passou a absorver parte da matéria prima antes destinada apenas para o açúcar (MOZAMBANI et al., 2006).

Hoje o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido pela Índia, China e Tailândia. O estado de São Paulo se destacou como o maior produtor brasileiro, na safra 2005/2006 participando com 60,34% da produção. Atualmente, existe uma área cultivada de 5,6

milhões de hectares e uma produção de aproximadamente 411 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2006).

Para o Brasil o desafio é aumentar a oferta de etanol, seja devido ao aumento das vendas de carros bicomustíveis (flex fuel) no mercado interno, seja pela cada dia mais evidente escassez global de combustíveis derivados do petróleo. Há, ainda, a questão dos danos ambientais causados pela emissão dos gases tóxicos gerados pela queima de combustíveis fósseis. Estes fatores seguramente proporcionarão uma alta na rentabilidade do setor sucroalcooleiro. Neste contexto, tendo em vista a grande demanda do mercado interno e externo, diversas medidas estão sendo implementadas no setor sucroalcooleiro: inauguração de novas usinas, expansão da área agrícola, inovações nas técnicas de manejo da cultura, surgimento de variedades mais produtivas e renovação na linha de produção das usinas, sempre com o objetivo da recuperação máxima da sacarose acumulada ao menor custo possível. Estimativas de produção para os próximos anos relatam uma produção de 768 milhões de toneladas na safra 2014/2015 (AGRIANUAL, 2006).

2.2 Cana-de-açúcar irrigada

A prática de irrigação é hoje considerada um instrumento tão importante quanto a aplicação de fertilizantes e o controle de plantas invasoras, pragas e doenças para o aumento da produtividade e da rentabilidade agrícola (DALRI, 2006).

As pesquisas comparando os cultivos de sequeiro e irrigado mostram os benefícios da irrigação na produtividade das culturas, tendo-se sempre um aumento de produção das culturas irrigadas. Fica evidente que a água é um fator limitante quando se busca extrair da cultura todo o seu potencial produtivo. Assim, não basta desenvolver variedades de cana-de-açúcar mais produtivas, pois a água será decisiva e determinante no aumento da produtividade (DALRI, 2006).

A disponibilidade de água é considerada como uma das causas principais da variação de rendimento entre os anos e das diferenças de rendimento entre os diferentes solos no Estado de São Paulo (VAN DEN BERG et al., 2000). A irrigação da cana-de-açúcar praticamente não existe no Estado, apesar de algumas áreas serem irrigadas com efluentes industriais, no intuito de substituir ou complementar a adubação mineral (MATIOLI, 1998; VASCONCELOS, 2002).

No Brasil, o fator limitante ao uso generalizado da irrigação na cultura canavieira é a pequena margem de lucro em função dos baixos preços de comercialização, sendo necessário água disponível em local favorável a fim de viabilizar economicamente a irrigação da cultura (MAGRO, 2000). Entretanto, Matioli et al. (1996) e Frizzone et al. (2001) observaram que houve aumento na produtividade agrícola e longevidade do canavial, e também redução de custos nos arrendamentos de terra, preparo de solo, plantio, tratos culturais, mão-de-obra, transporte da cana, entre outros, nos canaviais irrigados.

Na região do cerrado de Minas Gerais, onde ocorrem períodos de deficiência hídrica mais severos, foram encontrados ganhos de produtividade de até 97% com irrigações mensais da cultura da cana (COELHO et al., 2002). Entretanto, em geral, essa prática não é comum para cana-de-açúcar, uma vez que se tratam de áreas extensivas de cultivo, requerendo elevados investimentos (SOARES et al., 2004).

A cana-de-açúcar possui quatro estádios fenológicos: i) brotação, ii) perfilhamento e estabelecimento da cultura, iii) período de grande crescimento, período este de grande necessidade de água e iv) maturação (GASCHO et al., 1983). Thompson (1976) relata que o primeiro estágio, é o mais sensível para a cana-de-açúcar no que diz respeito ao déficit hídrico. Mozambani et al. (2006) destacam que o segundo estágio, o de perfilhamento e desenvolvimento dos colmos, pode ser considerado o mais resistente, enquanto que o último estágio, a maturação, pode ser estimulada por fatores ambientais como o estresse hídrico, assim, quando a cana-de-açúcar atingir o ponto de crescimento adequado, a suspensão da irrigação promove sua maturação.

Considerando a importância da umidade para o pleno desenvolvimento da cultura, é esperado que a irrigação com o EET aumente a produtividade da cana-de-açúcar, contribuindo também para aumentar o número de cortes, mantendo o nível de produção e proporcionando um atraso no período de reforma do canavial, podendo viabilizar economicamente a irrigação da cultura.

2.3 Parâmetros tecnológicos e industriais da cana-de-açúcar

A matéria fresca da parte aérea da cana-de-açúcar, por ocasião da colheita, é constituída de colmos industrializáveis, folhas secas, folhas verdes e ponteiros. A massa de colmos industrializáveis, em relação às demais partes da planta, tem oscilado em torno de 80% (ROBERTSON et al., 1996). Os colmos industrializáveis, por conterem a maior massa de açúcares da planta, são os componentes de maior valor econômico da cana.

Os colmos são constituídos pelo caldo e pelos sólidos insolúveis em água. No caldo encontra-se a água e os sólidos solúveis (Brix), que na maioria são representados pelos açúcares, sendo estes, por sua vez, representados pela sacarose aparente (pol % cana). O quociente do porcentual de sacarose pelo teor de sólidos solúveis é denominado pureza. A parte dos sólidos insolúveis em água é denominada fibra. (MARQUES, 2001; FERNANDES, 2003; SILVA; CESAR; CHAVES, 2003).

A partir do caldo são realizadas análises de qualidade da matéria-prima para avaliação dos parâmetros tecnológicos (Brix, Pol%, açúcares redutores (AR), pureza, açúcares totais recuperáveis (ATR), Pol% de cana) e dos parâmetros industriais (teor alcoólico, acidez, dextrana, P₂O₅, amido e dureza) (CONSECANA, 2004).

Segundo Fernandes (2003) o Brix é um dos parâmetros mais utilizado na indústria de açúcar e álcool para avaliar o estágio de maturação da cultura. No Estado de São Paulo, considera-se que uma cana para ser industrializada deve ter, entre outras características, um caldo que contenha no mínimo 18% de sólidos solúveis (18° Brix) (MARQUES, 2001).

Os açúcares redutores (AR) são produtos relevantes no que diz respeito à coloração do açúcar ao longo do processo industrial, podendo alterar sua qualidade. Os teores de açúcares totais recuperáveis (ATR) são importantes para se estimar a quantidade de sacarose na cana. Este parâmetro representa a quantidade de açúcares que são recuperados na usina (FERNANDES, 2003).

Um fator de grande importância para a qualidade da matéria-prima é a uniformidade de maturação da cana, a qual pode ser afetada pela variedade, ambiente de cultivo, clima (temperatura e umidade), pragas e doenças, e planejamento agrícola (SILVA; CESAR; CHAVES, 2003). A qualidade da matéria-prima deve ser entendida como o conjunto de

características compatíveis com as exigências da indústria que, associadas ao processamento, afetam os produtos finais.

A fibra é definida como o conjunto de substâncias insolúveis em água, constituída principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, sendo considerada um parâmetro importante tendo em vista que a porcentagem elevada (maior que 10-11%) de fibras dificulta a extração da sacarose no momento da moenda (MARQUES, 2001).

A dextrana representa um grupo de polissacarídeos formados pela ação de bactérias no processo de deterioração que ocorre após o corte da cana (FERNANDES, 2003). Altos valores de dextrana (maior que 50 mg kg⁻¹) e amido (maior que 500 mg kg⁻¹) prejudicam o cozimento do xarope e também a centrifugação.

2.4 Efluente de esgoto tratado (EET): seu uso e possíveis alterações no agrossistema

Os EETs são águas residuárias ricas em nutrientes e matéria orgânica (MO), com alta demandas química de oxigênio (DQO) e bioquímica de oxigênio (DBO), podendo ocasionar sérios impactos ambientais quando lançados nos corpos d'água, como, por exemplo, a eutrofização das águas. Entretanto, estas mesmas características podem, com manejo adequado, trazer benefícios quando aplicados à sistemas de produção agrícola.

Os sistemas de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização são reconhecidos como o único processo biológico capaz de promover elevados níveis de desinfecção dos esgotos. Porém, quando se tem apenas lagoas anaeróbias (tratamento primário) e facultativas (tratamento secundário), a remoção de coliformes é parcial e dificilmente se obtêm concentrações de coliformes fecais no EET abaixo de 10⁵ NMP/100 mL, o que por sua vez gera restrições para o lançamento em corpos d'água e para o uso agrícola, onde as concentrações desejáveis são inferiores a 10³ NMP/100 mL (GONÇALVES, 2003). O sistema pode se tornar seguro com a implantação de lagoas de maturação (tratamento terciário), o que nem sempre é possível pela falta de área e de recursos financeiros para sua construção.

O uso do EET na agricultura pode reduzir a descarga nos corpos d'água, substituindo a água potencialmente de qualidade por água residuária. Essa substituição vem se tornando importante objeto de estudo, visto que com o crescimento urbano-populacional a quantidade de água disponível, seja para abastecimento público ou para o uso agrícola têm decrescido

continuamente ao longo dos anos, sendo fundamental a conscientização da população quanto à importância e a necessidade do reúso.

Os efluentes que poderiam causar impacto negativo ao ambiente, quando lançados diretamente nos corpos d'água, podem ser utilizados como fonte d'água e, segundo suas características químicas, como fonte de nutrientes ao sistema solo-planta. Diversos trabalhos têm mostrado a eficiência dos mesmos em substituir totalmente a água de irrigação e parcialmente a fertilização nitrogenada mineral, aumentando a produção das culturas (FEIGIN et al., 1978; SMITH et al., 1982; FONSECA, 2001; 2005; POLLICE et al., 2004). Portanto, a aplicação do EET na agricultura é uma alternativa ecologicamente viável de destinação destes efluentes no ambiente (TOZE, 2006). Apesar de ser uma boa alternativa (BOUWER; IDELOVITCH, 1987; FEIGIN et al., 1991; PESCOD, 1992) sua utilização não é isenta de riscos, constituindo-se em um desafio permanente para a ciência do solo (BOND, 1998). Segundo Feigin et al. (1991), efeitos negativos nas propriedades químicas e físicas do solo são um dos riscos relacionados ao uso de EET no sistema solo. Os efluentes geralmente apresentam uma proporção nutricional fixa característica de cada resíduo em particular, nem sempre a mais adequada em termos da produção e nutrição das culturas agrícolas (TILMAN; SURAPANENI, 2002) podendo acarretar, por exemplo, um desbalanço de nutrientes no sistema solo, além de possíveis efeitos negativos ao sistema solo-planta associados à sodificação, salinização, toxicidade de certos elementos e adições de determinados contaminantes orgânicos via efluente. Há também a possibilidade de contaminação do aquífero freático pela lixiviação do nitrato. Westcot (1997) destaca também os riscos de transmissão de doenças, uma vez que patógenos presentes neste subproduto podem sobreviver no sistema solo-planta. Porém, fatores agronômicos, como crescimento da planta, método irrigação empregado, práticas culturais e de colheita que podem controlar a transmissão de doenças.

Vários países, localizados tanto em regiões áridas como úmidas, tais como Austrália, Arábia Saudita e Israel, têm mostrado a viabilidade da utilização, de forma sustentável, dos EETs na irrigação (PESCOD, 1992). No Brasil, essa prática ainda é recente, necessitando de mais informações técnico-científicas e de estudos de longo prazo (FONSECA, 2001). Entretanto, estudos já realizados no país indicam que a utilização de EET na agricultura mostra-se viável (MONTES et al., 2006; MOTA et al., 2006; SANTOS, 2004; FONSECA et al., 2007; GLOAGUEN et al., 2007; HERPIN et al., 2007).

2.4.1 Aspectos gerais de acidez, macro e micronutrientes em solos irrigados com EET

A maior parte dos trabalhos que relatam aumento nos teores de macro e micronutrientes no solo via irrigação com EET referem-se a experimentos de longo prazo (RAMIREZ-FUENTES et al., 2002; WANG et al., 2003; RATTAN et al., 2005). São relatadas situações de acréscimos, decréscimos ou mesmo de ausência de alterações. Tudo depende do nutriente em estudo, da composição do EET utilizado, da quantidade de EET aplicado, da cultura, do tipo de solo, do clima, entre outras variáveis. Por exemplo, para as concentrações de Mg trocável, Falkiner e Smith (1997) relataram acréscimos, enquanto Wang et al. (2003) relataram decréscimos. Entretanto, Fonseca (2001, 2005) não obteve qualquer alteração.

Diversos trabalhos na literatura relatam ligeiros aumentos (menor que uma unidade) no pH dos solos irrigados com EET (JOHNS; MCCONCHIE, 1994; FONSECA, 2001). Estes aumentos podem ocorrer devido: (i) ao alto pH do efluente (STEWART et al., 1990); (ii) à adição de cátions trocáveis e de ânions oriundos do efluente (FALKINER; SMITH, 1997); (iii) à alteração na ciclagem de nutrientes mediante adição deste subproduto, ocasionando incremento na redução do NO_3^- para NH_4^+ e desnitrificação do NO_3^- , produzindo íons OH^- (SCHIPPER et al., 1996).

Foram observadas mudanças nos atributos químicos do solo irrigado com EET, tais como: aumento de sódio (Na) e da oxidação do NH_4^+ para NO_3^- quando irrigados por gotejamento subsuperficial. O excesso de Na pode competir com os cátions trocáveis, principalmente com o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg), alterando a biodisponibilidade dos elementos pela saturação do complexo de troca iônico pelo Na (KATERJI et al., 1996). Estudos realizados com a irrigação de culturas com EET evidenciam a atenção particular que deve ser dada ao Na devido aos incrementos que geralmente ocorrem nos teores trocáveis, solúveis, percentual de sódio trocável (PST) e também na condutividade elétrica da solução do solo (CE) (LEAL, 2007; GLOAGUEN et al., 2007; FONSECA et al., 2007).

Em um estudo com plantas de milho irrigado com EET em vaso, Fonseca (2001) relata aumento nos teores de Ca trocável do solo. Johns e McConchie (1994) num experimento de campo, obtiveram aumento nos teores de Ca e a ausência de alterações com o Mg trocável em solos cultivado com bananeira e irrigado com EET.

Para o Mg, estudos com milho e capim Tifton-85 não apresentaram alterações, apesar do aporte de Mg via irrigação com EET (FONSECA, 2001, 2005). Falkiner e Smith (1997) observaram um aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis do solo num estudo com Pinus irrigado com EET. Por outro lado, Wang et al. (2003) relatam decréscimos nas concentrações de Mg. Com relação ao Mg trocável, os aumentos nas concentrações do elemento em geral estão associados a sistemas menos intensivos de produção, enquanto que os decréscimos estão associados a sistemas mais intensivos.

Aumentos nos teores de K trocável pela disposição de efluentes no solo foram relatados por Al-Nakshabandi et al. (1997) e Falkiner; Smith (1997), provavelmente em razão do aporte do elemento via EET. Fonseca (2005), em experimento conduzido por dois anos com capim-Tifton 85, não verificou alterações nos teores de K trocável do solo via irrigação com efluente. Segundo Feigin et al. (1991), a exigência das culturas pelo K é tão grande que mesmo com o elevado aporte via irrigação há geralmente a necessidade de complementação do elemento através da adubação mineral.

Para os micronutrientes, Ramirez-Fuentes et al. (2002) não observaram alterações na disponibilidade de Fe no solo, discordando de Fonseca (2001) e Mohammad e Mazahreh (2003) que verificaram aumentos nas concentrações do Fe disponível no solo irrigado com EET. Para o Cu e Zn, Mohammad e Mazahreh (2003) também não verificaram alterações na disponibilidade destes elementos nos solos irrigados com EET.

Para o B, Johns e McConchie (1994) verificaram aumento nos teores de B no tecido foliar da cultura da bananeira quando irrigada com EET. Fonseca (2001) observou aumento nos teores de Mn no tecido foliar de plantas de milho nas parcelas que receberam fertilização e irrigação com EET, possivelmente pela diminuição do pH que proporcionou alterações na disponibilidade desse nutriente. O mesmo autor também relata aumentos nas concentrações de B disponível no solo em razão da utilização de EET.

Falkiner e Smith (1997) e Mohammad e Mazahreh (2003), em estudos de campo, observaram decréscimos nas concentrações de Mn disponível no solo, associando este efeito à alcalinidade do EET e a adição de cátions no sistema via EET o que proporcionou um aumento no pH do solo.

2.4.2 Aspectos gerais do nitrogênio (N) e do carbono (C) em solos irrigados com EET e na cultura da cana-de-açúcar

O C e o N são elementos cuja dinâmica é alterada pelo uso agrícola de EET. A irrigação com EET é responsável pelo aporte de C e N em diferentes formas (mineral e orgânica). Carbono e nitrogênio orgânicos do EET são admitidos como sendo, principalmente, algas mortas com uma rápida velocidade de decomposição, os quais são adicionados ao solo como carboidratos na fração fresca da matéria orgânica (SNOW et al., 1999). A adição do efluente tratado favorece, em condições alcalinas, o crescimento das culturas, a absorção de N, a desnitrificação e a volatilização de N. Entretanto, o efluente tratado é também uma fonte de N facilmente lixiviado, principalmente se a irrigação for além da capacidade de campo do solo (GLOAGUEN, 2006).

A irrigação com EET pode alterar a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, ocasionando diminuição nos teores de C e N, modificando os processos da ciclagem destes elementos através do aumento do conteúdo de umidade do solo para teores que estimulam a atividade de decomposição da matéria orgânica (FALKINER; SIMTH, 1997). Segundo Fonseca et al. (2005) o efluente aumentou o nitrogênio total (NT) do solo e não alterou o carbono total (CT). De acordo com Polglase et al. (1995) a irrigação pode alterar o ciclo do N afetando a taxa de mineralização, que depende dos potenciais de água no solo, estimulando a atividade microbiana de decomposição.

Gloaguen et al. (2007) estudando a química da solução de um Latossolo Vermelho distrófico irrigado com EET, observaram decréscimos na MO do solo ao longo ao tempo devido a condições permanentes de umidade e a baixa relação C/N do efluente.

Para Herpin et al. (2007) a irrigação com EET na cultura do café resultou em decréscimo da MO do solo acompanhado do decréscimo da capacidade de troca de cátions (CTC). Acredita-se que a diminuição da MO ocorra devido ao processo de degradação da matéria orgânica particulada que é acelerada em condições de baixa relação C/N e de alcalinidade (NYBORG et al., 1978; BURT et al., 1993).

Nas regiões canavieiras do Brasil, as maiores limitações à produtividade não se relacionam à radiação solar, temperatura ou água, mas sim à disponibilidade de nutrientes minerais nos solos, com especial destaque para o N (TRIVELIN, 2000).

Apesar da sua grande importância na nutrição dos vegetais o N não é encontrado nos solos na forma disponível e em quantidades suficientes para o adequado suprimento da maioria das plantas cultivadas. São praticamente inexpressivas as quantidades encontradas em rochas e minerais devido à solubilidade e instabilidade química dos compostos nitrogenados minerais. Quantidades consideráveis de N em rochas são observadas somente nas formas dos sais NaNO_3 e KNO_3 nas regiões desérticas do Chile e Índia (VITTI et al., 1984).

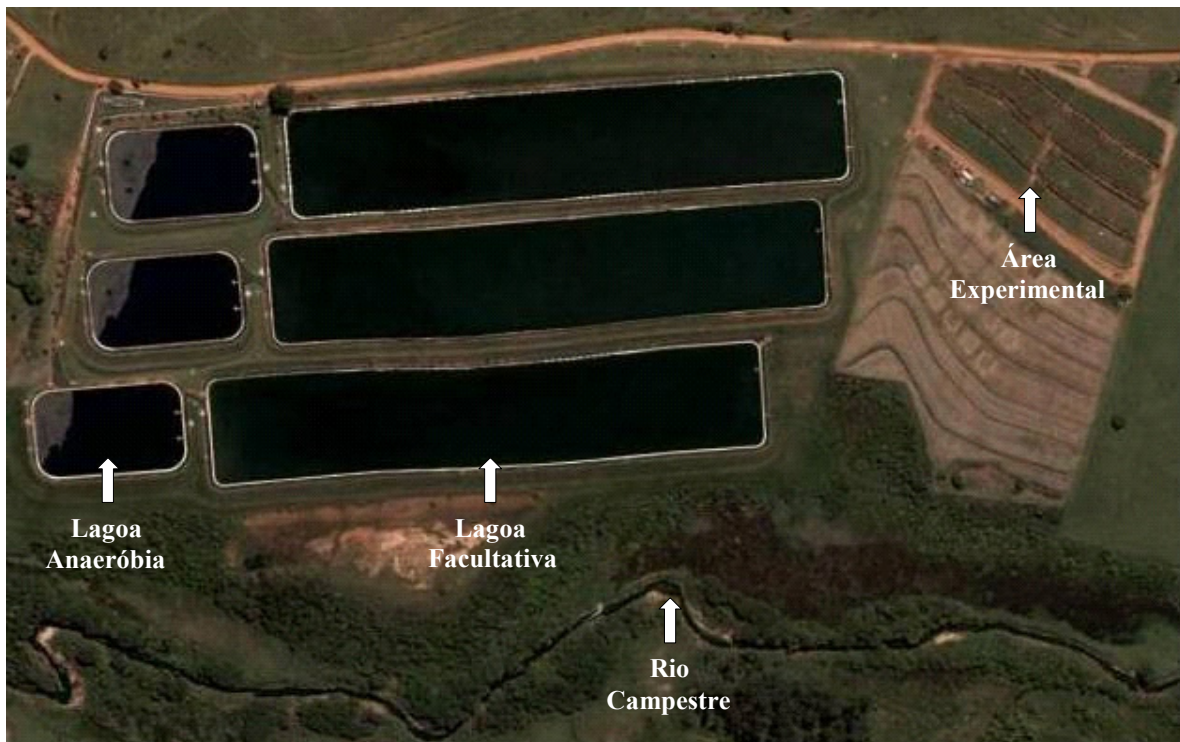
O N é um nutriente que pode limitar a produção agrícola, promovendo um alto consumo de fertilizantes nitrogenados pela agricultura moderna (PAES, 1994). Nos solos, pode estar presente nas formas inorgânicas ou orgânicas, com predomínio desta última que pode compreender mais de 98% do conteúdo total de N (RAIJ, 1991).

Mesmo tendo conhecimento do manejo do N no sistema solo-planta ainda existe uma questão não esclarecida, que é a baixa resposta da cana-planta a adubação nitrogenada. Verifica-se que em muitos trabalhos (AZEREDO et al., 1986; CARNAÚBA, 1990; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992; ORLANDO FILHO et al., 1999) a cana-planta não responde em produtividade a aplicação de N, o que se tem atribuído à fixação biológica do N atmosférico; às perdas por lixiviação do N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparado ao de soqueira; às condições climáticas e a melhoria da fertilidade dos solos após a reforma dos canaviais. Outros autores relataram que o conteúdo de N presente no tolete também pode contribuir para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar, podendo justificar a falta de resposta ao N na cana-planta (CARNEIRO; TRIVELIN; VICTORIA, 1995). Com relação à qualidade da matéria-prima o adubo nitrogenado, de um modo geral, não tem alterado as características agroindustriais da cana-de-açúcar, tais como Brix caldo, fibra, AR (açúcares redutores), Pol cana; assim, os maiores rendimentos em açúcar por área são resultantes da maior produtividade de colmos (TRIVELIN, 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental, variedade de cana-de-açúcar, tipo de solo e manejo da cultura

O campo experimental está situado em Lins, São Paulo, ao lado da estação de tratamento de esgoto operada pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), na Unidade de Negócios do Baixo Tietê e Grande. O sistema de tratamento de esgoto é constituído por três lagoas anaeróbias (tratamento primário) seguidas por três lagoas facultativas (tratamento secundário), produzindo em média $500 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ de esgoto tratado (Figura 1). A profundidade das lagoas anaeróbias é de 4,00 m e o tempo médio de detenção hidráulica é de cinco dias, enquanto que nas lagoas facultativas a profundidade é de 1,90 m e o tempo médio de detenção hidráulica é de dez dias (PIVELI et al., 2003).



Fonte: <http://maps.google.com/> (acesso 12/03/2007)

Figura 1 – Sistema de três lagoas anaeróbias seguidas de três lagoas facultativas operada pela SABESP e a área experimental

O município de Lins, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo (49°50'W, 22°21'S), a 455 km da capital, possui cerca de 71.000 habitantes (IBGE, 2006), tendo 100% de seu esgoto tratado pela SABESP. Apresenta altitude média de 440 m, com temperaturas média máxima e mínima de 22°C e 18°C, respectivamente, e uma precipitação anual variando de 1.100 a 1.300 mm.

O solo da área de plantio da cana-de-açúcar foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico apresentando textura franco-arenosa (IBRAHIM, 2002).

O solo onde foi instalado o presente experimento havia sido cultivado anteriormente com milho e girassol, num sistema de culturas rotativas, tem sido irrigado por dois anos com esgoto tratado. Após esse período a área recebeu calcário dolomítico, para elevar a saturação por bases para 60 %, e foi cultivada com *Crotalaria juncea*, para adubação verde, até o plantio da cana. As características químicas e físicas do solo, quando da instalação do experimento, encontram-se na Tabela 1 (LEAL, 2007). Inicialmente, o solo apresentava acidez média, baixos teores de MO, baixas concentrações de CT e NT, médios teores de P, altos teores de Ca, baixos teores de Mg, teores médios de K, ocorrência de alumínio em profundidade, presença de Na e percentual de sódio trocável (PST) crescente ao longo do perfil, baixa capacidade de troca de cátions (CTC), baixa saturação de bases (V%), teores elevados de B, teores médios de micronutrientes, ocorrência de argila dispersa em água ao longo de todo o perfil, e baixas concentrações de sais (CE).

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no presente trabalho foi a RB 72454, obtida pelo Instituto de Açúcar e Alcool (IAA)/Planalsucar. Esta variedade apresenta alto teor de sacarose, baixo teor de fibra, pouco florescimento, maturação tardia e baixa exigência na fertilidade do solo, tendo como características de destaque a ampla adaptabilidade e a alta produtividade agrícola e industrial. De acordo com estudos desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA), conduzido pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (Ufscar), a produtividade média esperada para cana-planta da RB 72454 é de 129,6 t ha⁻¹ em colmo.

O plantio da cana foi realizado em março de 2005 com espaçamento de 1,40 m, totalizando cinco linhas de plantio por parcela, sendo que uma linha não foi irrigada no intuito de minimizar o efeito entre parcelas. A adubação mineral de plantio consistiu na aplicação de 15 kg ha⁻¹ de N (nitrato de amônio), 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 80 kg ha⁻¹ K₂O

(cloreto de potássio), exceto para o tratamento sem irrigação que não recebeu adubação nitrogenada mineral.

Após o plantio da cana foi instalado o sistema de irrigação localizado por gotejamento, ao lado da linha da cultura, na superfície do solo. O tubo gotejador empregado foi o modelo NAÑN PC 16 mm, com vazão de $3,8 \text{ L h}^{-1}$ e espaçamento entre gotejadores de 0,33 m. As lâminas de efluente aplicadas foram calculadas a partir da umidade crítica do solo de -40 kPa na camada de 0-60 cm. Esta tensão foi considerada como limite, na qual a umidade do solo não prejudicaria o desenvolvimento da cultura. O potencial de -40 kPa corresponde, na curva característica de retenção da água no solo, a umidade volumétrica de aproximadamente 60% do total de água disponível. A cada dois dias, no período da manhã, foram realizadas leituras do potencial mátrico fornecida pelos tensiômetros instalados nas parcelas experimentais. Os valores do potencial mátrico lidos eram transformados, pela curva característica de retenção da água no solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980), em umidade para a determinação do tempo de irrigação. Quando o potencial indicava valores abaixo de -40 kPa, a irrigação era realizada até atingir valores de -10kPa, potencial este correspondente à umidade na capacidade de campo.

Para que fosse possível uma boa maturação da cana a irrigação foi encerrada em agosto de 2006, o que proporcionou um período de estresse hídrico de aproximadamente 45 dias antes do corte da cultura. O corte da cana-planta foi realizado no final de setembro de 2006.

Tabela 1 – Características químicas e físicas iniciais do solo (LEAL, 2007)

Prof. Cm	pH CaCl ₂	MO	CT g kg ⁻¹	NT	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na mmol _c kg ⁻¹	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V %
0-10	5,1	10	6,05	0,52	17	3,0	13	3	0,7	15	1	19,9	35,4	56
10-20	5,2	13	6,36	0,55	15	2,4	13	4	1,5	15	1	20,6	35,6	58
20-40	4,9	12	5,11	0,43	4	1,8	10	4	2,5	16	2	18,1	34,0	53
40-60	4,6	10	4,12	0,35	1	1,3	6	2	2,8	22	4	12,5	34,3	37
60-80	4,5	9	3,48	0,28	1	1,2	9	2	2,7	20	5	15,5	35,7	42
80-100	4,4	9	2,86	0,23	1	1,2	7	2	2,3	17	6	12,2	29,3	42
	m %	PST	B	Cu	Fe mg kg ⁻¹	Mn	Zn	CE dS m ⁻¹	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	ADA %	Textura	
0-10	5	2,10	0,66	0,5	22	3,0	1,2	0,66	775	90	135	3,14	Franc Aren	
10-20	4	4,11	0,65	0,7	21	2,7	1,5	0,42	775	78	147	4,56	Franc Aren	
20-40	10	7,39	0,61	0,4	15	1,7	0,3	0,21	732	76	192	5,66	Franc Aren	
40-60	25	8,14	0,40	0,5	10	1,2	0,2	0,19	708	65	227	6,54	Franc Arg Aren	
60-80	26	7,45	0,45	0,4	6	1,1	0,1	0,24	702	67	231	6,51	Franc Arg Aren	
80-100	31	7,94	0,56	0,4	5	1,1	0,1	0,18	695	80	225	4,22	Franc Arg Aren	

MO = Matéria Orgânica

CT = Carbono Total

NT = Nitrogênio Total

SB (Soma de Bases) = Ca + Mg + K + Na

CTC (Capacidade de Troca Catiônica) = SB + H+Al

V (Saturação por Bases) = SB*100/CTC

m% (Saturação por Alumínio) = Al*100/SB+Al

PST (Percentual de Sódio Trocável) = Na*100/CTC

CE = Condutividade Elétrica no Extrato Aquoso

ADA = Argila Dispersa em Água

Textura = Classificação Textural (Franc Are = Franco Arenosa; Franc Arg Are = Franco Argilo Arenosa)

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos com parcelas subdivididas no tempo com cinco tratamentos e quatro repetições, num total de vinte parcelas. Cada parcela possui 40 m de comprimento e 7 m de largura, sendo a área total de 280 m². A área útil (126 m²) foi formada pelas duas linhas irrigadas centrais e a bordadura constituída por uma linha de cana irrigada de cada lado da parcela. Foram desprezados os 5 m laterais de cada linha de plantio.

Os tratamentos empregados foram: SI: sem irrigação, 100 – umidade do solo na capacidade de campo, 125 – 25 % a mais da umidade do solo na capacidade de campo, 150 – 50 % a mais da umidade do solo na capacidade de campo, 200 – 100 % a mais da umidade do solo na capacidade de campo.

3.3 Época de coleta, preparo e análise de amostras do efluente de esgoto tratado

O efluente utilizado na irrigação da cana-de-açúcar foi coletado mensalmente no período de um ano (2005-2006). As amostras de efluente foram coletadas nos tubos gotejadores. A coleta e a preservação foram realizadas segundo a metodologia da AWWA e APHA (1999). As amostras, até o momento da preparação foram mantidas em baixas temperaturas (aproximadamente 4°C). No laboratório, cada amostra foi dividida em três subamostras: (A) não filtrada; (B) filtrada em microfibras de vidro com poro de 0,45 µm de diâmetro; (C) filtrada em membrana de éster-celulose com poro de 0,22 µm de diâmetro.

Nas subamostras (A) foram determinados os valores de pH, CE. As subamostras (B) foram preservadas com solução cloreto de mercúrio 30 mmol L⁻¹ e mantidas em refrigeração até a análise química das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), mediante o uso do equipamento Shimadzu TOC-5000A. O material particulado retido pela microfibras de vidro no processo de filtração das subamostras (B) foi destinado à análise das concentrações de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT), por combustão a seco (NELSON; SOMMERS, 1996). As concentrações de CT e NT correspondem ao C-orgânico e N-orgânico não dissolvidos. As subamostras (C) foram subdivididas em amostras preservadas com Thymol, mantidas de forma similar as subamostras (B), e amostras sem preservantes, mantidas congeladas. As amostras

preservadas com Thymol foram destinadas às determinações analíticas de: (i) $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, S-SO_4^- , N-NO_3^- , N-NO_2^- , Cl^- por cromatografia líquida – HPLC Dionex DX- 500; (ii) N-NH_4^+ por condutividade elétrica (CE) mediante o emprego de sistema FIA, conforme Ruzicka e Hansen (1975). As amostras sem preservantes foram destinadas às análises de K, Na, B, Al, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio acoplado indutivamente (ICP-OES);

Essas análises foram realizadas no Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (Nupegel - Esalq/USP), no Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA/USP) e no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP).

3.4 Época de coleta, preparo e análise de amostras de solo

Em fevereiro de 2005 foram coletadas amostras de solo para a caracterização inicial da área experimental através de análises química e física. Após o início do experimento foram feitas duas amostragens de solo, a primeira em dezembro de 2005 e a segunda em setembro de 2006 no momento do corte da cultura.

As amostras de solo foram coletadas com trado holandês nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, de forma aleatória em todas as parcelas. Para cada parcela foi obtida uma amostra composta de solo, proveniente de doze subamostras das profundidades de 0-10 e 10-20 cm e de seis subamostras para as demais profundidades.

As amostras compostas foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2,0 mm para obtenção das amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), que foram então submetidas as análise de pH, matéria orgânica (MO), Al^{3+} , H+Al, macronutrientes e micronutrientes. Para as análises de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT), as amostras foram passadas em peneiras de malha de 0,15 mm.

Para avaliação química e de fertilidade, foram seguidas as metodologias propostas por (SILVA, 1999; RAIJ et al., 2001).

A determinação do pH (acidez atual) foi realizada por potenciometria, em solução CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$; a MO pelo método colorimétrico, as concentrações de H+Al (acidez potencial) por titulação com solução padronizada de NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ dos extratos de TFSA obtidos com solução $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{-COO})_2$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0; as concentrações trocáveis de Al (acidez trocável),

Ca e Mg em extratos de TFSA obtidos com solução KCl 1,0 mol L⁻¹. As concentrações de Al trocável foram determinadas por titulação com solução padronizada de NaOH 0,025 mol L⁻¹ e as de Ca e Mg mediante leitura por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama (EAA-chama); as determinações das concentrações de Na, K e P em extratos de TFSA obtidos com solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), mediante leitura por espectrofotometria de emissão de chama (EEC) para Na e K e, por colorimetria para o P; as concentrações de B disponível extraídas por solução 0,006 mol L⁻¹ de BaCl₂ aquecido em microondas, foram determinadas através de colorimetria; as determinações das concentrações disponíveis de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) em extratos de TFSA obtidos com solução DTPA-TEA (ácido dietilenotriaminopentaacético 0,005 mol L⁻¹ + trietanolamina 0,1 mol L⁻¹ + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) a pH 7,3, foram realizadas por EAA-chama.

Todas essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise Química de Pesquisa no Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP) e nos Laboratórios do Nupegel/USP.

As determinações de CT e NT das amostras moídas e homogeneizadas foram feitas por combustão a seco (NELSON; SOMMERS, 1996), utilizando-se o aparelho LECO CN 2000 no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental dos Solos (CENA/USP).

3.5 Época de coleta, preparo e análise do tecido foliar e do colmo

Para a avaliação do estado nutricional das plantas foram coletadas 25 folhas + 3 das plantas dentro da área útil de cada parcela. Foram separados os 20 cm centrais da lâmina foliar, excluindo-se a nervura central. As folhas foram lavadas com água deionizada no campo e secas em estufa, com a temperatura de aproximadamente 65 a 70⁰C, sendo posteriormente moídas (MALAVOLTA et al., 1997). Foram realizadas duas amostragens no período da safra, aos nove meses de idade, dezembro de 2005, (fase de máximo desenvolvimento da cana de ano e meio) e no corte, setembro de 2006.

Após a lavagem, secagem e moagem do tecido foliar foram determinados N por digestão sulfúrica (SARRUGE et al., 1974); P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn e Cu por digestão nítrico-perclórica (SARRUGE et al., 1974); B por digestão via seca (BATAGLIA et al., 1983). As determinações de Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu foram feitas no EAA-chama e as determinações do

Na e K por EEC. O B e o P foram determinados por colorimetria. O N foi determinado por titulação no micro-destilador.

Em setembro de 2006 foram coletados dez colmos dentro da área útil de cada parcela formando uma amostra composta para a determinação da extração de nutrientes pelos colmos. Estas amostras foram trituradas, secas e moídas, sendo posteriormente submetidas às mesmas análises empregadas para as amostras de tecido foliar.

As análises de folha e colmo foram realizadas no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP).

3.6 Época de coleta e preparo das amostras para as análises tecnológicas e industriais da cana-de-açúcar

Para a estimativa da produtividade de colmos, em $t\ ha^{-1}$, as duas linhas centrais de cada parcela, cortada manualmente e sem queima, foram colhidas e pesadas com o auxílio de uma célula de carga. Para as análises tecnológicas e industriais do caldo, foram coletados e triturados dez colmos dentro da área útil de cada parcela. Uma sub-amostra de 500 g foi colocada em prensa hidráulica, obtendo-se deste modo o caldo extraído e o bagaço fibroso (CONSECANA, 2005). Essas amostras foram coletadas em setembro de 2006 no momento da colheita da cana-de-açúcar.

A partir do caldo extraível foram determinados os seguintes parâmetros tecnológicos (CONSECANA, 2005): (i) sólidos solúveis totais (Brix % caldo extraído); (ii) Pol % caldo extraído; (iii) açúcares redutores % caldo extraído (AR % caldo extraído); (iv) porcentagem de fibra da cana (Fibra % cana); (v) Pol % da cana e (v) açúcar total recuperável (ATR). Os parâmetros industriais foram: (i) acidez; (ii) teor alcoólico; (iii) P_2O_5 ; (iv) dextrana; (v) amido e (vi) dureza (CONSECANA, 2005).

Nas amostras de caldo também foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn e Cu (SARRUGE et al., 1974); B (BATAGLIA et al., 1983).

As análises tecnológicas e industriais das amostras de cana foram realizadas no Laboratório da Agropav S/A Agropecuária (Promissão-SP) e as análises de macro e micronutrientes do caldo foram realizadas no Laboratório de Tecidos Vegetais do Departamento de Ciência do Solo (Esalq/USP).

3.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando o programa estatístico SAS - System for Windows 8.2 (SAS INSTITUTE, 1999). Realizou-se a análise de variância de acordo com o modelo experimental de blocos completos com parcelas subdivididas no tempo. As análises de solo foram realizadas em três épocas de amostragem nas distintas camadas de solo, exceto os resultados de CT, NT e MO que foram avaliados em apenas duas épocas de amostragem. As épocas foram consideradas como subparcela. Para as amostras de planta as comparações foram baseadas dentro de uma mesma época de amostragem. Nos casos de F significativo ($P < 0,05$) foi aplicado o teste Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características do efluente de esgoto tratado

A composição química do EET nas diferentes estações do ano, bem como a sua média geral, são apresentadas na Tabela 2. Os constituintes do EET variaram ao longo das estações do ano, em particular durante o verão, estação das chuvas na área em estudo.

As alterações principais ocorreram nas concentrações de Ca, K e Na, as quais foram maiores na época do inverno. Um estudo com capim-Tifton irrigado com EET proveniente da mesma estação de tratamento de esgotos durante dois anos, também relata uma variação das concentrações dos constituintes químicos conforme a época do ano (FONSECA, 2005). Esta variação é atribuída aos efeitos de diluição ocasionados pelas chuvas de verão.

O balanço existente entre os íons Na, Ca e Mg expresso pela RAS (razão de adsorção de sódio), juntamente com a concentração salina expressa pela CE (condutividade elétrica), influencia as taxas de infiltração e a permeabilidade do solo. Quanto maior for a CE da água de irrigação, para um determinado valor de RAS, menor será a efeito deletério na permeabilidade do solo. Segundo os critérios de referência quanto à qualidade da água de irrigação apresentados por Pescod (1992) o efluente em estudo possui Na, CE e RAS em grau de restrição leve a moderado e, Cl e B, sem grau de restrição. O pH encontra-se dentro da faixa de variação normal (Tabela 2).

Levando em conta todo o período experimental, além de uma precipitação pluvial de aproximadamente 1.290 mm, os tratamentos 100, 125, 150 e 200 receberam lâminas de irrigação de 2.520, 3.180, 3830 e 5.090 mm, respectivamente (Figura 2). Estas lâminas são consideradas elevadas visto que o consumo diário de água pela cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do país, dependendo da variedade, do estágio de desenvolvimento da cultura e da demanda evapotranspirométrica, tem variado em geral de 2 a 6 mm dia⁻¹ (BERNARDO, 2006), o que corresponde a uma faixa de 960 a 2880 mm, considerando um período de 16 meses de irrigação. Entretanto, o solo da área experimental que apresenta uma baixa capacidade de retenção de água, associado as altas temperaturas da região de Lins, favorecem uma maior periodicidade na irrigação e, por conseguinte, a aplicação de lâminas mais elevadas.

Tabela 2 – Características químicas do efluente utilizado na irrigação

Parâmetros	Concentrações no Efluente				
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Médias
pH	7,69	7,96	7,53	7,69	7,71
CE (dS m ⁻¹)	0,79	0,90	0,90	0,79	0,84
RAS (mmol L ⁻¹) ^{0,5}	11,57	9,73	8,94	11,12	10,34
			(mg L ⁻¹)		
COD	8,69	10,13	14,14	11,58	11,14
CT	37,38	41,58	41,56	45,78	41,58
NT	8,15	8,84	8,83	9,53	8,84
C/N	4,59	4,70	4,71	4,80	4,71
N-NO ₂ ⁻	2,59	2,94	2,72	3,12	2,84
N-NO ₃ ⁻	0,98	1,21	1,06	0,85	1,03
N-NH ₄ ⁺	16,97	15,30	14,85	19,62	16,68
S-SO ₄ ⁻	4,80	3,77	3,12	4,06	3,94
P-H ₂ PO ₄ ⁻	1,89	3,85	2,18	1,85	2,45
Cl	58,09	66,48	66,55	74,32	66,36
Ca	7,63	6,54	7,63	8,21	7,50
Mg	1,17	1,99	2,17	1,75	1,77
K	13,38	10,77	11,19	14,01	12,33
Na	129,82	110,74	108,90	134,68	121,03
Al	0,005	0,013	-	0,009	0,009
Fe	0,076	0,085	0,179	0,094	0,108
Cu	0,007	0,006	0,008	0,007	0,007
Zn	0,020	0,016	0,017	0,027	0,020
Mn	0,017	0,016	0,024	0,015	0,018
B	0,093	0,096	0,170	0,230	0,140

CE = Condutividade Elétrica do efluente

COD = Carbono Orgânico Dissolvido

CT = Carbono Total

NT = Nitrogênio Total

RAS (Razão de Adsorção de Sódio) = $Na / [Ca^{++} + Mg^{++} / 2]^{0,5}$

Entre os elementos P, Ca, Mg, K e Na observa-se que o maior aporte foi do Na seguido do K, Ca, P e Mg. Em relação aos micronutrientes, o maior aporte foi do B seguido do Fe, Zn, Mn e Cu.

Um ponto importante e que deve ser levado em consideração quando se observa a Tabela 3 é o elevado aporte de Na pelo efluente seguido do Cl, e ainda a baixa relação Ca:Mg, menor que 0,5 (DAWES; GOONETILLEKE, 2003).

O efluente é fonte de umidade para o desenvolvimento da cultura e, ainda, uma fonte de nutrientes essenciais, tais como N, P, K, Ca e Mg. Contudo, deve-se salientar a existência de possíveis riscos que podem, no longo prazo, alterar o solo e afetar negativamente a produtividade da cultura. Trabalhos já realizados em agrossistemas irrigados com EET em condições brasileiras relatam acréscimos de cátions trocáveis, de salinidade, de sodicidade e decréscimos nos teores de matéria orgânica (FONSECA, 2005; GLOAGUEN, 2006; GLOAGUEN et al., 2007; HERPIN et al., 2007) e acréscimos na condutividade hidráulica do solo (GLOAGUEN, 2005; GONÇALVES et al., 2007), confirmando, em geral, os resultados da literatura internacional obtidos em condições diversas de solo e clima (POLGLASE et al., 1995; FALKINER; SMITH, 1997; RAMIREZ-FUENTES et al., 2002).

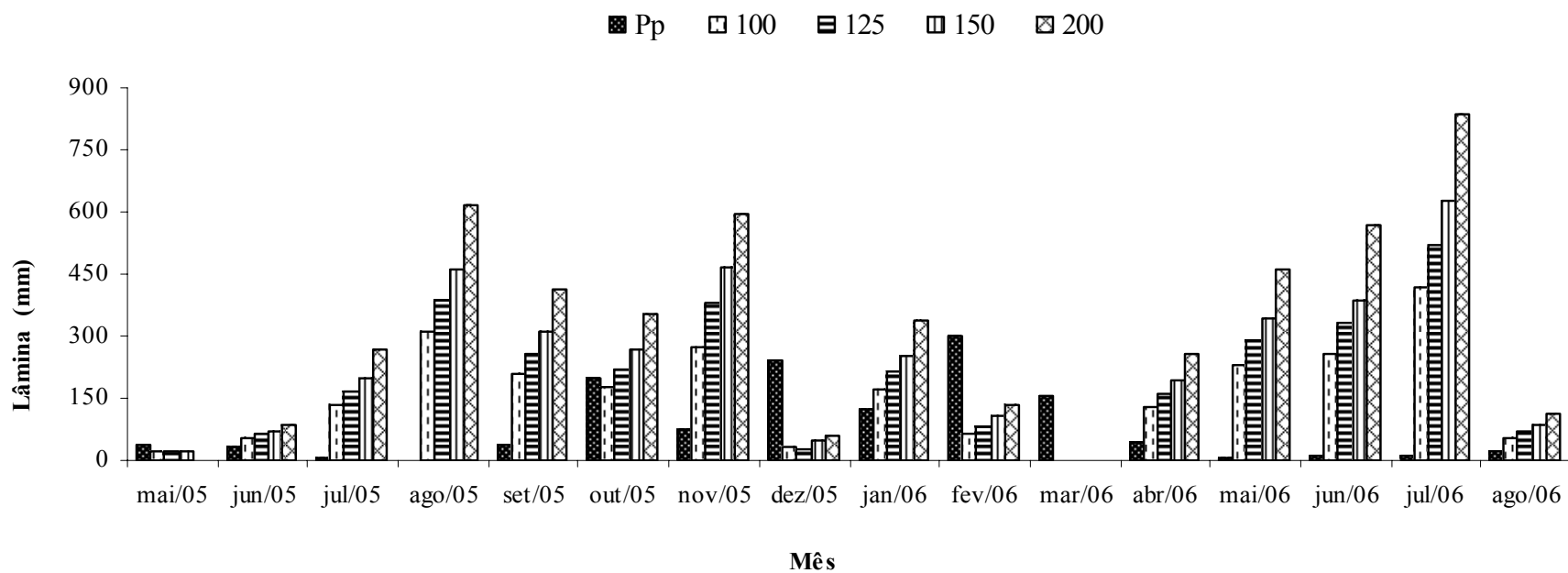


Figura 2 – Lâminas mensais de irrigação aplicadas e precipitação pluvial durante o período experimental (início 18/05/2005 e término 10/08/2006)

Pp: precipitação pluvial, 100: Irrigação com EET (umidade do solo na capacidade de campo); 125, 150 e 200: Irrigação com EET, (correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo)

Tabela 3 – Aporte de nutrientes e de carbono via EET no primeiro ciclo da cultura de cana-de-açúcar

Parâmetros	100	125	150	200
	kg ha ⁻¹			
CT	1049,48	1325,99	1593,35	2117,25
NT	223,12	281,91	338,75	450,13
N-NO₃⁻	26,00	32,85	39,47	52,45
S-SO₄⁻	99,45	125,65	150,98	200,62
P-H₂PO₄⁻	61,84	78,13	93,88	124,75
Cl	1674,93	2116,22	2542,92	3379,05
Ca	189,30	239,18	287,40	381,90
Mg	44,67	56,45	67,83	90,13
K	311,21	393,20	472,49	627,84
Na	3054,80	3859,65	4637,87	6162,85
Al	0,23	0,29	0,34	0,46
Fe	2,73	3,44	4,14	5,50
Cu	0,18	0,22	0,27	0,36
Zn	0,50	0,64	0,77	1,02
Mn	0,45	0,57	0,69	0,92
B	3,53	4,46	5,36	7,13

100: umidade do solo na capacidade de campo, 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

CT: Carbono Total

NT: Nitrogênio Total

4.2 Diagnose foliar, qualidade tecnológica e produção da cana-planta

4.2.1 Concentração dos macronutrientes na folha, no colmo e no caldo

Na Tabela 4 são apresentados os teores de macronutrientes no tecido foliar da cana-de-açúcar na Época 2 (dezembro de 2005) e 3 (setembro de 2006). Não houve diferença significativa entre os tratamentos empregados na Época 2, para nenhum dos elementos considerados, exceto para o K que foi maior no tratamento SI quando comparado aos tratamentos 100, 125 e 150. Na Época 3, os teores de Na foram maiores no tratamento 125 em comparação com os tratamentos SI, 150 e 200.

Levando em consideração a diagnose foliar (Época 2), momento em que se pode monitorar o estado nutricional da planta, bem como prever a necessidade de adubação, muitos autores relatam teores foliares de N na cana-planta abaixo do nível adequado (ESPIRONELO et al., 1986; PRADO et al., 2001; MALAVOLTA, 2006). Para Reis Jr. e Monnerat (2003) 13,4 g kg⁻¹ de N corresponde à concentração adequada para a cultura. Considerando este nível de 13,4 g kg⁻¹, verifica-se na Tabela 4 que o teor foliar de N é suficiente para proporcionar altas produções.

A faixa dos teores de N, P, K, Ca e Mg considerada adequada nas folhas de acordo com Raij et al. (1996), é igual a: 18-25 g kg⁻¹ de N; 1,5-3,0 g kg⁻¹ de P; 10-16 g kg⁻¹ de K; 2,0-8,0 g kg⁻¹ de Ca e 1,0-3,0 g kg⁻¹ de Mg. Entretanto, para Malavolta (2006) a faixa dos teores adequado é: 19–21; 2,0-2,4; 11-13; 8-10; 2-3 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Observa-se, que os teores desses macronutrientes encontram-se dentro da faixa preconizada por Raij et al. (1996), e que, para a faixa de valores recomendada por (MALAVOLTA, 2006), o K nos tratamentos 100, 125, 150 e 200, juntamente com o Ca em todos os tratamentos, estão abaixo do esperado para obtenção de altas produtividades.

Verifica-se uma tendência de maiores valores nas concentrações dos macronutrientes no tratamento SI em comparação aos tratamentos irrigados, tendência mais expressiva para o N e K na Época 2 (Tabela 4).

O K é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar seguido do N. Segundo Malavolta (2006) a interação entre esses dois nutrientes é forte e quando o teor de N aumenta o K também aumenta. O mesmo autor também descreve que existe um efeito do nitrogênio sobre a diminuição do K e do Mg, dependendo da fonte de nitrogênio, sendo que o NH₄⁺ pode acarretar a diminuição na absorção do K devido à competição no processo de absorção. O EET utilizado possui, dentre as formas de N mineral, o NH₄⁺ em maior quantidade, podendo assim favorecer a diminuição do K nos tratamentos irrigados. Anghinoni e Meurer (2004) descrevem que a elevada adição de K no solo pode diminuir a absorção de Mg.

Observa-se ainda na Tabela 4 que as concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Na foram menores na Época 3. Essa diminuição nas concentrações dos nutrientes com o passar dos meses de desenvolvimento da cultura pode ser explicada pela absorção das plantas e também pelas possíveis interações entre os elementos.

Tabela 4 – Concentração de macronutrientes presentes nas amostras de folha da cana-planta irrigada com EET nas Épocas 2 (dez/05) e 3 (set/06)

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		Na	
Macronutrientes na folha (g kg⁻¹)												
Época 2												
SI	19,67	A	2,39	A	12,50	A	4,69	A	2,32	A	2,87	A
100	17,82	A	2,30	A	9,88	B	3,81	A	2,12	A	2,36	A
125	17,64	A	2,46	A	9,56	B	4,50	A	2,22	A	3,00	A
150	17,11	A	2,44	A	10,07	B	4,72	A	2,37	A	1,91	A
200	18,16	A	2,37	A	10,90	AB	4,67	A	2,40	A	2,61	A
Média	18,08		2,39		10,58		4,48		2,29		2,55	
CV (%)	6,94		3,40		9,59		15,21		7,35		34,92	
Época 3												
SI	16,34	A	1,68	A	11,22	A	2,96	A	1,42	A	1,98	B
100	14,07	A	1,72	A	11,92	A	3,27	A	1,20	A	2,68	AB
125	15,12	A	1,63	A	12,56	A	3,62	A	1,42	A	5,17	A
150	15,57	A	1,87	A	11,35	A	3,32	A	1,40	A	2,55	B
200	15,68	A	1,87	A	11,16	A	3,87	A	1,52	A	2,49	B
Média	15,36		1,76		11,64		3,41		1,39		2,97	
CV (%)	8,66		9,79		14,81		17,21		24,53		38,07	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Com relação aos teores de macronutrientes no caldo, houve diferença significativa entre os tratamentos para as concentrações de P e Ca (Tabela 5). Com exceção do K e do Na, observa-se uma tendência de menores teores de N, P, Ca e Mg no tratamento SI quando comparado aos tratamentos irrigados, sendo esta diferença significativa para P e Ca, e não significativa para N e Mg. A maior concentração de P ocorreu na maior lâmina de irrigação, porém não houve diferença significativa nos tratamentos irrigados.

A maior produtividade foi obtida nos tratamentos irrigados, que além de condições de umidade para o maior desenvolvimento da cultura tiveram fornecimento de nutrientes durante o ciclo, concordando com Beauclair (1994) que relata a existência de uma relação direta entre os teores de nutrientes do caldo e a produtividade da cultura em $t\ ha^{-1}$, bem como entre os teores de nutrientes do caldo, parâmetros do solo e fertilizantes aplicados.

Tabela 5 – Concentração de macronutrientes presentes nas amostras de caldo da cana-planta irrigada com EET na Época 3 (set/06)

Tratamento	N		P		K		Ca		Mg		Na	
	Macronutrientes no caldo (g kg⁻¹)											
SI	8,44	A	0,23	B	6,27	A	0,13	B	0,12	A	1,81	A
100	11,26	A	0,29	AB	4,69	A	0,20	A	0,21	A	1,70	A
125	11,43	A	0,30	AB	4,58	A	0,18	A	0,17	A	1,75	A
150	9,41	A	0,30	AB	4,37	A	0,18	A	0,18	A	1,76	A
200	11,66	A	0,36	A	4,42	A	0,20	A	0,17	A	1,75	A
Média	10,44		0,30		4,86		0,18		0,17		1,75	
CV (%)	14,52		16,18		19,17		11,56		30,09		9,89	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100%, a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

No caso do colmo, observa-se diferença entre os tratamentos somente para as concentrações de K e Ca (Tabela 6). Para os teores de K, houve diferença entre o tratamento SI e o tratamento 200, sendo a concentração de K maior no tratamento SI. Dessa forma, observa-se na maior lâmina (200), onde o aporte de NH_4^+ foi maior, uma queda na concentração de K concordando com Malavolta (2006). Com relação ao Ca, a diferença ficou entre os tratamentos SI e 100.

As extrações de K e N foram muito maiores em relação aos valores de referência enquanto as extrações os teores de Ca foram inferiores ao que seria esperado (Tabela 6). Alguns autores ressaltam as variações que ocorrem na extração dos macronutrientes do colmo, que depende de inúmeros fatores, tais como: idade da cultura, nutriente, tipo de solo, variedades e condições climáticas (ORLANDO FILHO, 1978; DEMATTÊ, 2005). A ordem de extração dos macronutrientes pela cana-planta obtidos por Orlando Filho et al. (1980) e Coleti et al. (2006) foi de: $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$; resultados similares foram obtidos no presente trabalho.

Em um trabalho de absorção de macronutrientes com três variedades de cana-de-açúcar, Orlando Filho (1978) relata na cana-planta maior acúmulo de nutrientes pela folha em relação ao colmo, ocorrendo à influência do solo na extração do P, K e Ca pelo colmo e pela folha +3, reforçando a idéia de que alguns parâmetros, como, por exemplo, a idade da cultura, solo e nutrientes, interferem diretamente na extração de nutrientes por parte da planta.

Tabela 6 – Concentração de macronutrientes presentes nas amostras de colmo da cana-planta irrigada com EET e extração desses nutrientes pelo colmo na Época 3 (set/06)

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		Na	
Macronutrientes no colmo (g kg⁻¹)												
SI	7,56	A	0,57	A	9,88	A	0,33	B	0,52	A	3,83	A
100	7,21	A	0,61	A	7,39	AB	0,50	A	0,65	A	1,85	A
125	7,77	A	0,63	A	7,46	AB	0,36	AB	0,65	A	3,56	A
150	7,52	A	0,68	A	6,88	AB	0,41	AB	0,65	A	2,29	A
200	8,57	A	0,70	A	6,63	B	0,44	AB	0,67	A	3,70	A
Média	7,73		0,64		7,65		0,41		0,63		3,05	
CV (%)	10,21		11,78		17,60		17,31		12,55		59,88	
Extração de macronutrientes pelo colmo (kg t⁻¹ colmo)												
SI	4,12	A	0,31	A	5,39	A	0,18	B	0,28	A	2,09	A
100	3,93	A	0,33	A	4,03	AB	0,27	A	0,35	A	1,01	A
125	4,24	A	0,34	A	4,07	AB	0,20	AB	0,35	A	1,94	A
150	4,10	A	0,37	A	3,75	AB	0,22	AB	0,35	A	1,25	A
200	4,67	A	0,38	A	3,61	B	0,24	AB	0,37	A	2,02	A
Valores de referência extraídos pelo colmo (kg t⁻¹ colmo) (Orlando Filho 1993)												
	0,90-1,32		0,08-0,30		0,99-1,49		0,50-0,67		0,33-0,51		-	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

4.2.2 Teores dos micronutrientes na folha, no colmo e no caldo

Com relação às concentrações de micronutrientes no tecido foliar da cana-planta, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos para o Mn e o Zn na Época 2. Para o Mn houve diferença entre o tratamento SI e os demais tratamentos, sendo maior no tratamento SI quando comparados aos demais tratamentos. No caso do Zn, a diferença significativa foi entre o tratamento SI e os tratamentos 150 e 200, sendo as menores concentrações encontradas nos tratamentos 150 e 200. Assim como para os macronutrientes, o Fe apresentou uma diminuição na concentração da Época 2 para a Época 3 e o Mn teve um aumento na concentração da Época 2 para a Época 3 (Tabela 7).

Para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, Raji et al. (1996) consideram como faixa adequada no tecido foliar da cana-de-açúcar: 10-30 mg kg⁻¹ de B, 6-15 mg kg⁻¹ de Cu, 40-250 mg kg⁻¹ de Fe, 25-250 mg kg⁻¹ de Mn e 10-50 mg kg⁻¹ de Zn, enquanto Malavolta (2006) considera de 15-50, 8-10, 200-500, 100-250 e 25-50 mg kg⁻¹ como sendo o mais adequado para

B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Segundo Casagrande (1991) a ordem de absorção dos micronutrientes para a cana-de-açúcar é: $Fe > Zn > Mn > B \geq Cu$.

Na Tabela 7, considerando a Época 2, época de maior desenvolvimento da cana de ano e meio, observa-se que os valores de B e Cu encontram-se abaixo da faixa de teores adequados para micronutrientes na cana-planta, tanto para Raij et al. (1996) como para Malavolta (2006). As concentrações de Fe, Mn e Zn encontram-se dentro da faixa adequada estabelecida por Raij et al. (1996), mas, por outro lado abaixo das concentrações adequadas descritas por Malavolta (2006).

A deficiência de B e Cu no tecido foliar não interferiu na produtividade da cana-planta, provavelmente porque após o período de amostragem para a diagnose foliar, Época 2, o aporte desses micronutrientes via irrigação continuou. O aporte total de B foi de aproximadamente 3,50; 4,40; 5,30; e 7,10 kg ha⁻¹ e o de Cu 0,18; 0,22; 0,27 e 0,36 kg ha⁻¹ correspondendo aos tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente. De acordo com Rodrigues (1995) a deficiência de B acarreta prejuízos na produção de açúcar em função da sua importância na translocação de sacarose, o que não foi observado no presente trabalho.

As baixas concentrações dos micronutrientes na folha, comparados com os níveis considerados adequados para o desenvolvimento da cultura e para maiores produtividades, podem estar relacionados com os valores de pH do solo.

Alguns trabalhos relatam aumento do pH do solo pela utilização de EET na agricultura (ZEKRI; KOO, 1994; FALKINER; SMITH, 1997; GLOAGUEN et al., 2007; HERPIN et al, 2007), o que pode proporcionar uma menor disponibilidade dos micronutrientes para a planta, o que poderia explicar os resultados obtidos no presente trabalho.

No geral, as concentrações dos micronutrientes foram maiores no tratamento SI, pH menores (3,96-5,09), comparados aos demais tratamentos, pH maiores (4,29-5,81), sendo este comportamento mais evidente para o Fe, Mn e Zn, mesmo nos casos onde não ocorreu diferença significativa (Tabela 7).

Tabela 7 – Concentração de micronutrientes presentes nas amostras de folha da cana-planta irrigada com EET nas Épocas 2 (dez/05) e 3 (set/06)

Tratamentos	B		Cu		Fe		Mn		Zn		
Micronutrientes na folha (mg kg⁻¹)											
Época 2											
SI	5,00	A	2,87	A	273,15	A	89,92	A	18,47	A	
100	5,14	A	2,80	A	222,03	A	51,97	B	15,82	AB	
125	4,99	A	2,32	A	171,98	A	60,75	B	15,90	AB	
150	3,99	A	2,30	A	209,78	A	53,85	B	14,62	B	
200	2,69	A	2,35	A	178,05	A	49,92	B	13,70	B	
Média	4,36		2,53		210,99		61,28		15,70		
CV (%)	38,48		24,87		24,89		15,50		7,56		
Época 3											
SI	5,99	A	2,52	A	119,12	A	103,22	A	18,77	A	
100	6,29	A	2,87	A	100,25	A	63,15	A	16,90	A	
125	3,52	A	3,25	A	105,35	A	82,40	A	14,50	A	
150	5,73	A	3,20	A	105,92	A	50,70	A	17,10	A	
200	14,34	A	2,65	A	117,22	A	77,45	A	15,60	A	
Média	7,17		2,90		109,53		75,38		16,57		
CV (%)	98,31		24,76		9,33		31,26		14,47		

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Com relação aos micronutrientes no caldo, as concentrações de Fe, Mn e Zn apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 8). Para o Fe o tratamento SI diferiu dos tratamentos 100 e 125, no caso do Mn o tratamento SI diferiu dos tratamentos 150 e 200, e para o Zn o tratamento SI diferiu dos tratamentos 100, 125 e 200.

Para o Fe a concentração foi maior no tratamento SI e menor nos tratamentos 100 e 125, o Mn apresentou menores concentrações nos tratamentos 150 e 200 em relação ao tratamento SI e no caso do Zn a concentração no tratamento SI foi maior que nos tratamentos 100, 125 e 200. No caso do B e do Cu não houve diferença significativa entre o tratamento SI e os tratamentos irrigados.

Tabela 8 – Concentração de micronutrientes presentes nas amostras de caldo da cana-planta irrigada com EET na Época 3 (set/06)

Tratamentos	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	Micronutrientes no caldo (mg kg⁻¹)									
SI	128,99	A	0,12	A	14,68	A	12,21	A	2,32	A
100	117,83	A	0,03	A	9,75	B	8,25	AB	0,75	B
125	118,55	A	0,04	A	10,26	B	7,39	AB	0,48	B
150	115,96	A	0,01	A	11,07	AB	4,99	B	1,06	AB
200	123,08	A	0,09	A	10,72	AB	6,64	B	0,85	B
Média	120,88		0,06		11,30		7,90		1,09	
CV (%)	6,70		172,80		16,28		31,44		55,42	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Houve diferença significativa entre os tratamentos nos teores de Mn e Zn extraídos pelo colmo (Tabela 9). Os valores de B extraído foram próximos aos valores que seriam esperados quando comparados com os valores de referência (ORLANDO FILHO, 1993). Os teores de Fe extraído foram muito maiores em relação aos valores de referência, enquanto os teores de Mn e Zn foram menores do que os valores de referência citados pelo mesmo autor, com exceção do tratamento SI para os dois últimos nutrientes. A baixa mobilidade relativa de Cu e Zn, com o Cu adsorvido fortemente no húmus e o Zn em pH elevado formando complexos solúveis, poderia explicar as menores extrações desses elementos nos tratamentos irrigados e as maiores extrações no tratamento SI.

A dificuldade de identificação dos sintomas de deficiência desses micronutrientes, a existência de recomendações distintas conforme diferentes autores, assim como a baixa resposta à aplicação, concorrem para o baixo uso dos mesmos na cultura da cana-de-açúcar (VASCONCELOS et al., 2005).

Tabela 9 – Concentrações e extrações de micronutrientes presentes nas amostras de colmos da cana-planta irrigada com EET na Época 3 (set/06)

Tratamentos	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
Micronutrientes no colmo (mg kg⁻¹)										
SI	2,26	A	nd		80,03	A	22,40	A	8,22	A
100	4,63	A	nd		54,48	A	13,60	AB	5,15	B
125	1,91	A	nd		46,03	A	12,15	AB	3,92	B
150	2,97	A	nd		53,43	A	7,20	B	5,75	AB
200	2,31	A	nd		55,65	A	10,32	AB	5,15	B
Média	2,82		-		57,92		13,13		5,64	
CV (%)	65,99		-		30,64		41,24		22,03	
Extração de micronutrientes pelo colmo (kg t⁻¹ colmo)										
SI	1,23	A	-		43,62	A	12,21	A	4,48	A
100	2,52	A	-		29,70	A	7,41	AB	2,81	B
125	1,04	A	-		25,09	A	6,62	AB	2,14	B
150	1,62	A	-		29,12	A	3,92	B	3,13	AB
200	1,26	A	-		30,33	A	5,63	AB	2,81	B
Valores de referência extraídos pelo colmo (kg t⁻¹ colmo) (Orlando Filho 1993)										
	1,49		2,34		13,93		10,52		3,69	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

nd = não detectada

4.2.3 Análise tecnológica e industrial do caldo da cana-planta

Com relação às análises tecnológicas, os parâmetros Brix, Pol, Pol % cana e ATR, sofreram alterações, em razão dos tratamentos aplicados a cana-planta, apenas na coleta de maio de 2006 (Tabela 10).

Os valores médios de Brix foram 15,18; 19,25 e 20,84 % para maio, julho e setembro/06 respectivamente (Tabela 10), ocorrendo diferença entre o tratamento SI e os demais no mês de maio, onde os valores de Brix foram inferiores no tratamento SI quando comparado aos tratamentos irrigados. Considera-se o momento da colheita, no Estado de São Paulo, quando o caldo atinge no mínimo 18 % de Brix (MARQUES, 2001). A variedade aqui empregada alcançou o estágio de maturação já no mês de julho, dois meses antes do previsto, independente dos tratamentos empregados.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a porcentagem aparente de sacarose contida no caldo (Pol %) e para a porcentagem de sacarose contida na cana (caldo + fibra) (Pol % cana) em maio de 2006 (Tabela 10). Para a Pol % do caldo o tratamento SI diferiu

dos tratamentos 125 e 150 sendo menor no tratamento SI e para a Pol % de cana o tratamento SI diferiu do tratamento 125 sendo menor no tratamento SI. No Estado de São Paulo, segundo Marques (2001), considera-se a cana madura quando a Pol % cana $\geq 14,40$ (início da safra) e $\geq 15,30$ (decorrer da safra). Experimentos com a variedade RB 72454 desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA) conduzido pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (Ufscar) relatam valores de Pol % de caldo de 18,87 e de Pol % de cana de 14,55 para a cana planta.

Para os açúcares redutores, segundo Marques (2001), consideram-se como adequados os valores $\leq 1,5$ % (início de safra) e $\leq 1,0$ % (decorrer de safra). Não foi observada diferença significativa para os teores de AR entre os tratamentos (Tabela 10). A queda nos valores de AR ocorre naturalmente no decorrer da safra, uma vez que a cana com estágio de maturação mais avançado aumenta progressivamente o teor de sacarose ao mesmo tempo em que há uma diminuição gradual nos teores de açúcares redutores (FERNANDES, 2003).

Para o Estado de São Paulo, o valor mínimo da pureza deve ser $\geq 80\%$ (início da safra) e $\geq 85\%$ (decorrer da safra) podendo então se proceder à industrialização da cana (MARQUES, 2001). Verifica-se na Tabela 10 que no momento do corte a cana apresentou 88,46 % de pureza e que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Os níveis de porcentagem de fibras devem variar de 10 a 11% (Fernandes, 2003). Como as médias encontradas foram 9,63; 10,91 e 10,33 % para maio, julho e setembro/06, respectivamente (Tabela 10), os tratamentos empregados não resultaram em prejuízos para o processamento da cultura e também não apresentaram diferenças significativas entre si.

De acordo com os resultados obtidos as médias dos valores de açúcares totais recuperáveis (ATR) foram de 106,34; 134,04 e 153,53 kg t⁻¹ para maio, julho e setembro/06, respectivamente. As diferenças ocorridas em maio de 2006 para o ATR entre os tratamentos empregados foram entre o tratamento SI e os tratamentos 125 e 150 (Tabela 10), sendo menores para o tratamento SI e maiores para os tratamentos 125 e 150. Provavelmente essa diferença ocorreu em maio por se tratar de uma época em que o processo de maturação estava no início, momento que ainda não se observa concentrações apropriadas de sacarose.

Tabela 10 – Análises tecnológicas da cana-planta irrigada com EET nos períodos de maio, junho e setembro de 2006

Tratamentos	Brix		Pol % caldo		AR		Pureza %		Pol % cana % cana		Fibra		ATR kg t ⁻¹	
mai/06														
SI	13,60	B	10,3	B	1,04	A	75,7	A	9,13	B	9,37	A	92,74	B
100	15,48	A	12,19	AB	0,94	A	78,63	A	10,78	AB	9,44	A	107,28	AB
125	15,61	A	12,81	A	0,83	A	81,99	A	11,34	A	9,40	A	111,47	A
150	15,73	A	12,82	A	0,85	A	81,34	A	11,24	AB	10,04	A	110,52	A
200	15,50	A	12,70	AB	0,83	A	81,91	A	11,15	AB	9,90	A	109,71	AB
Média	15,18		12,17		0,90		79,91		10,73		9,63		106,34	
CV (%)	5,21		8,98		13,05		4,28		8,79		5,03		7,40	
jul/06														
SI	20	A	16,6	A	0,79	A	83	A	14,21	A	11,4	A	137,7	A
100	18,32	A	14,92	A	0,86	A	81,23	A	12,93	A	10,64	A	126,31	A
125	18,86	A	15,44	A	0,83	A	81,80	A	13,36	A	10,71	A	130,13	A
150	19,09	A	16,48	A	0,80	A	82,73	A	14,23	A	10,78	A	138,03	A
200	19,98	A	16,56	A	0,80	A	82,82	A	14,25	A	11,05	A	138,08	A
Média	19,25		16,00		0,82		82,32		13,80		10,91		134,04	
CV (%)	6,80		8,46		7,36		2,11		8,02		7,11		7,33	
set/06														
SI	20,50	A	18	A	0,64	A	87,6	A	15,71	A	10,1	A	150,4	A
100	21,34	A	19,04	A	0,58	A	89,25	A	16,51	A	10,62	A	157,44	A
125	20,70	A	18,34	A	0,60	A	88,61	A	16,07	A	10,01	A	153,56	A
150	20,49	A	18,10	A	0,61	A	88,35	A	15,08	A	10,23	A	151,12	A
200	21,19	A	18,76	A	0,60	A	88,53	A	16,25	A	10,68	A	155,17	A
Média	20,84		18,44		0,61		88,46		15,92		10,33		153,53	
CV (%)	2,08		2,67		9,48		1,93		2,65		5,20		2,39	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: unidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Brix (porcentagem de sólidos solúveis), Pol (porcentagem aparente de sacarose), AR (açúcares redutores), ATR (açúcar total recuperável)

Dentre os parâmetros avaliados na análise industrial, verifica-se que houve alterações entre os tratamentos apenas para dureza. O tratamento SI apresentou menor teor de dureza comparado ao tratamento 150 (Tabela 11).

Verifica-se que o teor alcoólico e a acidez estão dentro da faixa de processamento, visto que valores menores que 0,1% para o teor alcoólico e em torno de 1 g H₂SO₄ L⁻¹ para a acidez são os ideais. Tanto o teor alcoólico como a acidez são importantes por acarretarem perdas na sacarose, provocadas por leveduras e bactérias, respectivamente.

O P no caldo exerce papel fundamental no processo de clarificação. Para conteúdos baixos de P₂O₅, menores que 300 mg kg⁻¹ (FERNANDES, 2003) a floculação é difícil e a decantação das impurezas é ruim, o que pode acarretar em caldos turvos e de coloração intensa,

os quais irão produzir açúcar de qualidade ruim, portanto, de menor valor comercial (KORNDORFER; MARTINS, 1992). Assim, os valores de P_2O_5 adequados para auxiliar na eficiência do processo fermentativo e na clarificação do caldo devem ser superiores a 300 mg kg^{-1} (FERNANDES, 2003). Os valores de P_2O_5 obtidos neste trabalho foram sempre superiores a este valor e não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos empregados (Tabela 11).

São recomendados valores menores que 50 mg kg^{-1} para a dextrana e em torno de 500 mg kg^{-1} para o amido, para que não haja prejuízo no cozimento do xarope e na centrifugação. Os valores obtidos para a dextrana foram os recomendados, o que é importante visto a maior exigência da indústria em relação a esse parâmetro, pois quanto maior o valor de dextrana mais velha é a cana, podendo acarretar menor rendimento para a usina no produto final. No caso do amido os valores estão acima dos recomendados, entretanto, essa variação é aceitável visto que no próprio açúcar processado são encontrados valores em torno de 100 a 150 mg kg^{-1} .

Tabela 11 – Parâmetros industriais da cana-planta irrigada com EET na Época 3 (set/06)

Tratamentos	Teor Alcólico %		Acidez g L^{-1}		Dextrana		P_2O_5		Amido mg kg^{-1}		Dureza	
SI	0,00	A	1,06	A	< 50	A	347,50	A	679,00	A	539,45	B
100	0,00	A	1,30	A	< 50	A	374,50	A	701,00	A	719,67	AB
125	0,00	A	1,14	A	< 50	A	377,25	A	550,00	A	705,53	AB
150	0,00	A	1,28	A	< 50	A	410,25	A	606,50	A	818,47	A
200	0,00	A	1,28	A	< 50	A	445,00	A	530,00	A	733,75	AB
Média	-		1,21	-	-	-	390,90	-	613,30	-	703,37	
CV (%)	-		16,57	-	-	-	17,38	-	31,17	-	13,95	

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Dentre os parâmetros de qualidade do caldo, Marques (2001) destaca a importância das seguintes variáveis para a indústria: Pol%, AR%, Fibra% e Pureza%, salientando que somente o teor de sacarose da cana não é suficiente para a indústria aferir a qualidade da matéria prima.

Levando em consideração todos esses parâmetros a cana-planta em estudo apresentou características desejáveis para que o processo de industrialização seja realizado com sucesso, não sendo a irrigação com EET, até o presente momento, limitante a qualidade da cana-planta.

4.2.4 Produtividade da cana-planta irrigada com EET

Houve efeito da irrigação com o EET na produtividade da cultura entre os tratamentos em estudo (Figura 3). A produtividade do tratamento SI diferiu dos tratamentos 100, 150 e 200, enquanto que os tratamentos SI e 125 não diferiram entre si (Figura 3). As produtividades dos tratamentos SI e 125 foram menores que dos tratamentos 100 e 150.

A produtividade média para os tratamentos irrigados foi de 227,77 t ha⁻¹ e para o tratamento sem irrigação foi de 152,84 t ha⁻¹, sendo que a estimativa da produção média brasileira para cana-planta de ano e meio na safra 2005/2006, em condição de sequeiro, foi de aproximadamente 107,50 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2006), evidenciando o ganho na produtividade para a cultura irrigada. Dados de 71 experimentos desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA) conduzido pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (Ufscar) relatam uma produtividade média para cana-planta da RB 72454 de 129,60 t ha⁻¹.

Segundo Leal (2007) com exceção da irrigação, condições semelhantes foram observadas tanto no tratamento controle quanto nos tratamentos irrigados, tais como: práticas de manejo empregadas, baixa incidência de pragas, doenças e competição com plantas daninhas. Assim sendo, o fato do tratamento sem irrigação (controle) ter apresentado menor produtividade que os tratamentos irrigados indica claramente que a quase totalidade desta diferença está relacionada de fato a irrigação com EET. Outro fator que poderia explicar esta diferença de produtividade entre o controle e os tratamentos irrigados diz respeito à ausência de N mineral na adubação de plantio do controle. Entretanto, uma vez que anteriormente a instalação do experimento foi realizada uma adubação verde com a crotalária em toda a área, disponibilizando N também ao controle, provavelmente este fator foi minimizado.

Em um estudo conduzido na Usina São Martinho (SP) com cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subterrâneo foi obtida uma produtividade média de 155 t ha⁻¹ em oito cortes, sendo que produtividades da ordem de 140 a 160 t ha⁻¹ são comuns em até 10 ou 12 cortes (AGUIAR, 2006). Segundo o mesmo autor, o aumento na produtividade pode reduzir o custo de implantação do canavial, haja vista a necessidade de menor área plantada para a mesma produção, acarretando menor tempo de uso de implementos, quantidade de calcário e adubos, entre outros. Além disso, o autor destaca ainda o ganho obtido através do aumento da produtividade e da longevidade do

canavial com a utilização do sistema de gotejamento subterrâneo, o qual reduz em 15 a 25 % o custo da tonelada produzida.

Deve-se considerar ainda alguns pontos que contribuíram para o aumento de produtividade, tais como: fornecimento elevado de nutrientes ao solo durante o ciclo da cultura via irrigação com EET e primeiro ano de cultivo da cultura (cana-planta).

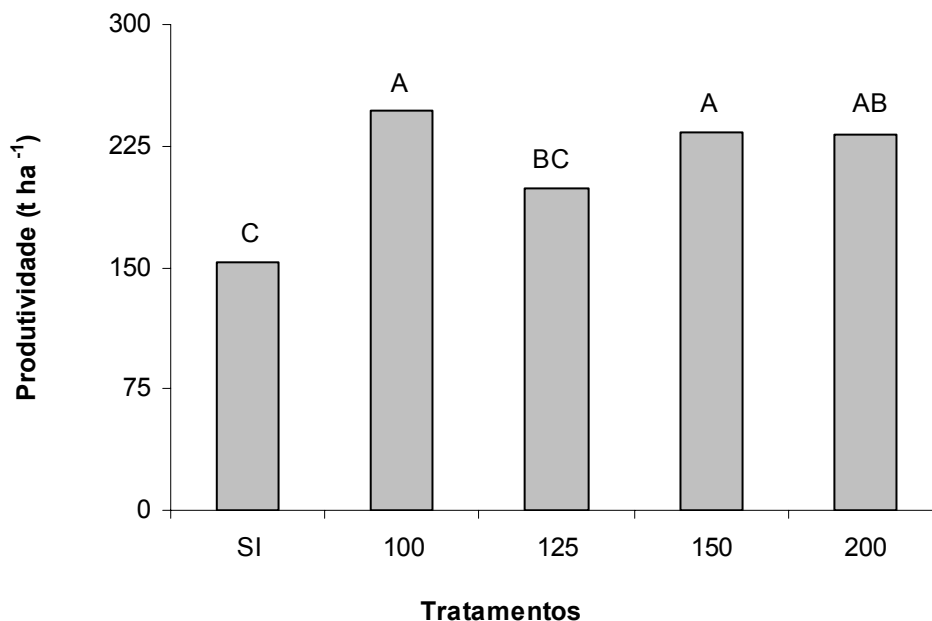


Figura 3 – Produtividade da cana-planta irrigada com EET. As médias com as letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

No presente trabalho, devido à duração do presente estudo, foi possível apenas a coleta do primeiro corte referente à cana-planta, porém o experimento continua em andamento até que seja necessária a reforma do canavial.

Para a cana-de-açúcar cultivada em sequeiro o esperado é que seja realizada a colheita referente à cana-planta e as colheitas das respectivas socas, podendo totalizar de 4 a 6 cortes, para que seja então necessária a reforma do canavial. Espera-se ao final do experimento, no qual este trabalho está inserido, um aumento na produtividade e longevidade do canavial.

Um ponto interessante envolvendo o nitrogênio corresponde a possível economia na utilização do fertilizante mineral nitrogenado em razão do aporte de N via irrigação com

efluente. No presente caso, a adubação foi e será realizada com metade da dose recomendada por Raij et al. (1996), o que correspondeu, no caso da cana-planta, a 15 kg ha^{-1} no plantio e corresponderá a 50 kg ha^{-1} nas socas. Para a cana-planta, a utilização de metade da dose do adubo nitrogenado não implicou numa queda de produtividade da cultura, embora seja conhecido a baixa resposta da cana-planta ao N como relatado por vários autores (AZEREDO et al., 1986; CARNAÚBA, 1989; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992; ORLANDO FILHO et al.; 1999;).

Ilustrando a possibilidade de redução na utilização de fertilizantes nitrogenados minerais na adubação da cultura, efetuou-se um cálculo simplificado a fim de quantificar esta economia. Como o adubo utilizado foi o nitrato de amônio e este possui em sua composição aproximadamente 31% de N, no plantio foram aplicados 48 kg ha^{-1} do nitrato de amônio (15 kg ha^{-1} de N) e na 1ª soca 161 kg ha^{-1} do nitrato de amônio (50 kg ha^{-1} de N). Considerando que 50 kg de nitrato de amônio têm um custo médio de R\$56,00, no plantio, a economia foi de aproximadamente R\$ $56,00 \text{ ha}^{-1}$, enquanto que na soca a economia foi de R\$ $180,00 \text{ ha}^{-1}$. Se for levado em conta um ciclo de seis cortes, teria-se uma economia em todo o ciclo de cerca de R\$ $1316,00 \text{ ha}^{-1}$ plantado

4.3 Atributos químicos do solo

4.3.1 Acidez ativa (pH), acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável (Al³⁺)

Considerando as épocas de amostragem, apenas na camada de 40-60 cm os valores de pH não apresentaram diferença significativa na média geral. Houve, no geral, ao longo de todo o perfil do solo, um aumento de pH da Época 1 para a Época 3 (Tabela 12).

Um estudo com milho e girassol na mesma área experimental também obteve um aumento de pH no perfil do solo a partir do primeiro ano de experimento (GLOAGUEN et al., 2007). Herpin et al. (2007) observaram que houve aumento dos valores de pH com a aplicação contínua de fertilizantes e EET, sendo que as maiores diferenças ocorridas ao longo de três anos se deram nas camadas superficiais do solo. Aumentos de pH também foram relatados por Zekri e Koo (1994), Falkiner e Smith (1997) quando utilizado EET para irrigação. Os autores destacam que o aumento de pH do solo está relacionado com os elevados valores de pH do efluente. Entretanto, para Zekri e Koo (1994) o aumento de pH foi inesperado, visto que a água de

irrigação (tratamento controle) apresentava pH aproximadamente uma unidade maior que o pH do EET e não proporcionou aumento do pH do solo. O aumento do pH do solo nas parcelas irrigadas com EET poderia ser atribuído, também, ao maior acúmulo de K, Ca, Mg e Na nos blocos irrigados com EET comparados aos irrigados com água.

Entre os tratamentos, observa-se que os valores de pH no tratamento SI foram significativamente inferiores aos do tratamento 200 nas camadas 0-10, 10-20 e 60-80, na Época 3. É importante ressaltar que no momento da amostragem 1 (Época 1) a irrigação ainda não havia começado na área experimental, e a variação encontrada nos valores de pH entre os tratamentos, dentro dessa época, está relacionada à experimentação realizada anteriormente na mesma área, que envolveu, por sua vez, a irrigação de milho e girassol com EET.

Uma tendência de incremento do pH da menor lâmina para as maiores lâminas de irrigação foi observada, o que se explica pelo maior aporte de EET nas maiores lâminas.

O aumento nos valores de pH nos solos irrigados com efluente é atribuído aos seguintes fatores: (i) a alcalinidade do EET; (ii) a adição de cátions trocáveis e de ânions provenientes do EET; (iii) as alterações na dinâmica do N, liberando OH^- para o sistema, devido a desnitrificação e/ou redução do NO_3^- ; (iv) ao aporte de HCO_3^- ; (STEWART et al., 1990; YANAI et al., 1996; SCHIRPPER et al., 1996; SMITH et al., 1996; FONSECA, 2005).

É importante ressaltar que apesar das variações de pH serem de pequena magnitude e, dependendo da faixa de variação, não representarem mudanças importantes na disponibilização de elementos ao cultivo agrícola, como foi ocorrido nesse trabalho, em experimentos de longa duração foram observados aumentos significativos do pH no solo (SMITH et al., 1996).

Tabela 12 – Efeito da irrigação com EET nos valores de pH do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
	pH															
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	4,96	aAB	4,67	a A	4,56	a B	4,7	A	5,09	a AB	4,85	a A	5,03	a B	4,99	A
100	5,05	aAB	4,97	a A	5,55	a A	5,19	A	5,18	a AB	5,07	a A	5,63	aAB	5,29	A
125	5,17	aAB	5,21	a A	5,70	a A	5,36	A	5,25	a AB	4,95	a A	5,48	aAB	5,23	A
150	4,79	a B	4,85	a A	5,51	a A	5,05	A	4,98	a B	4,95	a A	5,53	aAB	5,15	A
200	5,59	a A	5,38	a A	5,81	a A	5,59	A	5,68	a A	5,43	a A	5,77	a A	5,63	A
Médias	5,11	b	5,02	b	5,43	a			5,24	b	5,05	b	5,49	a		
CV (%)	5,86								4,73							
	20-40 cm								40-60 cm							
SI	4,62	a B	4,65	a A	4,52	a B	4,60	A	4,36	a A	4,17	a A	3,98	a A	4,17	B
100	5,02	aAB	4,85	a A	5,46	a A	5,11	A	4,53	a A	4,45	a A	4,60	a A	4,53	AB
125	4,61	a B	4,96	a A	4,90	a AB	4,82	A	4,46	a A	4,24	a A	4,34	a A	4,35	AB
150	4,77	b B	4,85	abA	5,45	a A	5,02	A	4,57	a A	4,35	a A	4,70	a A	4,54	AB
200	5,58	a A	5,30	a A	5,31	a A	5,40	A	4,84	a A	4,71	a A	4,79	a A	4,78	A
Médias	4,92	b	4,92	b	5,13	a			4,55	a	4,38	a	4,48	a		
CV (%)	5,18								4,90							
	60-80 cm								80-100 cm							
SI	4,30	a B	4,10	a A	4,19	a B	4,20	A	4,27	a B	4,02	a B	3,96	a C	4,08	B
100	4,35	a B	4,30	a A	4,52	a AB	4,39	A	4,30	a AB	4,30	aAB	4,37	aBC	4,32	AB
125	4,38	aAB	4,25	a A	4,34	a AB	4,32	A	4,45	a AB	4,27	aAB	4,41	aAB	4,38	AB
150	4,49	aAB	4,39	a A	4,66	a AB	4,51	A	4,46	a AB	4,40	aAB	4,65	aAB	4,50	AB
200	4,87	a A	4,40	a A	4,80	a A	4,69	A	4,73	a A	4,47	a A	4,84	a A	4,68	A
Médias	4,48	a	4,29	b	4,50	a			4,44	a	4,29	b	4,45	a		
CV (%)	4,31								4,44							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

Com relação aos valores de acidez potencial (H+Al), houve diferença entre as médias gerais nas camadas 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Em todas essas camadas houve, em geral, uma diminuição da concentração do H+Al ao longo do experimento (Tabela 13).

No geral, apesar de nem sempre estatisticamente significativo, ocorreu um aumento nos valores de H+Al da Época 1 para a Época 2 e, posteriormente, um decréscimo entre a Época 2 e a Época 3, alteração por sua vez relacionada às mudanças nos valores de pH entre as épocas de amostragem. Esse decréscimo da acidez também foi observado por Falkiner e Smith (1997) quando pesquisaram o efeito da irrigação com EET numa plantação de Pinus e Eucalipto,

atribuindo esse efeito ao aumento no pH do solo proporcionado pela adição de cátions e de ânions via efluente, o que por sua vez proporcionou uma diminuição das concentrações de H⁺Al, dada a relação inversa existente entre pH e H⁺Al.

Herpin et al. (2007), observaram que o uso combinado de fertilizante e EET ocasionou redução na acidez potencial ao longo do tempo. Os autores atribuíram a redução, principalmente, ao aumento do pH e redução da matéria orgânica do solo, assim como ao aumento do conteúdo de cátions básicos.

Tabela 13 – Efeito da irrigação com EET nos valores de H⁺Al do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
	H ⁺ Al (mmol _c kg ⁻¹)															
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	17,25	a A	17,50	aA	21,10	aA	18,62	A	19,80	a A	17,30	a A	17,60	aA	18,23	A
100	15,35	a A	16,70	aA	14,50	aA	15,52	A	13,55	aAB	18,05	a A	13,10	aA	14,90	A
125	14,70	a A	14,55	aA	13,70	aA	14,32	A	16,75	a A	17,10	a A	15,10	aA	16,32	A
150	15,80	a A	14,85	aA	13,55	aA	14,73	A	15,35	aAB	15,55	a A	13,30	aA	14,73	A
200	14,15	a A	13,90	aA	13,50	aA	13,85	A	9,50	a B	13,80	a A	12,25	aA	11,85	A
Médias	15,45	a	15,50	a	15,27	a			14,99	ab	16,36	a	14,27	b		
CV (%)	18,74								16,08							
	20-40 cm								40-60 cm							
SI	19,65	a A	20,85	aAB	22,80	aA	21,10	A	25,60	a A	21,90	abAB	18,25	bA	21,92	AB
100	15,75	abA	23,30	a A	14,00	bA	17,68	ABC	20,40	abA	25,70	a AB	14,90	bA	20,33	AB
125	18,55	a A	18,20	aAB	19,95	aA	18,90	AB	25,00	a A	26,40	a A	17,25	bA	22,88	A
150	15,10	a A	15,65	aAB	14,75	aA	15,17	BC	22,45	a A	18,45	abB	15,15	bA	18,68	AB
200	10,30	a A	14,30	a B	13,25	aA	12,62	C	15,45	a A	19,25	a AB	15,70	aA	16,80	B
Médias	15,87	b	18,46	a	16,95	ab			21,78	a	22,34	a	16,25	b		
CV (%)	19,05								13,68							
	60-80 cm								80-100 cm							
SI	22,25	a A	19,05	a A	20,40	aA	20,57	A	18,45	a A	25,40	a A	21,15	aA	21,67	A
100	16,90	a A	19,55	a A	14,90	aA	17,12	A	16,20	b A	24,90	a A	15,20	bA	18,77	AB
125	24,10	a A	14,45	b A	14,80	bA	17,78	A	18,25	a A	22,70	a A	16,70	aA	19,22	AB
150	19,20	a A	13,60	a A	16,05	aA	16,28	A	14,40	abA	22,70	a A	14,10	bA	17,07	AB
200	18,55	a A	14,90	a A	12,50	aA	15,32	A	15,10	a A	20,70	a A	13,00	aA	16,27	B
Médias	20,20	a	16,31	b	15,73	b			16,48	b	23,28	a	16,03	b		
CV (%)	16,38								16,98							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

No caso do Al³⁺ houve diferença entre as médias gerais das épocas de amostragem nas camadas 60-80 e 80-100 cm (Tabela 14). Nessas camadas as concentrações de Al³⁺ foram

maiores na Época 1 e menores na Época 3, o que está de acordo com os resultados descritos para o pH do solo, que foi mais alto na Época 3. Porém, as alterações nos valores de pH ocorreram em quase todo o perfil, enquanto que para o Al^{3+} as alterações foram em profundidade.

Entre os tratamentos, houve diferença na Época 3 nas camadas 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm (Tabela 14), onde as concentrações de Al^{3+} foram geralmente mais elevadas no tratamento SI. As variações entre as médias gerais dos tratamentos foram mais pronunciadas quando comparado o tratamento com maior lâmina de irrigação e o sem irrigação. Nota-se que houve uma tendência de diminuição nas concentrações ao longo do tempo, em especial nos tratamentos irrigados em razão das alterações de pH. Como seria esperado, para maiores valores de pH têm-se as menores concentrações de Al^{3+} e vice-versa.

Tabela 14 – Efeito na irrigação com EET nos valores de alumínio trocável do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias							
Al^{3+} (mmol, kg ⁻¹)																						
0-10 cm																						
	SI	100	125	150	200	Médias	CV (%)	SI	100	125	150	200	Médias	CV (%)	SI	100	125	150	200	Médias	CV (%)	
	1,00	aA	0,77	aA	1,25	aA	1,01	A	0,57	aA	0,85	Aa	1,07	aA	0,83	A						
	1,20	aA	1,00	aA	0,77	aA	0,99	A	0,70	aA	0,92	Aa	0,97	aA	0,86	A						
	1,00	aA	0,97	aA	0,70	aA	0,89	A	0,90	aA	1,52	AA	0,97	aA	1,13	A						
	0,87	aA	0,92	aA	0,77	aA	0,85	A	0,85	aA	0,92	aA	0,67	aA	0,81	A						
	0,52	aA	0,72	aA	0,62	aA	0,62	A	1,05	aA	0,77	aA	0,77	aA	0,86	A						
	0,92	a	0,88	a	0,82	a			0,81	a	1,00	a	0,89	a								
	29,19						33,46															
20-40 cm																						
	2,20	aA	1,67	aA	4,12	aA	2,66	AB	6,10	aA	4,80	aA	6,30	aA	5,73	A						
	1,17	aA	1,57	aA	0,92	aB	1,22	B	3,77	aAB	3,87	aA	2,30	aB	3,31	AB						
	4,42	aA	1,72	aA	3,45	aAB	3,20	A	4,56	aAB	5,67	aA	4,30	aAB	4,84	AB						
	2,20	aA	1,82	aA	1,07	aAB	1,70	AB	3,80	aAB	4,02	aA	1,95	aB	3,26	AB						
	0,87	aA	1,05	aA	1,07	aAB	1,00	B	1,85	aB	1,77	aA	1,35	aB	1,66	B						
	2,17	a	1,57	a	2,13	a			4,02	a	4,03	a	3,24	a								
	41,33						37,52															
60-80 cm																						
	6,95	aA	5,92	aA	5,95	aA	6,27	A	7,91	aA	6,50	aA	7,97	aA	7,46	A						
	5,30	aA	5,22	aA	2,77	aAB	4,43	A	5,90	aA	4,57	aA	3,30	aBC	4,59	AB						
	5,12	aA	6,27	aA	4,22	aAB	5,20	A	5,27	aA	4,57	aA	4,27	aB	4,70	AB						
	5,10	aA	3,42	aA	1,72	aAB	3,41	A	5,32	aA	3,17	abA	1,62	bBC	3,37	B						
	2,77	aA	2,77	aA	1,15	aB	2,23	A	3,30	aA	3,12	aA	1,05	aC	2,49	B						
	5,05	a	4,72	a	3,16	b			5,54	a	4,39	b	3,64	b								
	41,83						23,91															

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

4.3.2 Fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na)

O P é um dos nutrientes mais limitantes a produção agrícola nos solos tropicais tendo em vista a sua baixa mobilidade e o elevado poder de fixação nos colóides, o que limita sua absorção, sendo considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas. Os resultados da Tabela 15 mostram que não houve diferença significativa entre as médias gerais das épocas de amostragem para as camadas 0-10 e 10-20 cm. A ausência de alterações nas concentrações de P disponível no solo entre épocas, nessas camadas, mesmo depois do aporte de aproximadamente 57 kg ha⁻¹ de P-P₂O₅ via adubação mineral em todos os tratamentos e mais as adições via irrigação de aproximadamente 60, 70, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P-H₂PO₄⁻ que correspondem aos tratamentos 100, 125, 150 e 200 (Tabela 3), pode estar relacionada à absorção do P disponível pela cultura ou pela fixação do ânion H₂PO₄⁻ na superfície dos colóides.

Para as camadas 40-60, 60-80 e 80-100 cm houve um aumento significativo nas médias gerais das concentrações do P disponível do solo ao longo do experimento. O aumento no aporte de P do EET nos tratamentos 100, 125, 150 e 200 em comparação ao tratamento SI, dentro das épocas, não implicou em um aumento da concentração de P disponível no solo, exceto para a camada 40-60 cm na Época 3, onde o tratamento 200 diferiu dos demais tratamentos e na camada 80-100 cm onde o tratamento 150 diferiu do SI. Nessas duas camadas a maior lâmina apresentou maior concentração de P disponível no solo. O presente trabalho concorda com os resultados de Mohammad e Mazahreh (2003), onde aumentos nas concentrações de P disponível em subsuperfície ao longo do tempo também foram observados. Os aumentos mais expressivos de P disponível no solo têm sido relatados em trabalhos de longo prazo (ZEKRI; KOO, 1994; WANG et al., 2003).

Em um trabalho realizado com a cultura do café irrigada com EET Herpin et al. (2007) observaram um aumento do P disponível apenas no terceiro ano do experimento, principalmente na superfície do solo, atribuindo esse aumento aos seguintes mecanismos: (i) fonte crescente do P do fertilizante e do EET, (ii) mineralização da matéria orgânica do solo, sendo uma importante fonte de P e (iii) possível dessorção ou dissolução do P devido ao aumento de pH.

Foram fornecidos para o solo, via irrigação, aproximadamente 138, 161, 207 e 276 kg ha⁻¹ de P₂O₅ referentes aos tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente, durante o primeiro

ciclo da cultura (cana-planta). O aporte de P correspondente ao tratamento 200 foi de aproximadamente 2 vezes o recomendado para esse solo no plantio da cana (RAIJ et al., 1996).

Tabela 15 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de P disponível do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
	P (mg kg ⁻¹)															
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	26,99	a A	20,81	a A	24,56	a A	24,12	A	22,50	a A	24,22	a A	23,84	a A	23,52	A
100	17,61	a A	20,41	a A	18,55	a A	18,86	AB	18,50	aAB	19,59	aAB	10,56	aAB	16,22	AB
125	11,09	a A	10,81	a A	15,39	a A	12,43	B	6,98	a B	6,35	a B	9,54	a B	7,62	C
150	13,70	a A	20,23	a A	17,72	a A	17,22	AB	13,28	aAB	18,34	aAB	15,60	aAB	15,74	B
200	17,12	a A	21,84	a A	23,63	a A	20,86	AB	16,15	aAB	20,68	aAB	16,37	aAB	17,73	AB
Médias	17,30	a	18,82	a	19,97	a			15,48	a	17,84	a	15,18	A		
CV (%)	34,00								32,21							
	20-40 cm								40-60 cm							
SI	4,61	abA	10,20	a A	4,02	b A	6,28	AB	2,05	a A	4,61	a A	5,37	a B	4,01	AB
100	4,52	b A	10,97	a A	5,63	abA	7,04	A	1,95	a A	4,33	a A	6,53	a B	4,27	AB
125	1,86	a A	5,69	a A	4,89	a A	4,15	B	0,24	b A	21,56	abA	5,27	a B	2,36	B
150	4,20	a A	5,10	a A	6,62	a A	5,31	AB	0,47	b A	2,88	b A	8,07	a B	3,81	B
200	5,15	a A	10,29	a A	7,14	a A	7,53	A	0,53	b A	5,07	b A	12,95	a A	6,18	A
Médias	4,07	b	8,45	a	5,66	b			1,05	c	3,69	b	7,64	A		
CV (%)	39,03								43,33							
	60-80 cm								80-100 cm							
SI	1,89	a A	4,43	a A	5,78	a A	4,03	A	1,33	a A	0,60	a A	2,25	a B	1,39	A
100	0,78	a A	3,44	a A	6,00	a A	3,41	A	0,85	b A	0,85	b A	5,89	aAB	2,53	A
125	0,39	a A	1,61	a A	6,05	a A	2,68	A	0,06	a A	0,23	a A	2,91	AB	1,07	A
150	0,02	b A	3,44	b A	14,06	a A	5,84	A	0,37	b A	0,77	b A	6,31	Aa	2,48	A
200	0,75	b A	4,03	abA	11,79	a A	5,52	A	1,82	abA	0,77	b A	5,36	aAB	2,65	A
Médias	0,77	b	3,39	b	9	a			0,89	b	0,64	b	4,54	A		
CV (%)	82,04								75,99							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

As alterações encontradas nos valores de Ca, Mg, K e Na, entre os tratamentos na Época 1, estão relacionadas com a variabilidade do solo nas parcelas em razão do experimento anteriormente realizado na mesma área

O comportamento dos cátions Ca, Mg, K e Na foram variados (Tabela 16, 17, 18 e 19). De acordo com Loyola Junior e Pavan (1989) e Singh e Uehara (1999) essa variação dos cátions que compõem a saturação por base depende da quantidade e dos componentes aplicados pelo

fertilizante ou EET e também das condições específicas do elemento, tais como: valência, adsorção específica e concentração.

No caso do Ca disponível, ocorreu variação entre as médias gerais das épocas de amostragem nas camadas, exceto para as camadas 20-40 e 40-60 cm. Nas camadas 0-10 e 10-20 cm o efeito entre as médias gerais das épocas de amostragem foi de decréscimo da concentração de Ca da Época 1 para a Época 3 (Tabela 16).

No geral observa-se entre as médias gerais dos tratamentos nas camadas 0-10, 20-40, 60-80 e 80-100 cm um acúmulo da concentração de Ca disponível na maior lâmina de irrigação nas médias gerais em relação ao tratamento SI, entretanto, deve-se ressaltar que esse possível acúmulo está relacionado com a maior concentração de Ca na fase inicial do experimento, Época 1, (Tabela 16) .

Segundo Agunwamba et al. (2001) a irrigação com EET proporciona aumento nas concentrações de Ca em sistemas de produção pouco intensivos. Um experimento com *Pinus* irrigado com EET por quatro anos também demonstrou aumentos de Ca disponível no solo (FALKINER; SMITH, 1997). Entretanto, em um experimento com capim-Tifton 85 irrigado com EET, Fonseca (2005) não obteve aumento na concentração de Ca disponível, provavelmente por se tratar de um sistema intensivo de produção com alta produção de matéria seca e elevada exportação de nutrientes.

A adição de Ca ao solo via irrigação foi de aproximadamente 180, 230, 280 e 380 kg ha⁻¹ (Tabela 3) referentes aos tratamentos 100, 125, 150 e 200 durante o primeiro ciclo da cultura (cana-planta). Ainda assim não houve aumento nas médias gerais das épocas de amostragem das concentrações de Ca no solo, provavelmente devido à formação de precipitados insolúveis de Ca com o HCO₃⁻ do efluente (FEIGIN; RAVINA; SHALHEVET, 1991).

De acordo com os resultados da Tabela 17, o Mg disponível apresentou diferença entre as médias gerais nas épocas de amostragem em todas as camadas estudadas. E, entre os tratamentos, a diferença encontrada foi apenas na camada 80-100 cm da Época 3, sendo que o tratamento SI apresentou concentração de Mg disponível menor quando comparado com o tratamento de maior lâmina de EET. Assim como para o Ca, para o Mg disponível são relatados na literatura, como resultado da irrigação com EET, acréscimos (FALKINER; SMITH, 1997; AGUNWAMBA, 2001), decréscimos (RAMIREZ-FUENES et al., 2002; WANG et al., 2003), ou mesmo ausência

de alterações (FONSECA, 2005) nas concentrações no solo dependendo do sistema de produção avaliado.

Tabela 16 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Ca trocável do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
Ca (mmol _c kg ⁻¹)																
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	11,41	a B	11,81	aA	9,08	aA	10,77	B	13,28	aAB	13,95	a A	11,83	aA	13,02	A
100	12,17	aAB	13,55	aA	10,62	aA	12,11	AB	11,81	a B	14,32	a A	10,28	bA	12,14	A
125	11,26	a B	11,92	aA	11,43	aA	11,54	AB	11,88	a B	11,77	a A	10,06	aA	11,24	A
150	11,78	a B	13,13	aA	11,31	aA	12,07	AB	11,92	a B	11,37	a A	10,72	aA	11,34	A
200	16,79	a A	15,58	aA	12,20	aA	14,86	A	16,91	a A	13,76	abA	11,91	bA	14,19	A
Médias	12,68	a	13,20	a	10,93	b			13,16	a	13,03	a	10,96	B		
CV (%)	15,65								12,41							
	20-40 cm								40-60 cm							
SI	7,14	a B	8,17	aA	5,10	aA	6,80	B	3,91	a A	4,30	a A	7,63	aA	5,28	A
100	12,22	aAB	9,71	aA	8,96	aA	10,30	AB	5,59	a A	6,06	a A	5,99	aA	5,88	A
125	8,74	aAB	10,15	aA	6,79	aA	8,56	AB	6,45	a A	5,29	a A	5,51	aA	5,75	A
150	9,57	aAB	10,82	aA	8,59	aA	9,66	AB	6,16	a A	5,84	a A	8,97	aA	6,99	A
200	13,58	a A	11,67	aA	8,08	aA	11,11	A	8,81	a A	7,36	a A	6,86	aA	7,68	A
Médias	10,25	a	10,10	a	7,50	a			6,18	a	5,77	a	6,99	A		
CV (%)	24,88								22,85							
	60-80 cm								80-100 cm							
SI	6,41	a A	3,07	aA	7,71	aA	5,73	B	7,56	a B	3,03	a A	3,77	aA	4,79	B
100	7,78	a A	4,80	aA	8,41	aA	7,00	A	5,78	a A	5,13	a A	5,24	aA	5,38	A
125	11,12	a A	3,92	aA	7,80	aA	7,61	A	7,99	a A	5,32	a A	4,53	aA	5,95	A
150	12,43	a A	5,02	aA	7,11	aA	8,19	A	5,10	a A	4,69	a A	4,82	aA	4,87	A
200	9,35	a A	3,92	aA	9,39	aA	7,55	A	6,37	a A	4,51	a A	9,41	aA	6,76	A
Médias	9,42	a	4,15	b	8,08	ab			6,56	a	4,54	b	5,55	ab		
CV (%)	31,93								24,59							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

Num primeiro momento houve acúmulo do Mg, da Época 1 para a 2, e, em seguida, uma queda nas concentrações na última amostragem, Época 3. Tendo em vista o elevado desenvolvimento da cultura, este fato pode estar ligado a alta extração do nutriente pela planta, principalmente, porque o aporte de Mg via efluente é relativamente o menor dentre os cátions trocáveis (Tabela 3).

Embora a irrigação com efluente tenha contribuído para amenizar a acidez do solo ao longo do tempo, não necessariamente aumentou as concentrações de Ca e Mg, não substituindo, portanto, a calagem. Além disso, a adição de cátions divalentes via calagem assume um papel

importante em agrossistemas irrigados com EET, uma vez que contribui para a manutenção de um balanço adequado de cátions no solo, podendo diminuir os efeitos negativos à estrutura do solo ocasionados pela elevada RAS do EET (LEAL, 2007).

Tabela 17 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Mg trocável do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
Mg (mmol, kg ⁻¹)																
0-10 cm																
SI	2,54	aA	4,49	aB	3,50	aA	3,51	A	2,84	aA	5,41	aA	3,72	aA	3,99	A
100	3,03	aA	6,23	aAB	3,85	aA	4,37	A	3,14	aA	5,80	aA	3,36	aA	4,10	A
125	4,01	aA	6,02	aAB	5,25	aA	5,09	A	4,17	aA	6,74	aA	4,38	aA	5,10	A
150	2,86	aA	5,11	aAB	4,26	aA	4,08	A	3,14	aA	4,86	aA	3,57	aA	3,86	A
200	4,95	aA	7,56	aA	5,00	aA	5,84	A	4,58	aA	7,01	aA	4,85	aA	5,48	A
Médias	3,48	c	5,88	a	4,37	b			3,57	b	5,96	a	3,98	b		
CV (%)	23,06								25,21							
20-40 cm																
SI	2,48	aA	4,86	aA	2,69	aA	3,34	A	1,33	aB	3,05	aB	1,28	aA	1,89	A
100	3,78	aA	5,38	aA	3,32	aA	4,16	A	1,83	bAB	3,76	aAB	2,04	abA	2,54	AB
125	3,35	bA	6,67	aA	3,49	bA	4,50	A	2,22	aAB	3,07	aB	2,18	aA	2,49	AB
150	3,21	aA	5,32	aA	3,69	aA	4,07	A	2,43	aAB	4,19	aAB	2,73	aA	3,12	AB
200	5,04	aA	6,58	aA	3,82	aA	5,15	A	3,64	abA	5,18	aA	2,93	bA	3,92	A
Médias	3,57	b	5,76	a	3,40	b			2,29	b	3,85	a	2,23	b		
CV (%)	25,63								25,49							
60-80 cm																
SI	1,72	aA	2,61	aA	1,62	aA	1,98	A	1,95	aA	1,5	aA	0,5	aB	1,30	A
100	2,25	aA	3,19	aA	1,48	aA	2,31	A	1,49	aA	2,84	aA	1,31	aAB	1,88	A
125	2,89	aA	3,50	aA	1,94	aA	2,78	A	2,40	aA	3,48	aA	1,43	aAB	2,44	A
150	1,49	aA	3,37	aA	2,55	aA	2,47	A	1,83	aA	3,39	aA	2,25	aAB	2,49	A
200	2,75	aA	3,34	aA	3,14	aA	3,08	A	2,8	aA	3,19	aA	2,97	aA	2,99	A
Médias	2,22	b	3,20	a	2,15	b			2,09	b	2,87	a	1,69	b		
CV (%)	31,41								39,73							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100%, a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

O K é um nutriente de extrema importância para a cana-de-açúcar, podendo promover acréscimos significativos de produtividade. Segundo Marques et al. (2001) tanto o excesso como a falta de K disponível no solo podem proporcionar quedas na qualidade da matéria prima, influenciando os teores de sacarose e de fibra da cana e ainda, no caso da cana-planta, a falta desse nutriente pode conduzir a uma brotação vagarosa.

Dentre os cátions estudados, o K disponível e o Na disponível foram os que mais apresentaram variações no perfil do solo. Em relação às médias gerais das épocas de

amostragem, tanto o K como o Na apresentaram diferenças em todas as profundidades. As concentrações de K disponível diminuíram da Época 1 para a Época 3, exceto para a camada 60-80 cm, mesmo com o aporte considerável do nutriente via efluente. Contrariamente ao K, o Na aumentou sua concentração da Época 1 para a Época 3, o que pode ser justificado pela elevada concentração do elemento no efluente, média de 121 mg L^{-1} (Tabela 18 e 19). Tanto para o K disponível como para o Na disponível houve interação entre os tratamentos e as épocas de amostragem.

A absorção e a extração do nutriente pela cultura podem explicar, assim como para o Ca e Mg, a diminuição da concentração do K disponível ao longo do primeiro ciclo de plantio. Além da absorção - extração do K pela cultura, a fim de justificar a diminuição do elemento no solo durante o ciclo da cana, Leal (2007) afirma que parte do K pode estar sendo deslocado do complexo de troca pelo Na, em razão do elevado aporte deste último elemento via efluente. O autor justifica esta observação em razão de teores inferiores de K disponível no solo para os tratamentos irrigados com EET em comparação ao SI irrigação.

Tabela 18 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de K trocável do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
	K (mmol _e kg ⁻¹)															
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	3,38	aAB	2,35	aA	2,34	a A	2,69	A	2,47	aAB	1,19	aA	1,11	aA	1,59	A
100	3,80	a A	1,71	bA	1,57	b A	2,36	AB	2,84	a A	0,90	bA	0,70	bA	1,48	AB
125	2,38	a B	1,69	aA	2,02	a A	2,03	AB	2,05	a B	0,62	bA	0,82	bA	1,16	B
150	2,45	aAB	1,42	aA	1,80	a A	1,89	B	2,37	aAB	0,82	bA	0,87	bA	1,35	AB
200	3,19	aAB	1,42	bA	2,04	abA	2,22	AB	2,43	aAB	0,83	bA	0,81	bA	1,36	AB
Médias	3,04	A	1,72	b	1,95	b			2,43	a	0,87	b	0,86	b		
CV (%)	23,77								18,03							
	20-40 cm								40-60 cm							
SI	1,63	aAB	0,57	aA	0,62	a A	0,94	A	1,18	aAB	0,54	aA	0,76	aA	0,83	AB
100	1,53	a A	0,46	bA	0,52	b A	0,84	A	1,21	aAB	0,36	bA	0,66	abA	0,74	B
125	2,20	a B	0,45	bA	0,66	b A	1,10	A	1,82	a A	0,40	bA	0,85	bA	1,02	A
150	1,73	aAB	0,44	bA	0,57	b A	0,91	A	1,04	a B	0,35	aA	0,75	aA	0,71	B
200	1,81	aAB	0,79	bA	0,65	b A	1,08	A	1,00	a B	0,59	aA	0,99	aA	0,86	AB
Médias	1,78	a	0,54	b	0,60	b			1,25	a	0,45	c	0,80	b		
CV (%)	20,05								34,38							
	60-80 cm								80-100 cm							
SI	1,23	a A	0,62	aA	1,06	a A	0,97	A	1,12	a A	0,76	aA	0,68	aA	0,85	A
100	1,22	a A	0,39	bA	0,84	abA	0,82	A	1,41	a A	0,76	aA	0,68	aA	0,95	A
125	1,53	a A	0,45	bA	0,86	abA	0,95	A	1,55	a A	0,63	bA	0,51	bA	0,90	A
150	0,98	a A	0,46	aA	0,83	a A	0,76	A	0,93	a A	0,64	aA	0,88	aA	0,82	A
200	1,01	a A	0,65	aA	1,16	a A	0,94	A	1,15	a A	0,61	aA	1,26	aA	1,01	A
Médias	1,19	a	0,51	b	0,95	a			1,23	a	0,68	b	0,80	b		
CV (%)	35,77								35,17							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100%, a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

Nesse contexto, Stewart; Hopmans e Flinn (1990) relatam que a aplicação de EET ocasionou uma diminuição nas concentrações de K disponível devido ao aumento da concentração de Na trocável no solo, aumento esse que favoreceu a dessorção e a lixiviação do K trocável.

O comportamento do Na disponível no solo observado neste trabalho, aumentando em todos os tratamentos irrigados, tem sido amplamente relatado na literatura nacional e internacional, em diferentes tipos de solo e cultivos (KARLEN; VITOSH; KUNZE, 1976; FEIGIN et al., 1991; BOND, 1998; FONSECA, 2005; HERPIN et al. 2007; GLOAGUEN et al., 2007). O incremento deste elemento em todo o perfil do solo (Tabela 19) está associado tanto aos elevados aportes pela irrigação com EET, como pela sua grande mobilidade ao longo do perfil.

O aumento nas concentrações de Na no solo deve ser levado em consideração por estar associado a riscos de alteração na estrutura física do solo, através da dispersão de argila, desestruturação dos agregados, entupimento de poros, levando a redução da permeabilidade (BOND, 1998; GLOAGUEN, 2005; GONÇALVES et al., 2007). Além disso, decréscimos nas produtividades das culturas podem ocorrer devido aos efeitos tóxicos e osmóticos provocados pelo Na (BOUWER; CHANEY, 1974; QUIRK, 1994; OSTER, 1994; BOND, 1998; BISWAS et al., 1999; OSTER; SHAINBERG, 2001; HALLIWELL et al., 2001). O incremento nos parâmetros indicadores da sodicidade do solo, tais como concentração de Na trocável, percentual de sódio trocável no solo (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS) podem explicar aumentos na dispersão de argilas. A dispersão de argila reduz a infiltração e a drenagem pelo bloqueio dos poros com partículas finas (SO; AYLMORE, 1993), diminuindo a circulação de água e ar, bem como a penetração radicular (MENNERR et al., 2001) acarretando ainda o encrostamento superficial, entupimento de poros e o aumento do escoamento superficial de poluentes (PANAYIOTOPOULOS; BARBAYIANNIS; PAPTOLIOS, 2004).

Num experimento com cana-de-açúcar irrigada com EET na mesma área experimental Leal (2007) relata aumento nas porcentagens de ADA e de PST do tratamento sem irrigação para os tratamentos irrigados provocadas pelo aumento das concentrações de Na via irrigação, observando variações de 1,69 a 7,08 % e de 1,12 a 11,56% nos tratamentos sem irrigação para ADA e PST, respectivamente e de 1,83 a 11,05% e de 1,13 a 21,13% nos tratamentos irrigados para ADA e PST, respectivamente.

Tabela 19 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Na trocável do solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
Na (mmol, kg ⁻¹)																
0-10 cm																
	1,06	aA	0,42	a B	0,40	aB	0,63	B	2,14	aA	1,42	a B	1,10	aC	1,55	C
100	0,60	cA	3,02	b A	5,95	aA	3,19	A	1,38	bA	3,57	bAB	9,52	aA	4,82	A
125	0,27	cA	2,82	b A	4,62	aA	2,57	A	0,39	cA	3,15	bAB	5,62	aB	3,05	B
150	0,70	cA	3,05	b A	4,60	aA	2,78	A	1,49	bA	3,62	bAB	6,40	aB	3,84	AB
200	1,10	cA	3,92	b A	5,45	aA	3,49	A	1,92	bA	4,17	b A	6,82	aB	4,30	AB
Médias	0,75	c	2,65	b	4,20	a			1,46	c	3,19	b	5,89	A		
CV (%)	21,36								26,58							
20-40 cm																
	3,29	aA	2,62	a A	2,27	a B	2,73	B	3,59	aA	3,00	aB	3,55	aC	3,38	BC
100	3,00	aA	3,30	a A	6,95	bA	4,42	A	3,61	bA	3,72	bAB	5,10	aB	4,14	AB
125	0,43	cB	3,15	b A	6,10	aA	3,23	B	0,50	cA	2,85	bB	4,85	aBC	2,73	C
150	2,57	bAB	3,50	b A	7,40	aA	4,49	A	2,53	cA	4,07	bAB	5,42	aAB	4,01	AB
200	3,26	bA	4,30	ab A	6,12	aA	4,56	A	3,73	bA	4,40	b A	6,42	aA	4,85	A
Médias	2,51	c	3,37	b	5,77	a			2,79	c	3,61	b	5,07	A		
CV (%)	23,60								13,09							
60-80 cm																
	3,03	a A	2,70	a B	1,65	a C	2,46	B	2,90	aA	2,72	a B	1,95	a D	2,52	C
100	3,10	b A	3,37	abAB	5,02	aAB	3,83	A	3,22	aA	3,85	aAB	4,12	aAB	3,73	AB
125	0,54	b B	3,02	a AB	3,60	a B	2,39	B	0,47	bC	2,77	aAB	3,72	a C	2,32	C
150	2,57	bAB	3,97	b AB	5,72	a A	4,09	A	1,60	cB	3,32	bAB	5,22	aAB	3,4	B
200	4,04	aAB	4,62	a A	4,67	aAB	4,44	A	3,44	bA	4,07	b A	5,80	a A	4,44	A
Médias	2,66	c	3,54	b	4,13	a			2,33	c	3,35	b	4,16	a		
CV (%)	18,45								13,22							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

4.3.3 Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn)

As pesquisas são contraditórias no que diz respeito ao efeito da adubação com micronutrientes na cana-de-açúcar, porém, de acordo com Vitti et al. (2006), existem alguns fatos importantes na tomada de decisão favorecendo a adubação com micronutrientes, sendo eles: (i) essencialidade dos micronutrientes para as plantas, (ii) ocorrência de sintomas visuais de deficiência observados no campo, (iii) baixos teores no solo e (iv) novas variedades mais produtivas e exigentes em micronutrientes.

Levando em consideração os micronutrientes essenciais para a cultura da cana-de-açúcar, Vitti e Mazza (2002) relatam recomendações de adubação da cana-de-açúcar para Cu, Zn e B quando as concentrações no solo forem menores que 0,3 mg dm⁻³ de Cu; 0,6 mg dm⁻³ de Zn e

0,2 mg dm⁻³ de B, sendo recomendadas doses de 3 a 4 kg ha⁻¹ de Cu; 5 kg ha⁻¹ de Zn e 2,5 kg ha⁻¹ de B, respectivamente. Entretanto, Raij et al. (1996) recomenda a aplicação de apenas Cu e Zn, caso sejam constatadas concentrações no solo de até 0,5 mg dm⁻³ de Zn e até 0,2 mg dm⁻³ de Cu, sendo necessária à aplicação no plantio de 5 kg ha⁻¹ de Zn e 4 kg ha⁻¹ de Cu. No presente trabalho as concentrações iniciais de Cu, Zn e B na camada de 0-20 cm foram de 0,5 a 0,7 mg kg⁻¹ de Cu; 1,2 a 1,5 mg kg⁻¹ de Zn e 0,65 a 0,66 mg kg⁻¹ de B.

Entre os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn a maior alteração ocorreu para o B. Sabe-se que no Brasil as deficiências de micronutrientes mais frequentes são de B e Zn. Para a cultura da cana-de-açúcar, dentre os micronutrientes, a maior deficiência é do B (MALAVOLTA, 2006). Na Tabela 20 verifica-se que houve diferença significativa do B disponível no solo entre as médias gerais das épocas de amostragem em todo o perfil do solo. Observa-se uma redução significativa dos teores de B da Época 1 para a Época 2 e um aumento da Época 2 para a Época 3, sendo as concentrações na Época 3, exceto abaixo de 60 cm, sempre superiores às da Época 1. O aporte de B via irrigação ficou em torno de 3,5, 4,5, 5,4 e 7,1 kg ha⁻¹ relativos aos tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente (Tabela 3) sendo que no caso de deficiências de B o recomendado é 2,5 kg ha⁻¹ (VITTI; MAZZA, 2002).

Tabela 20 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de B disponível no solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
B (mg kg ⁻¹)																
0-10 cm																
SI	0,93	a A	0,30	bA	1,04	aA	0,76	A	0,75	aA	0,23	bA	1	a B	0,67	A
100	0,63	bAB	0,21	cA	1,24	aA	0,69	A	0,64	bA	0,15	cA	1,01	a B	0,60	AB
125	0,46	b B	0,13	bA	0,92	aA	0,50	A	0,46	bA	0,06	cA	1,00	a B	0,51	B
150	0,64	b AB	0,26	bA	1,15	aA	0,68	A	0,73	bA	0,19	cA	1,16	aAB	0,69	A
200	0,62	abAB	0,27	bA	0,99	aA	0,63	A	0,69	bA	0,20	cA	1,35	a A	0,75	A
Médias	0,66	b	0,23	c	1,07	a			0,65	b	0,17	c	1,11	a		
CV (%)	23,37								17,48							
20-40 cm																
SI	0,72	b A	0,22	cA	1,06	aA	0,67	A	0,47	bA	0,21	cA	0,6	a A	0,43	A
100	0,60	b A	0,24	cA	0,97	aA	0,60	A	0,33	bA	0,20	bA	0,53	aAB	0,35	BC
125	0,50	b A	0,09	cA	0,94	aA	0,51	A	0,35	aA	0,16	bA	0,39	a B	0,30	C
15	0,65	b A	0,18	cA	1,11	aA	0,65	A	0,46	aA	0,18	bA	0,46	a B	0,37	B
200	0,56	b A	0,26	cA	1,17	aA	0,66	A	0,36	aA	0,18	bA	0,41	a B	0,32	BC
Médias	0,61	b	0,20	c	1,05	a			0,39	b	0,19	c	0,48	a		
CV (%)	15,41								15,47							
60-80 cm																
SI	0,33	a B	0,19	aA	0,4	a A	0,31	B	0,43	aBC	0,12	bB	0,4	a A	0,31	B
100	0,31	a B	0,16	aA	0,34	a A	0,27	B	0,53	aBC	0,09	bB	0,34	a A	0,32	B
125	0,36	a B	0,08	aA	0,30	a A	0,25	B	0,39	a C	0,08	bB	0,30	a A	0,26	B
150	0,51	a AB	0,11	bA	0,35	abA	0,32	A	0,72	a A	0,28	bA	0,34	b A	0,45	A
200	0,74	a A	0,20	bA	0,40	abA	0,45	A	0,70	aAB	0,23	bAB	0,42	c A	0,45	A
Médias	0,45	a	0,15	b	0,36	a			0,55	a	0,16	c	0,35	b		
CV (%)	38,33								19,03							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

O aumento na concentração de B disponível em superfície pode ser explicado pelas condições favoráveis a mineralização da MO do solo, o que tem estreita relação com o aumento na biodisponibilidade do elemento (MORTVEDT, 2000). Em solos ácidos, como no caso do Brasil, a adsorção do B pelas argilas e sesquióxidos é relativamente pequena, sendo que os colóides húmicos são a reserva principal desse micronutriente (MALAVOLTA, 2006). As maiores concentrações de B disponível no solo foram encontrados, em geral, embora não estatisticamente significativas, nas maiores lâminas de efluente.

Para o Cu disponível houve diferença significativa entre as médias gerais das épocas de amostragem nas camadas 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, ocorrendo de modo geral uma diminuição nas concentrações de Cu no solo da Época 1 para a Época 2 e 3. Entre os tratamentos houve diferença significativa para a Época 3 na camada 40-60 cm, sendo as concentrações do Cu

inferiores no tratamento 100 quando comparado aos tratamentos 125 e 200 (Tabela 21). A adição de Cu no sistema foi de aproximadamente 0,18, 0,22, 0,27 e 0,36 kg ha⁻¹ para os tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente (Tabela 3), sendo que o recomendado no plantio é de 3 a 4 kg ha⁻¹ de Cu em caso de deficiência (VITTI; MAZZA, 2002).

Fonseca (2005) num experimento com capim-Tifton 85 irrigado com EET, relata uma diminuição nas concentrações de Cu ao final do experimento devido, principalmente, a maior absorção do nutriente pela cultura. Entretanto, no presente estudo não houve, entre os tratamentos, diferença significativas nos teores de Cu na folha e no caldo. No colmo, os teores de Cu estiveram sempre abaixo do limite de detecção da técnica de medida utilizada.

A baixa absorção de Cu pela cultura pode estar associada a complexação do elemento pela matéria orgânica, tendo em vista que o Cu pode estar complexado em formas orgânicas não disponíveis para a planta (ABREU; FERREIRA; BORKERT, 2001; MALAVOLTA, 2006), entretanto, no presente trabalho, uma vez que os teores de MO são baixos, na faixa de 9-13 gkg⁻¹, este processo parece ser pouco provável.

Outro fator importante que pode justificar a ausência ou baixa absorção de Cu pela cana-de-açúcar é o balanço de nutrientes. Dados da POTAFOS (1996) relatam deficiência de Cu devido à interação entre o elemento e outros nutrientes do solo. O excesso de N, P, Fe, Zn e Al podem acarretar redução na absorção do Cu pelas plantas. No presente estudo um dos nutrientes com maior aporte via efluente foi o N (Tabela 3).

Tabela 21 – Efeito da irrigação com EET nas concentrações de Cu disponível no solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
Cu (mg kg ⁻¹)																
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	0,80	aA	0,40	aA	1,32	aA	0,84	A	0,77	aA	0,60	abA	0,46	bA	0,61	A
100	0,69	aA	0,45	aA	0,63	aA	0,59	A	0,85	aA	0,51	bAB	0,30	bA	0,55	AB
125	0,32	aA	0,21	aA	0,29	aA	0,27	A	0,40	aB	0,29	a B	0,35	bA	0,35	B
150	0,36	aA	0,42	aA	0,38	A	0,39	A	0,69	aAB	0,55	abAB	0,37	bA	0,54	AB
200	0,43	aA	0,52	aA	0,72	aA	0,56	A	0,71	aAB	0,55	abAB	0,39	bA	0,55	AB
Médias	0,52	a	0,40	a	0,67	a			0,68	a	0,50	b	0,37	c		
CV (%)	79,89								22,48							
	20-40 cm								40-60 cm							
SI	0,42	aA	0,24	aA	0,39	aA	0,35	A	0,55	aA	0,27	aA	0,17	bAB	0,33	AB
100	0,32	aA	0,30	aA	0,31	aA	0,31	A	0,54	aA	0,26	bA	0,09	bB	0,30	B
125	0,31	aA	0,33	aA	0,26	aA	0,30	A	0,55	aA	0,30	aA	0,40	aA	0,42	A
150	0,36	aA	0,32	aA	0,26	aA	0,31	A	0,50	aA	0,28	aA	0,32	aAB	0,37	AB
200	0,37	aA	0,24	aA	0,26	aA	0,29	A	0,47	aA	0,27	aA	0,38	aA	0,37	AB
Médias	0,36	a	0,29	b	0,30	ab			0,52	a	0,28	b	0,27	b		
CV (%)	26,00								29,38							
	60-80 cm								80-100 cm							
SI	0,44	aA	0,23	a A	0,26	bA	0,31	A	0,37	aA	0,21	a A	0,13	abA	0,24	A
100	0,49	aA	0,22	b A	0,19	bA	0,30	A	0,40	aA	0,27	abA	0,15	bA	0,27	A
125	0,47	aA	0,20	b A	0,23	bA	0,30	A	0,42	aA	0,21	b A	0,12	bA	0,25	A
150	0,38	aA	0,29	a A	0,23	aA	0,30	A	0,38	aA	0,21	b A	0,20	bA	0,26	A
200	0,44	aA	0,27	abA	0,19	bA	0,30	A	0,37	aA	0,22	abA	0,12	bA	0,24	A
Médias	0,44	a	0,24	b	0,22	b			0,39	a	0,22	b	0,14	c		
CV (%)	25,02								25,04							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

No caso do Fe disponível as diferenças significativas entre as médias gerais das épocas de amostragem ocorreram nas camadas 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm (Tabela 22). Na camada 20-40 cm foi observada uma diminuição nas concentrações de Fe da Época 1 para a Época 3, enquanto nas demais camadas houve a diminuição da Época 1 para a Época 2 e em seguida um aumento na Época 3. Comparando os tratamentos na Época 3, diferenças significativas ocorreram nas camadas 0-10, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Em todas essas camadas o tratamento SI apresentou concentrações mais elevadas do que nos tratamentos irrigados. O aporte de Fe via irrigação foi de aproximadamente 2,7, 3,4, 4,1 e 5,5 kg ha⁻¹ para os tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente (Tabela 3).

Fonseca (2005) verificou, ao longo do experimento com capim-Tifton 85 irrigado com EET da mesma estação de tratamento, aumento nas concentrações de Fe disponível nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm. O autor explica esse comportamento pelo menor acúmulo de Fe pela planta, o que proporcionou aumento do elemento no solo. No presente trabalho, não houve diferença significativa nas camadas 0-10 e 10-20 cm, e na camada 20-40, houve uma diminuição da concentração de Fe ao longo do experimento.

Tabela 22 – Efeito da irrigação com EET nos teores de Fe disponível no solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias		
Fe (mg kg ⁻¹)																	
	0-10 cm						10-20 cm										
SI	28,74	aA	24,33	aA	34,63	aA	29,23	A	21,90	aA	27,34	aA	24,10	aA	24,45	A	
100	23,19	aA	19,39	aA	20,56	aB	21,05	AB	22,27	aA	19,39	aAB	16,59	aA	19,42	AB	
125	20,15	aA	21,24	aA	24,79	aAB	22,06	AB	21,80	aA	20,65	aAB	21,08	aA	21,18	AB	
150	21,86	aA	16,81	aA	18,80	aAB	19,16	B	22,07	aA	20,26	aAB	16,37	aA	19,57	AB	
200	13,74	aA	14,79	aA	14,06	aAB	14,20	B	16,74	aA	15,70	aB	12,15	aA	14,86	B	
Médias	21,54	a	19,31	a	22,57	a			20,96	a	20,67	a	18,06	a			
CV (%)	27,00								19,44								
	20-40 cm						40-60 cm										
SI	14,64	aA	11,89	aA	14,33	aA	13,62	A	11,54	aAB	9,20	aA	13,35	aAB	11,36	A	
100	17,49	aA	13,50	aA	12,14	aA	14,38	A	9,94	aAB	8,60	aA	10,89	aAB	9,81	ABC	
125	19,09	aA	11,20	bA	11,48	bA	13,92	A	13,67	aA	7,70	bA	15,74	aA	12,37	A	
150	15,08	aA	10,70	aA	9,29	aA	11,69	AB	8,52	aB	7,50	aA	9,78	aAB	8,60	BC	
200	11,13	aA	9,25	aA	8,52	aA	9,63	B	8,26	aB	6,65	aA	8,64	aB	7,85	C	
Médias	15,49	a	11,31	b	11,15	b			10,39	a	7,93	b	11,68	a			
CV (%)	22,10						18,26										
	60-80 cm						80-100 cm										
SI	6,94	aA	6,50	aA	14,41	aA	9,28	AB	4,65	aA	4,58	aA	6,42	aA	5,22	AB	
100	6,59	aA	6,00	aA	7,97	aAB	6,85	AB	4,66	aA	5,13	aA	5,29	aAB	5,03	AB	
125	8,00	aA	5,78	aA	9,46	aAB	7,75	A	4,52	aA	5,73	aA	5,78	aAB	5,34	A	
150	5,30	aA	5,37	aA	6,65	aAB	5,77	AB	4,77	aA	4,04	aA	5,20	aAB	4,67	AB	
200	5,36	abA	6,84	aA	5,74	bB	5,98	B	4,59	aA	3,77	aA	4,38	aB	4,25	B	
Médias	6,44	b	6,10	b	8,85	a			4,64	b	4,65	b	5,41	a			
CV (%)	41,96						14,37										

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 corresponde a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

Com relação as concentrações de Mn disponível ocorreram diferenças entre as médias gerais das épocas de amostragem em todas as profundidades estudadas (Tabela 23). Nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm as concentrações de Mn aumentaram da Época 1 para a Época 2

e voltaram a diminuir na Época 3. O aumento que ocorreu da Época 1 para 2 não pode ser explicado pela absorção da planta pois o acúmulo de Mn na folha e no colmo da cana-planta foi crescente dos 4 aos 16 meses. Estas diferenças podem ser derivadas das alterações ocorridas no pH, podendo ser este o fator primordial neste comportamento do Mn. Nas camadas subsuperficiais (60-100 cm) as concentrações de Mn disponível aumentaram da Época 1 para a Época 3. Entre os tratamentos, as diferenças nas concentrações de Mn foram observadas apenas na camada 40-60 cm na Época 3, onde o tratamento 125 diferiu dos tratamentos SI e 100 (Tabela 23).

Levando em conta a diminuição do Mn disponível em superfície, pode-se considerar ainda a absorção de Mn pelas raízes de forma expressiva nessa profundidade de 0-20 cm, haja vista o maior volume de raízes nesta camada. O Mn adicionado ao sistema solo foi de 0,45, 0,57, 0,69 e 0,92 kg ha⁻¹ para os tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente.

Nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm, concordando com Fonseca (2005), houve uma queda na concentração de Mn disponível no solo entre as médias gerais das épocas de amostragem no período de maior desenvolvimento da cultura, que foi da Época 2 para a Época 3. Já o incremento na concentração do Mn nas demais camadas ao longo do experimento discorda das observações de Ramirez-Fuentes et al. (2002) e Fonseca (2005). Essa queda na concentração do Mn disponível em superfície pode estar ligada ao balanço nutricional, ou também, talvez mais provável, ao pH. Altos teores de Cu, Fe e Zn bem como alta disponibilidade de Ca e Mg podem reduzir a absorção de Mn pelas plantas (POTAFOS, 1996).

Falkiner e Smith (1997) verificaram diminuição na disponibilidade de Mn num solo irrigado com EET associada ao aumento dos teores de Ca, Mg, K e Na e da alcalinidade pelo EET aplicado, em consequência, ao aumento de pH obtido, o que também foi observado no presente trabalho.

Para o Zn, verifica-se na Tabela 24 uma diferença entre as médias gerais das épocas de amostragem apenas nas camadas 40-60 e 80-100 cm. Ocorreu uma diminuição seguida de um aumento na camada 40-60 cm da Época 1 para a Época 3 e na camada de 80-100 cm houve um aumento seguido de uma diminuição da Época 1 para a Época 3.

Entre os tratamentos na Época 3, diferenças nas concentrações de Zn foram observadas apenas nas camadas superficiais. Na camada 0-10 cm, o tratamento SI diferiu dos tratamentos 125 e 150, e na camada 10-20 cm, os tratamentos SI e 150 diferiram do tratamento 125, sendo

que em ambas as camadas a concentração maior de Zn ocorreu no tratamento SI. O Zn adicionado no sistema via irrigação com EET foi 0,50; 0,64; 0,77 e 1,0 kg ha⁻¹ para os tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente, sendo que o recomendado no plantio são 5 kg ha⁻¹ de Zn em caso de deficiência (RAIJ et al., 1996; VITTI; MAZZA, 2002).

Tabela 23 – Efeito da irrigação com EET nos teores de Mn disponível no solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
Mn (mg kg ⁻¹)																
0-10 cm									10-20 cm							
SI	2,84	a AB	3,68	aA	3,00	aA	3,17	A	1,73	b B	3,68	aA	1,78	bA	2,40	A
100	3,30	abAB	4,05	aA	2,20	bA	3,18	A	2,26	abAB	3,90	aA	1,68	bA	2,61	A
125	3,12	a AB	4,54	aA	3,13	aA	3,60	A	3,06	abAB	3,38	aA	1,53	bA	2,66	A
150	3,73	abA	4,38	aA	2,38	bA	3,50	A	3,83	a AB	4,19	aA	1,83	bA	3,28	A
200	2,11	b B	3,70	aA	1,89	bA	2,57	A	2,62	b A	4,35	aA	1,65	bA	2,87	A
Médias	3,02	b	4,07	a	2,52	c			2,70	b	3,90	a	1,69	c		
CV (%)	18,15								25,41							
20-40 cm									40-60 cm							
SI	1,49	a A	1,66	aA	0,46	aA	1,20	A	1,26	a AB	1,14	aA	1,55	a B	1,32	B
100	1,61	a A	1,84	aA	0,73	aA	1,39	A	0,99	a AB	1,33	aA	1,33	a B	1,22	B
125	1,87	a A	1,68	aA	0,86	aA	1,47	A	1,59	a A	1,35	aA	1,93	aA	1,62	A
150	2,24	a A	1,12	bA	0,64	bA	1,33	A	1,08	a AB	1,19	aA	1,49	aAB	1,25	B
200	1,33	a A	1,26	aA	0,60	aA	1,06	A	0,87	a B	1,51	aA	1,53	aAB	1,30	B
Médias	1,71	a	1,51	a	0,66	b			1,16	b	1,30	b	1,57	a		
CV (%)	35,74								20,59							
60-80 cm									80-100 cm							
SI	1,24	aA	1,13	aA	1,77	aA	1,38	AB	1,13	a A	1,35	aA	1,41	aA	1,30	A
100	0,95	aA	1,26	aA	1,47	aA	1,23	B	0,90	a A	1,33	aA	1,61	aA	1,28	B
125	1,32	aA	1,04	aA	1,88	aA	1,41	A	1,25	a A	1,75	aA	1,65	aA	1,55	A
150	0,95	aA	1,17	aA	1,53	aA	1,22	AB	1,07	a A	1,35	aA	1,57	aA	1,33	AB
200	1,05	aA	1,29	aA	1,87	aA	1,40	AB	1,12	a A	1,38	aA	1,69	aA	1,40	AB
Médias	1,10	b	1,18	b	1,70	a			1,09	b	1,43	a	1,59	a		
CV (%)	29,39								20,39							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

O acúmulo de micronutrientes no solo, entre eles Cu e Zn, necessita ser monitorado periodicamente tendo em vista a relação que existe entre a biodisponibilidade desses elementos e as alterações de pH (RATTAN et al., 2005).

Fonseca (2005) descreve uma diminuição do Zn disponível no solo no decorrer de dois anos de experimento com capim-Tifton 85, o que discorda dos resultados do presente trabalho

que revelam, em geral, alterações não significativas ao longo do perfil do solo. É possível que a escala de tempo do presente experimento ainda não tenha sido suficiente para ocasionar modificações nas concentrações de Zn no solo.

Tabela 24 – Efeito da irrigação com EET nos teores de Zn disponível no solo

	Época 1		Época 2		Época 3		Médias		Época 1		Época 2		Época 3		Médias	
	Zn (mg kg ⁻¹)															
	0-10 cm								10-20 cm							
SI	2,09	aA	1,66	aA	2,89	aA	2,21	A	2,10	aAB	2,26	aA	1,85	aA	2,07	A
100	1,35	aA	1,48	aA	1,52	aAB	1,45	B	1,71	aAB	1,53	aAB	0,90	aAB	1,38	A
125	0,71	aA	0,62	aA	0,57	aB	0,63	C	0,53	aB	0,40	aB	0,38	aB	0,44	B
150	1,22	aA	1,59	aA	1,27	aB	1,36	BC	1,90	aAB	1,60	aAB	1,75	aA	1,75	A
200	0,86	aA	1,38	aA	1,48	aAB	1,24	BC	1,38	aAB	1,70	aA	1,19	aAB	1,42	A
Médias	1,25	a	1,35	a	1,55	a			1,52	a	1,50	a	1,21	a		
CV (%)	40,09								38,89							
	20-40 cm								40-60 cm							
100	0,30	aA	0,31	aA	0,24	aA	0,28	A	0,26	abA	0,11	bA	0,28	aA	0,22	A
125	0,35	aA	0,57	aA	0,26	aA	0,39	A	0,17	aA	0,11	aA	0,16	aA	0,15	A
150	0,16	aA	0,42	aA	0,10	aA	0,23	A	0,15	aA	0,08	aA	0,14	aA	0,12	A
200	0,48	aA	0,36	aA	1,01	aA	0,62	A	0,18	aA	0,06	aA	0,12	aA	0,12	A
Médias	0,30	a	0,51	a	0,37	a			0,18	a	0,10	b	0,17	a		
CV (%)	103,05								41,5							
	60-80 cm								80-100 cm							
100	0,17	aA	0,05	aA	0,58	aA	0,27	A	0,11	aA	0,13	aA	0,07	aA	0,10	A
125	0,17	aA	0,06	aA	0,09	aA	0,11	A	0,11	aA	0,12	aA	0,04	aA	0,09	A
150	0,13	aA	0,06	aA	0,12	aA	0,10	A	0,09	abA	0,14	aA	0,03	bA	0,09	A
200	0,08	aA	0,11	aA	0,15	aA	0,11	A	0,13	aA	0,17	aA	0,09	aA	0,13	A
Médias	0,14	a	0,08	a	0,20	a			0,10	b	0,14	a	0,07	c		
CV (%)	168,47								37,7							

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 2 (irrigada) – dez/05, Época 3 (irrigada) – set/06

Não se conhece até o momento, outras pesquisas sobre os efeitos do B, Cu, Fe, Mn e Zn fornecidos ao solo via irrigação com EET na produção de cana-de-açúcar. O presente trabalho apresentou incrementos nas médias gerais das épocas de amostragem de B de 0-60 cm, Fe de 60-100 cm e Mn de 40-100 cm ao longo do tempo, entretanto, esses aumentos não proporcionaram incrementos nos teores foliares na Época 2 e na Época 3, e nem aumentos na extração desses elementos pelo colmo (Tabela 7).

Alguns fatores podem explicar esse comportamento dos micronutrientes, tendo em vista que a disponibilidade desses elementos às plantas depende de sua presença na solução do solo, que por sua vez é governada pela composição e reação do solo, pelas reações de oxidação-redução e pela cinética das reações (CAMARGO et al., 2001). Nesse contexto, os micronutrientes podem estar mais ou menos disponíveis para as plantas.

A disponibilidade dos micronutrientes está relacionada com o pH do solo, adsorção pelos constituintes da fase sólida, retenção nas raízes das plantas, umidade do solo, temperatura do solo, MO, textura do solo, formação de precipitados insolúveis, lixiviação, entre outros (ABREU; FERREIRA; BORKERT, 2001; CAMARGO et al., 2001). Com exceção do B disponível, que demonstrou aumento nas médias gerais das épocas de amostragem em superfície, a diminuição nas concentrações de Cu e Mn e a não alteração nas concentrações Fe e Zn provavelmente se deveu à absorção pela cultura e ao acréscimo do pH ao longo do perfil do solo. O fornecimento via irrigação destes micronutrientes não foi maior do que a exigência da cultura.

A cultura parece ter um papel muito importante na prática de irrigação com EET. Comportamentos diferentes de alguns elementos no solo foram observados para culturas de café (HERPIN et al., 2007), milho e girassol (GLOAGUEN et al., 2007), e pastagem (FONSECA, 2005), todas irrigadas com efluente da mesma estação de tratamento de esgoto. Ressalta-se que para as três primeiras culturas, o cultivo foi realizado em Latossolo Vermelho distrófico e a última em Argissolo Vermelho distrófico Latossólico. Em todos os casos foram observados aumento do pH do solo devido a alcalinidade do EET bem como aumento nas concentrações de Na trocável pelo aporte via irrigação. Para o café após três anos de experimento as concentrações de Ca, Mg e K permaneceram altas provavelmente devido o aporte via irrigação com EET e via fertilização mineral e os teores de P aumentaram possivelmente devido a mineralização da MO. No caso do milho e do girassol as concentrações de K diminuíram após cada ciclo da cultura indicando a eficiência de absorção pela cultura. Já na pastagem foram observadas pequenas alterações nas concentrações de Ca, Mg e K do solo mesmo após o aporte via irrigação devido a intensa extração desses nutrientes pela cultura.

4.3.4 Matéria orgânica (MO), carbono total (CT) e nitrogênio total (NT)

Em relação à MO houve alteração entre as médias gerais das épocas de amostragem no perfil do solo, com exceção da camada 10-20 cm. Na camada de 0-10 cm houve um aumento da MO e, a partir dos 20 cm, observa-se uma diminuição da MO (Tabela 25). Entre os tratamentos na Época 3, ocorreram diferenças apenas na camada 60-80 cm, onde a concentração da MO foi mais elevada no tratamento SI em comparação aos tratamentos 150 e 200.

Esse aumento da MO que ocorreu na camada de 0-10 cm (Tabela 25) pode estar relacionado ao aporte de resíduos vegetais da própria cultura e não necessariamente do aporte de material orgânico via efluente.

O solo do presente trabalho apresenta baixa fertilidade natural, baixo conteúdo de MO e se encontra numa região de elevadas temperaturas, o que promove uma rápida mineralização do material orgânico adicionado ao solo (ARTIOLA; PEPPER, 1992). Esses fatores em conjunto com a adição de resíduos orgânicos e com a irrigação ocasionam aumento na mineralização da MO, visto que a taxa de mineralização depende do potencial de água no solo (STANFORD; EPSTEIN, 1974; MYERS et al., 1982). Assim sendo, o aumento na taxa de mineralização pode acarretar uma diminuição na MO. Falkiner e Smith (1997) relatam que os EET podem alterar a taxa de decomposição da MO, ocasionando diminuição nos teores de CT e NT. Para Tate (1973) e Ross et al. (1982) essa diminuição pode ser atribuída à degradação da mesma pelo aumento da biomassa microbiana, da respiração, e da atividade enzimática durante a irrigação com efluente. Um dos fatores que contribuem para acelerar essa degradação é a baixa relação C:N do efluente (BURT et al., 1993) também observada no estudo.

Esse aumento da atividade microbiana no solo, acelerando a taxa de decomposição da matéria orgânica, devido ao maior crescimento da população microbiana, é um mecanismo conhecido como "efeito priming" que, segundo Kuzyakov et al. (2000), são mudanças no curto prazo da matéria orgânica inicial do solo causada por alterações no solo. Estas alterações estão vinculadas à fertilização orgânica ou mineral do solo, a exsudação de substâncias orgânicas por raízes, ao tratamento mecânico do solo ou a secagem e reumidecimento do solo. "Efeito priming" significativo foi demonstrado por Pal e Broadbent et al. (1975) em um solo tratado com palha de arroz. Tal efeito foi maior durante a primeira semana após a adição da palha, indicando que a

fração mais facilmente degradável foi a que mais contribuiu para aumentar a decomposição da matéria orgânica.

Os resultados do presente trabalho concordam com Herpin et al. (2007) que observaram num experimento com a cultura do café irrigado com EET uma ligeira elevação da MO do solo. Entretanto, nesse mesmo trabalho, esta tendência não se manteve no ano seguinte, onde as concentrações da MO do solo foram significativamente menores em todo o perfil do solo.

Gloaguen (2006) relata, em um trabalho com as culturas de milho e girassol após 2 anos de irrigação com EET, diminuição nos teores de MO no perfil do solo atribuídos ao aumento da biomassa microbiana, da respiração, e da atividade enzimática durante a irrigação com efluente, resultado semelhante ao do presente trabalho que também apresentou um decréscimo dos teores de MO a partir de 20 cm de profundidade.

Uma vez que a MO têm grande importância para a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água (ROSCOE; MERCANTE e SALTON, 2006), sendo a mesma principal responsável pela CTC dos solos tropicais, os quais possuem argila de baixa atividade (RAIJ et al., 1991), sua perda pode interferir significativamente nesses processos, proporcionando desequilíbrio e a degradação do solo. Dessa forma, torna-se evidente a importância prática das alterações ocasionadas pela irrigação com EET nos teores de MO, afetando diretamente a capacidade de troca catiônica do solo.

Tabela 25 – Efeito da irrigação com EET nos teores de MO do solo

	Época 1		Época 3		Médias		Época 1		Época 3		Médias	
MO (g kg ⁻¹)												
0-10 cm						10-20 cm						
SI	10,00	bA	14,2	aA	12,1	A	9,30	bB	14,2	aA	11,7	B
100	10,46	bA	15,11	aA	12,79	A	9,76	bB	13,48	aA	11,62	B
125	10,69	bA	15,34	aA	13,02	A	14,41	aA	13,95	aA	14,18	A
150	10,00	bA	14,89	aA	12,45	A	14,41	aA	13,95	aA	14,18	A
200	10,00	bA	14,89	aA	12,45	A	14,65	aA	12,32	aA	13,49	A
Médias	10,29	b	15,06	a			13,31	a	13,43	a		
CV (%)	5,49					11,91						
20-40 cm						40-60 cm						
SI	13,32	bA	9,76	bA	11,5	A	10,30	bA	10,00	aA	10,2	A
100	11,86	aA	10,69	aA	11,28	A	9,76	aA	10,23	aA	10,00	A
125	12,09	aA	10,23	bA	11,16	A	11,16	aA	8,83	bA	10,00	A
150	12,44	aA	11,16	aA	11,80	A	10,00	aA	9,30	aA	9,65	A
200	12,55	aA	10,69	bA	11,62	A	9,76	aA	10,00	aA	9,88	A
Médias	12,24	a	10,69	b			10,17	a	9,59	b		
CV (%)	5,41					5,44						
60-80 cm						80-100 cm						
SI	9,07	bA	10,00	aA	9,54	A	8,37	bA	6,04	bA	7,21	A
100	9,53	aA	7,90	aAB	8,72	AB	8,83	aA	5,58	bA	7,21	A
125	9,30	aA	7,90	aAB	8,60	AB	9,07	aA	6,04	bA	7,56	A
150	9,18	aA	7,44	aB	8,31	AB	8,37	aA	5,81	bA	7,09	A
200	9,30	aA	7,44	aB	8,37	B	8,60	aA	6,28	bA	7,44	A
Médias	9,33	a	7,67	b			8,72	a	5,93	b		
CV (%)	10,12					5,92						

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente

Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 3 (irrigada) – set/06

O comportamento do CT no solo pode ser observado na Tabela 26. Verifica-se que não houve alteração nas concentrações de CT do solo no primeiro ano de aplicação do EET, não ocorrendo interação entre os tratamentos e as épocas de amostragem. A adubação nitrogenada juntamente com o aporte do C e N via irrigação com EET, não foram suficientes para o aumento do CT e NT do solo, concordando com Fonseca (2005) que também não relatou diferença significativa nas concentrações de CT entre os tratamentos num experimento com capim-Tifton 85 irrigado com EET, provavelmente porque as alterações podem ter ocorrido nas diferentes formas de C do solo, não interferindo no teor total. Provavelmente as alterações nas concentrações do CT do solo irão ocorrer no longo prazo.

Tabela 26 – Efeito da irrigação com EET nos teores de CT do solo

	Época 1		Época 3		Médias		Época 1		Época 3		Médias	
CT (g kg ⁻¹)												
0-10 cm						10-20 cm						
SI	6,10	aA	6,40	aA	6,25	A	6,20	aA	6,00	aA	6,10	A
100	5,80	aA	6,60	aA	6,20	A	6,40	aA	6,00	aA	6,20	A
125	6,60	aA	6,20	aA	6,40	A	7,10	aA	6,20	aA	6,65	A
150	5,80	aA	6,00	aA	5,90	A	5,80	aA	6,10	aA	5,95	A
200	6,00	aA	5,90	aA	5,95	A	6,50	aA	5,80	aA	6,15	A
Médias	6,05	a	6,18	a			6,45	a	6,03	a		
CV (%)	9,05					10,60						
20-40 cm						40-60 cm						
SI	5,00	aA	5,10	aA	5,05	A	4,00	aA	4,00	aA	4,00	A
100	5,10	aA	5,10	aA	5,10	A	4,20	aA	4,20	aA	4,20	A
125	5,20	aA	5,50	aA	5,35	A	4,10	aA	4,10	aA	4,10	A
150	4,90	aA	5,70	aA	5,30	A	4,10	aA	4,30	aA	4,20	A
200	5,20	aA	4,80	aA	5,00	A	4,10	aA	4,20	aA	4,15	A
Médias	5,13	a	5,28	a			4,15	a	4,23	a		
CV (%)	10,16					8,52						
60-80 cm						80-100 cm						
SI	3,60	aA	3,40	aA	3,5	A	2,80	aA	2,70	aA	2,8	A
100	3,40	aA	3,10	aA	3,25	A	2,80	aA	2,60	aA	2,70	A
125	3,50	aA	3,20	aA	3,35	A	2,80	aA	2,80	aA	2,80	A
150	3,30	aA	3,40	aA	3,35	A	2,80	aA	2,80	aA	2,80	A
200	3,30	aA	3,00	aA	3,15	A	2,90	aA	2,70	aA	2,80	A
Médias	3,58	a	3,18	a			2,83	a	2,73	a		
CV (%)	9,68					9,08						

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente
Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 3 (irrigada) – set/06

Para o NT verifica-se na Tabela 27 que houve diferença entre as épocas de amostragem na camada 20-40 cm, ocorrendo um incremento de N no solo da Época 1 para a Época 3. A diferença entre os tratamentos ocorreu nas camadas de 0-10 e 20-40 cm dentro da Época 3. Na camada 0-10 cm o tratamento 100 diferiu dos tratamentos SI e 125 e na camada 20-40 cm foi o tratamento 150 cm que diferiu do tratamento 100.

Mesmo com o potencial da irrigação com EET em modificar os processos de ciclagem do N e também do C, pelo aumento da água no solo para teores que estimulam a atividade de decomposição da matéria orgânica (POLGLASE et al., 1995; FALKINER; SMITH, 1997) observa-se ausência de alteração nas concentrações de CT e NT do solo, o que pode estar

relacionada ao curto tempo de experimento, e no caso do NT, as alterações podem ter ocorrido nas diferentes formas de N do solo sem interferir nos teores totais.

Num experimento de quatro anos de irrigação com EET em culturas de milho, mandioca, inhame e feijão, Agunwamba (2001) obteve aumento nas concentrações de CT e NT do solo. Já Zekri e Koo (1994) observaram, num trabalho com citrus irrigado com EET por cinco anos, uma diminuição nas concentrações de NT do solo. Polglase et al. (1995) também observaram diminuições nas concentrações de CT e NT em solos de plantações florestais irrigadas com EET, alterações que foram atribuídas ao efeito provocado pela maior decomposição da MO do solo. Nota-se que existe uma grande variabilidade nos resultados de MO, CT, NT e C/N obtidos por diversos autores, relatando, ora acréscimos ora decréscimos nas concentrações destes parâmetros. Schipper et al. (1996) não encontraram alterações nas concentrações de CT e NT. Mohammand e Mazahreh (2003) atribuem essas variações de resultados ao tipo de solo, cultura utilizada, características do EET e manejo adequado da irrigação.

No presente trabalho, foram adicionados via irrigação com EET aproximadamente 1.049, 1.325, 1.593 e 2.117 kg ha⁻¹ de C e cerca de 220, 280, 330 e 450 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos 100, 125, 150 e 200, respectivamente (Tabela 3). Apesar desse elevado aporte não foram observadas alterações nas concentrações de CT e NT do solo entre as médias gerais ao longo do experimento, e entre as médias gerais dos tratamentos, exceto para o NT na camada 20-40 cm. Entretanto, pode-se evidenciar a tendência de aumento, mesmo que não significativo das concentrações de NT nos tratamentos irrigados no sentido das menores lâminas de irrigação com EET para as maiores.

Tabela 27 – Efeito da irrigação com EET nos teores de NT do solo

	Época 1		Época 3		Médias		Época 1		Época 3		Médias	
	NT (g kg ⁻¹)											
	0-10 cm						10-20 cm					
SI	0,52	aA	0,52	aA	0,52	A	0,57	aA	0,57	aA	0,57	A
100	0,52	aA	0,42	aB	0,47	A	0,52	aA	0,55	aA	0,54	A
125	0,55	aA	0,55	aA	0,55	A	0,60	aA	0,55	aA	0,58	A
150	0,50	aA	0,47	AB	0,49	A	0,52	aA	0,60	aA	0,56	A
200	0,52	aA	0,47	aAB	0,50	A	0,55	aA	0,52	aA	0,54	A
Médias	0,52	a	0,48	a			0,55	a	0,56	a		
CV (%)	8,62						13,60					
	20-40 cm						40-60 cm					
SI	0,45	aA	0,45	aA	0,45	A	0,40	aA	0,40	aA	0,40	A
100	0,42	aA	0,42	aB	0,42	B	0,32	aA	0,37	aA	0,35	A
125	0,47	aA	0,52	aAB	0,50	AB	0,37	aA	0,42	aA	0,40	A
150	0,42	aA	0,60	aA	0,51	A	0,35	aA	0,37	aA	0,36	A
200	0,42	aA	0,47	aAB	0,45	AB	0,35	aA	0,42	aA	0,39	A
Médias	0,43	b	0,50	a			0,35	a	0,40	a		
CV (%)	12,80						17,38					
	60-80 cm						80-100 cm					
SI	0,36	aA	0,37	aA	0,37	A	0,28	aA	0,27	aA	0,28	A
100	0,30	aA	0,32	aA	0,31	A	0,22	aA	0,25	aA	0,24	A
125	0,35	aA	0,35	aA	0,35	A	0,22	aA	0,25	aA	0,24	A
150	0,30	aA	0,35	aA	0,33	A	0,22	aA	0,27	aA	0,25	A
200	0,25	aA	0,32	aA	0,29	A	0,25	aA	0,22	aA	0,24	A
Médias	0,30	a	0,34	a			0,23	a	0,25	a		
CV (%)	20,96						22,1					

Letras maiúsculas e minúsculas indicam a comparação entre os tratamentos e entre as épocas, respectivamente e quando iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200 correspondem a 25, 50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo, respectivamente
Época 1 (não irrigada) – fev/05, Época 3 (irrigada) – set/06

5 CONCLUSÕES

A não utilização da dose completa do adubo nitrogenado não implicou na queda da produtividade da cana-planta, deste modo o efluente pode ser além de fonte de água uma fonte de N para a cana-planta. A produtividade foi mais elevada nos tratamentos que receberam irrigação quando comparados ao tratamento não irrigado.

O efluente de esgoto tratado não ocasionou alterações na qualidade dos colmos industrializáveis no que diz respeito aos parâmetros industriais e tecnológicos, sendo que o amadurecimento foi de acordo com o previsto para a variedade RB 72454. O elevado fornecimento de K e N via efluente não acarretou atraso na maturação da cana.

Houve um incremento nas concentrações pH, P, Na, B e Fe, e um decréscimo nas concentrações Ca, Mg, K e Cu, ao longo do ciclo da cultura.

Os teores de MO decresceram em todo perfil do solo quando comparadas as médias gerais entre as épocas de amostragem. Com relação às concentrações de CT e NT, não ocorreram alterações entre os tratamentos empregados.

Em geral houve uma tendência de aumento nas concentrações dos constituintes químicos estudados na direção das lâminas menores para as maiores, mesmo quando estas diferenças não foram estatisticamente significativas.

A lâmina de irrigação correspondente a 50 % a mais da capacidade de campo não proporcionou prejuízos ao solo e ao rendimento da cultura.

A necessidade da continuidade dos estudos para que seja possível confirmação dos resultados até agora obtidos e o monitoramento de possíveis alterações negativas que possam vir a ocorrer no sistema solo-planta é evidente, para assegurar, a manutenção da produtividade em patamares apropriados e a viabilidade do uso agrícola do EET.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. p.125-150
- AGUIAR, F.L. Cana-de-açúcar: de gota em gota. In: FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO: Agriannual, 2006: **Anuário da Agricultura Brasileira**, São Paulo, 2006. 227-248p.
- AGUNWANMBA, J.C. Analysis of socioeconomic and environmental impacts of waste stabilization pond and unrestricted wastewater irrigation: interface with maintenance. **Environmental Management**, New York, v.27, p.463-476, 2001.
- 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**, Amsterdam, v.34, p.81-94, 1997.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) Standard methods for the examination for water and wastewater. 20.th ed. Washington, 1999. 1220p.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Suprimento de nutrientes pelo solo e sua absorção pelas plantas. IN: BASSANI, C.A **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. 328p.
- ARTIOLA, J.F.; PEPPER, I.L. Longterm influence of liquid sewage sludge on the organic carbon and nitrogen content of a furrow-irrigated desert soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.14, p.30-36, 1992.
- AZEREDO, D.F. BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta – doses e fracionamento. **STAB – Açúcar, Alcool e subprodutos**, Piracicaba, v.4, p.25-29, 1986.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1978. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BEAUCLAIR, E.G.F. **Produtividade da cana-de-açúcar em função de alguns macronutrientes presentes no caldo e no solo**. 1994. 98p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v.71/72, p.56-62, 2006.
- BISWAS, T.K., HIGGINSON, F.R., SHANNON, I. Effluent nutrient management and resource recovery in intensive rural industries for the protection of natural waters. **Water Science Technology**, Oxford, v.40, n.2, p.19-27, 1999.
- BOND, W.J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.36, p.543-555, 1998.

- BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, New York, v.26, 133-176, 1974.
- BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.113, p.516-535, 1987.
- BURT, P.P.; HESTHWAIT, A.L.; TRUDGILL, S.T. **Nitrate: Processes Patterns and Management**. Chichester: John, 1993. 444p.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo . In: FERREIRA, M.E. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. 89-117p.
- CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.8, n.8, p.24-41, 1990.
- CARNEIRO, A.E.V.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.53, n.2, p.199-200, 1995.
- CASAGRANDE, S.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- COELHO, M.B.; BARBOSA, M.H.P.; MACIEL, M.L. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8; 2002, Recife, **Anais...** Recife: STAB, 2002, p.591-598.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D. OLIVEIRA, G.R. de. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolo, variedades RB 835486 e SP813259. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.24, n.5, p.32-36, 2006.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CONSECANA, Manual Consecana, 4.ed, 24 mar. 2004. (<http://www.portalunica.com.br/acao/cana.jsp>). Acesso em: 01 abr. 2007.
- DALRI, A.B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba, 2006. p.157-170.
- DAWES, L.; GOONETILLEKE, A. An investigation into the role of site and soil characteristics in on site sewage treatment. **Environmental Geology**, New York, v.44, p.467-477, 2003.
- DEMATTE, J.L.I. Recuperação e Manutenção da Fertilidade dos Solos. **Informações Agronômicas. Instituto da Potassa e do Fosfato. Encarte técnico Piracicaba**, Piracicaba, n. 111, p. 1-24, set. 2005.
- ESPIRONELO, A.; GALLO, J.R.; LAVORENTI, A.; IGUE, T. HIROCE, R. Efeitos da adubação NPK nos teores de macronutrientes das folhas de cana-de-açúcar (cana-soca). **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.377-382, 1986.
- FALKINER, R.A.; SMITH, C.J. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.35, p.131-147, 1997.

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

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

FERNANDES, A.C. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. Piracicaba. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, 2003. 240p.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2006**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2006. p.227-248.

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 de Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FONSECA, A.F. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem**. 2005. 174p. (Tese de Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTORIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomical- Environmental Implications and Perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.194-209, 2007.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLI, C.S.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1131-1137, 2001.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.). **Crop – water relations**, New York: John Wiley, 1983. 547p.

GEMENTE, A.C.; PINAZZA, A.H.; BRUGNARO, C.; GUIMARÃES, E.; OLIVEIRA NETO, G.R. de; KRUGLIANSKAS, I.; SBRAGIA, R. Planejamento agrícola. In: BRUGNARO, C.; SBRAGIA, R. **Gerência agrícola em destilarias de álcool**. 2 ed. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1986. p.29-83 (Coleção Planalsucar, 1).

GLOAGUEN, R.A.B.G. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físico-hídricas de um latossolo**. 2005. 119p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GLOAGUEN, T.V. **Tranferências de espécies químicas através de um solo cultivado com milho e girassol e fertirrigação com efluente de esgoto doméstico**. 2006. 113p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

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

GONÇALVES, R. F. (Coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2003, 303p., v.1. (PROSAB).

- GONÇALVES, R.A.B.; FOLEGATTI, M.V.; GLOAGUEN, T.V.; LIBARDI, P.L.; MONTES, C.R.; LUCAS, Y.; DIAS, C.T.S.; MELFI, A.J. Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. **Geoderma**, Amsterdam, v.139, p.241-248, 2007.
- HALLIWELL, D.J.; BARLOW, K.M.; NASH, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.39, p.1259-1267, 2001.
- HERPIN, U.; GLOAGUEN, T.V.; FONSECA, A.F.; MONTES, C.R.; MENDONÇA, F.C.; PIVELI, R.P.; BREULMANN, G.; FORTI, M.C.; MELFI, A.J. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation – A pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, p.105-115, 2007.
- IBRAHIM, L. **Caracterização física, química, mineralógica e morfológica de uma seqüência de solos em Lins/SP**. 2002. 86p. Dissertação (Mestrado na área de Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acessado em: 31 mar. 2007.
- 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**, Sidney, v.45, p.1619-1638, 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.
- KATERJI, N.; VAN HOORN, J.M.; HAMDY, A.; KARAM, F.; MASTRORILLI, M. Effects of salinity on water stress, growth and yield of maize and sunflower. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.30, p.237-249, 1996.
- KORNDORFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.10, n.3, p.26-31, jan./fev. 1992.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, p.1485-1498, 2000.
- LEAL, R.M.P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2007. 109p. Dissertação (Mestrado na área de Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- LOYOLA JUNIOR, E.; PAVAN, M.A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.131-138, 1989.
- MAGRO, J.A. Irrigação em cana. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.19, n.1, p.44-46, set/out, 2000.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS). 1997. 319p.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JUNIOR, L.C. **Tecnologia do açúcar**. Produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 166p.

MATIOLI, C.S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998.121p. Tese (Doutorado na área de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MATIOLI, C.S.; PERES, F.C.; FRIZZONE, J.A. Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1996, 25; CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2. Bauru, 1996. **Anais...** Bauru, 1996. p. 386.

MEENNER, J.C.; MCLAY, C.D.A.; LEE, R. Effects of sodium-contaminated wastewater on soil permeability of two New Zealand soils. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 39, p. 877-891, 2001.

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, 1281-1294, 2003.

MONTES, C.R.; TAKAYUKIKATO, M.; SOUZA, M.A.A.; FILHO, C.; JUNIOR, J.M. Irrigação com esgotos tratados: impactos no solo e no aquífero. In: FLORENCIO, A.; BASTOS, R.K.X.; ASSIE, M.M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. (Coordenador.). Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2006. p.155-200.

MOTA, S.; FONSECA, A.F.; STEFANUTTI, R.; VOLSCHAN, I. JR. NAVAL, L. Irrigação com esgotos tratados sanitário e efeitos nas plantas. In: FLORENCIO, A.; BASTOS, R.K.X.; ASSIE, M.M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. (Coordenador.). Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2006. p.202-238.

MORTVEDT, J.J. Bioavailability of micronutrients. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.D71-D88.

MOZAMBANI, A.E; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Alexandre de Sene Pinto, 2006. p.11-18.

MYERS, R.J.K.; CAMPBELL, C.A.; WEIER, K.L. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.62, p.111-124, 1982.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D.L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical methods**. Madison: Soil Science Society of América/American Society of Agronomy, 1996. pt.3. p.961-1010.

NYBORG, M.; HOYT, P.B. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.58, p.331-338, 1978.

ORLANDO FILHO, J. **Absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Scharum spp.*) variedade CB 41-76, em três grandes grupos de solos no Estado de São Paulo.** 1978. 154p. Tese (Doutorado na área de Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Eds.). **Produção da cana-de-açúcar.** Piracicaba: Fealq/USP, 1993. p.133-146.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JR., E. Influência da adubação N-P-K nas quantidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.96, n.3, p.37-44, 1980.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRANE, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Ácool e Subprodutos**, Piracicaba, v.17, n.4, p.39-41, 1999.

OSTER, J.D. Irrigation with poor quality water. **Agricultural water Management**, Amsterdam, v.25, p.271-297, 1994.

OSTER, J.D.; SHAINBERG, I. Soil responses to sodicity and salinity: challenges and opportunities. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 39, p.1219-1224, 2001.

PAES, J.M.V. **Estudo de espaçamentos e fracionamento de doses de nitrogênio no comportamento de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** 1994. 98p. Tese (Doutorado em Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

PAL, D.; BROADBENT, F.E. Kinetics of rice straw decomposition in soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.4, p.256-260, 1975.

PANAYIOTOPOULOS, K.P.; BARBAYIANNIS, N.; PAPTOLIOS, K. Influence of electrolyte concentration, sodium adsorption ratio, and mechanical disturbance on dispersed clay particle size and critical flocculation concentration in Alfisols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.35, p.1415-1434, 2004.

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

PIVELI, R.P.; DORIA, M.C. Condições Operacionais de Sistemas de Tratamento de Esgoto por Lagoas de Estabilização em Lins/SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, Joinville: ABES, 2003, 1 Cdrom.

POLGLASE, P.J.; TOMKINS, L.G.; STEWARD, L.G.; FALKINER, R.A. Mineralization and leaching of nitrogen in an effluent-irrigated pine plantation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.24, p.911-920, 1995.

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

POTAFOS (INSTITUTO DA POTASSA E DO FOSFATO). Nutri-Fatos: informação agronômica sobre nutrientes para as culturas. **Arquivo Agrônômico**, Piracicaba, n.10, 1-24, 2006.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Latossolo vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.19, n.4, 2001.

QUIRK, J.P. Interparticle forces: a basis for the interpretation of soil physical behavior. **Advances in Agronomy**, New York, v. 53, p.121–183, 1994

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. p.181-204.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).

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

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

RATTAN, R.K.; DATTA, S.P.; CHHONKAR, P.K.; SURIBABU, K.; SINGH, A.K. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater – a case study. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.109, p.310-322, 2005.

REIS JR., R.A.; MONNERAT, P.H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.379-385, 2003.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Austrália. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 11-25, 1996.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu. 1995. 99p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagens matemáticas e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, 304p.

ROSS, D.J.; TATE K.R.; CAIRNS, A.; MEYRICK, K.F.; PANSIER, E.A. Effects of slaughterhouse effluent and water on biochemical properties of two seasonally dry soils under pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 25, p. 341-349, 1982.

SANTOS, A.P.R. dos. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo distrófico cultivado com capim- Tifton 85**. 2004. 79p. Tese (Doutorado na área de Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP), 1974. 55p.

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

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

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

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Alexandre de Sene Pinto, 2006. p.19-36.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, F.C.; CESAR, M.A.A.; CHAVES, J.B.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: SILVA, F.C.; CESAR, M.A.A.; SILVA, C.A.B. Pequenas industrias rurais de cana-de-açúcar. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 155p.

SINGH, U.; UEHARA, G. Electrochemistry of the double layer: principles and applications to soil. In: SPARKS, D.L. (Ed.). **Soil physical chemistry**, 2nd ed., Boca Raton: CRC Press, 1999, p.1-46.

SMITH, C.J.; FRENEY, J.R.; BOND, W.J. Ammonia volatilization from soil irrigated with urban sewage effluent. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.34, p.789-802, 1996.

SMITH, J.H.; PETERSON, J.R. Recycling of nitrogen through land application of agricultural, food processing and municipal wastes. In: STEVENSON, F.J. (Ed.) **Nitrogen in Agricultural Soils**, 2nd ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 1982, p.791-831.

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

SO, H. B.; AYLMORE, L.A.G. How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behaviour. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 31, p. 761-777, 1993.

SOARES, R.A.B.; OLIVEIRA, P.F.M.; CARDOSO, H.R.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELLE, M.G.A.; ROSENFELD, U. Efeito sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em início de safra. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba. v.22, n.4, p.38-41, 2004.

STANFORD, G.; EPSTEIN, E. Nitrogen mineralization-water relations in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v.38, p.99-102, 1974.

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

TILLMAN, R.W.; SURAPANENI, A. Some soil-related issues in the disposal of effluent on land. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 42, p. 225-235, 2002.

TATE, K.R. Respiratory activity of soils irrigated by water and by meatworks effluent: a note. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 16, p. 385-388, 1973.

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, Durban, v.60, n.11, p.593-600, 1976.

TOZE, S. Reuse of effluent water: benefits and risks. **Agricultural water Management**, Amsterdam, v.80, p.147-159, 2006.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar**: três casos estudados com uso do traçador ANTPOT, ¹⁵N. 2000. Tese (Livre docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, Universidade de São Paulo.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BOODEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimative. **Soil Science American Journal**, Madison, v.56, p.105-114, 1992.

VAN DEN BERG, M.; BURROUGH, P.A.; CRIESSEN, P.M. Uncertainties in the appraisal of water availability and consequences for simulated sugarcane yield potentials in São Paulo State, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.81, p.43-55, 2000.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VASCONCELOS, A.C.M. de. O sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.22, n.4, p.16, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas. Instituto da Potassa e do Fosfato**. Encarte técnico Piracicaba, Piracicaba, n.110, p.1-32, 2005.

VITTI, G.C. MALAVOLTA, E.; COUTINHO, E.L.M. Uso de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília, EMBRAPA, 1984, p.215.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas. Instituto da Potassa e do Fosfato**. Encarte técnico Piracicaba, Piracicaba, n. 97, p. 1-16, 2002.

VITTI, G.C.; OLIVEIRA, D.B.; QUINTINO, T.A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**, Piracicaba: Alexandre de Sene Pinto, 2006. p.121-138.

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.

WESTCOT, D.W. **Quality control of wastewater for irrigated crop production**. Rome: Food and Agriculture Organization, 1997. (Water Reports, 10).

WIEDENFELD, R.P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. **Field Crops Research**, Austrália, v.43, p.101-108, 1995.

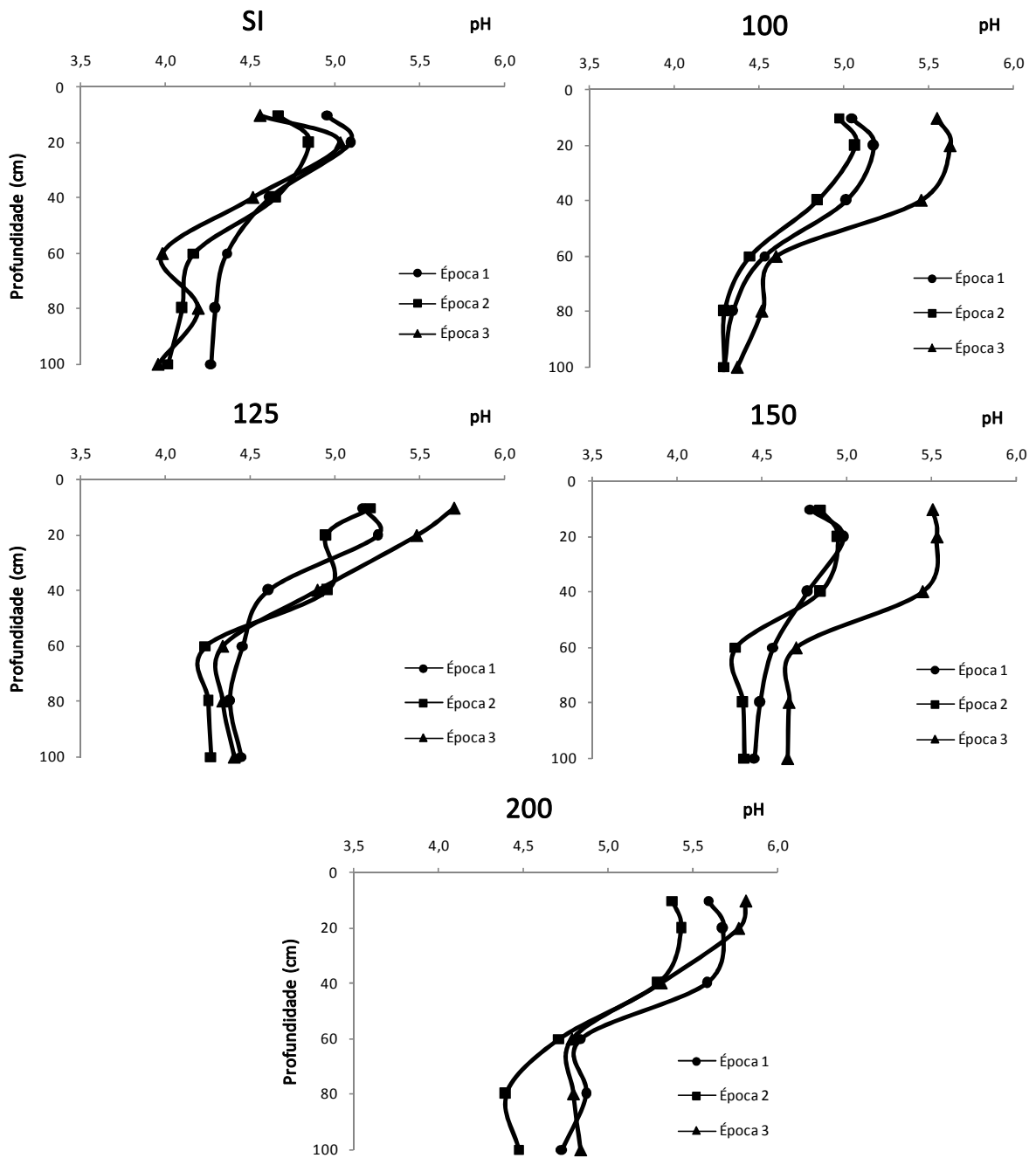
YADAV, R.K.; GOYAL, B.; SHARMA, R.K.; DUBEY, S.K.; MINHAS P.S. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water. A case study. **Environmental International**, Oxford, v.28, p.481-486, 2002.

YANAI, J.; LINEHAN, D.J.; ROBINSON, D.; YOUNG, I.M.; HACKETT, C.A.; KYUMA, K.; KOSAKI, T. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 180, p. 1-9, 1996.

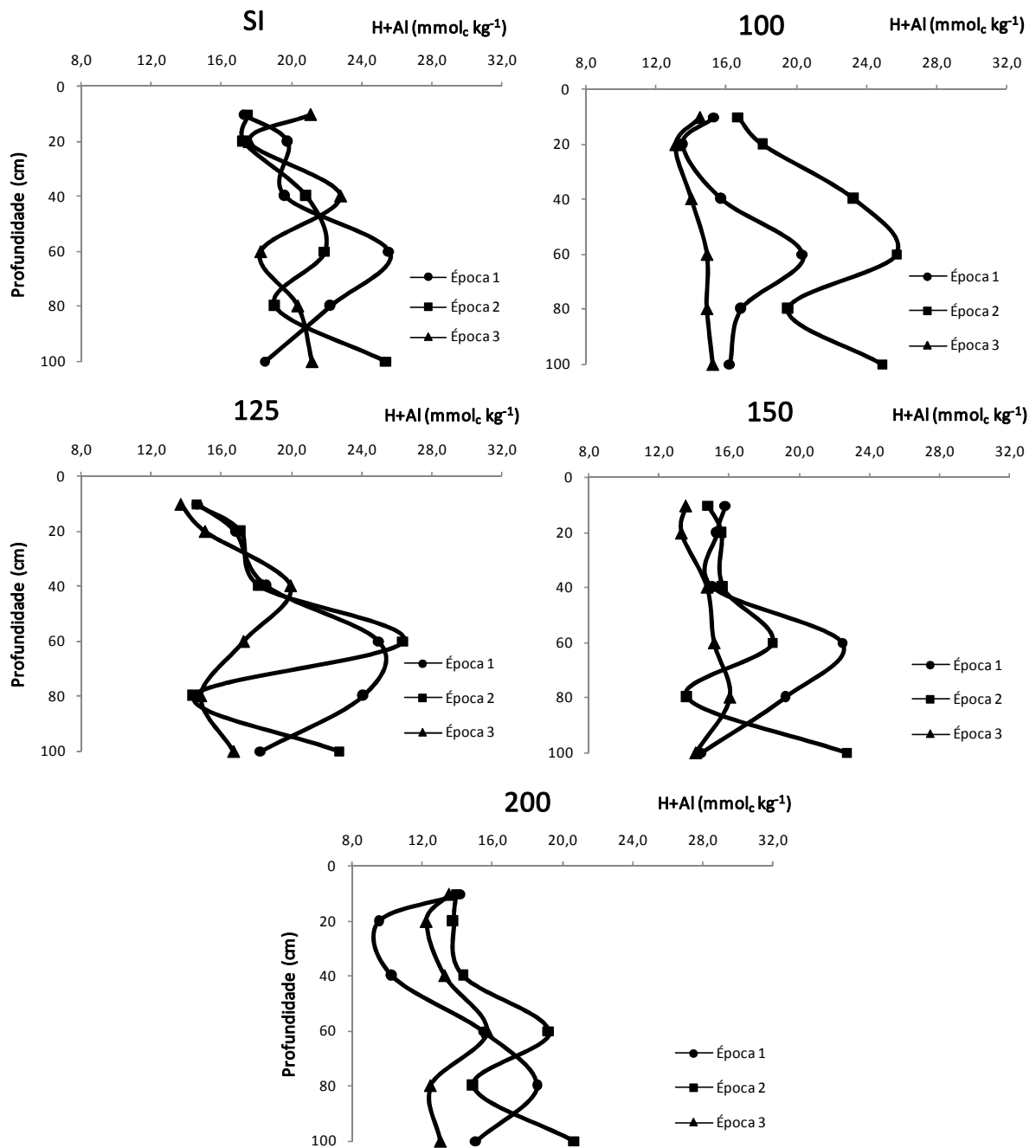
ZEKRI, M.; KOO, R.C.J. Treated municipal wastewater for citrus irrigation. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.17, p.693-708, 1994.

APÊNDICES

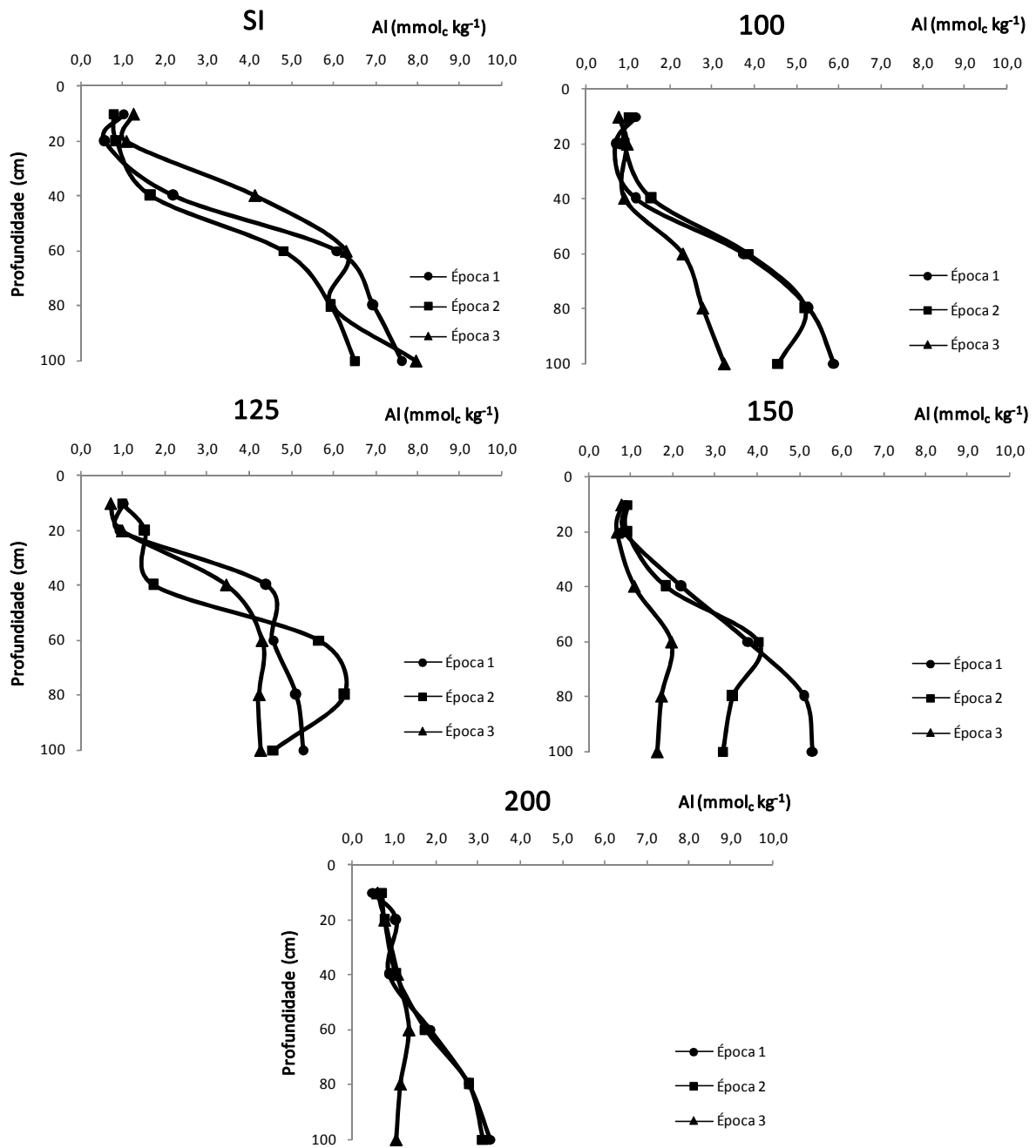
Apêndice A – Alterações nos valores de pH do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



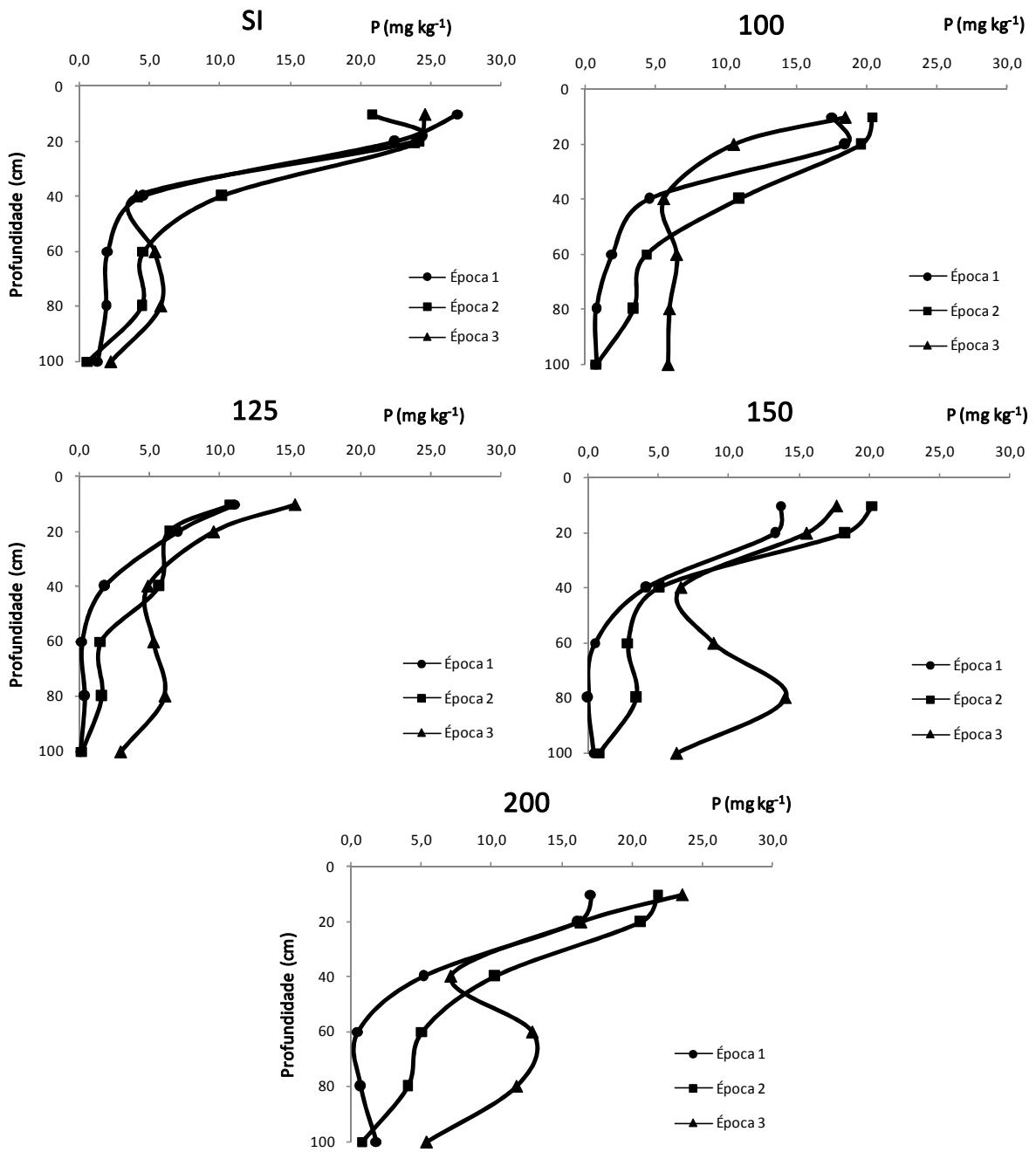
Apêndice B – Alterações nos valores de H+Al do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



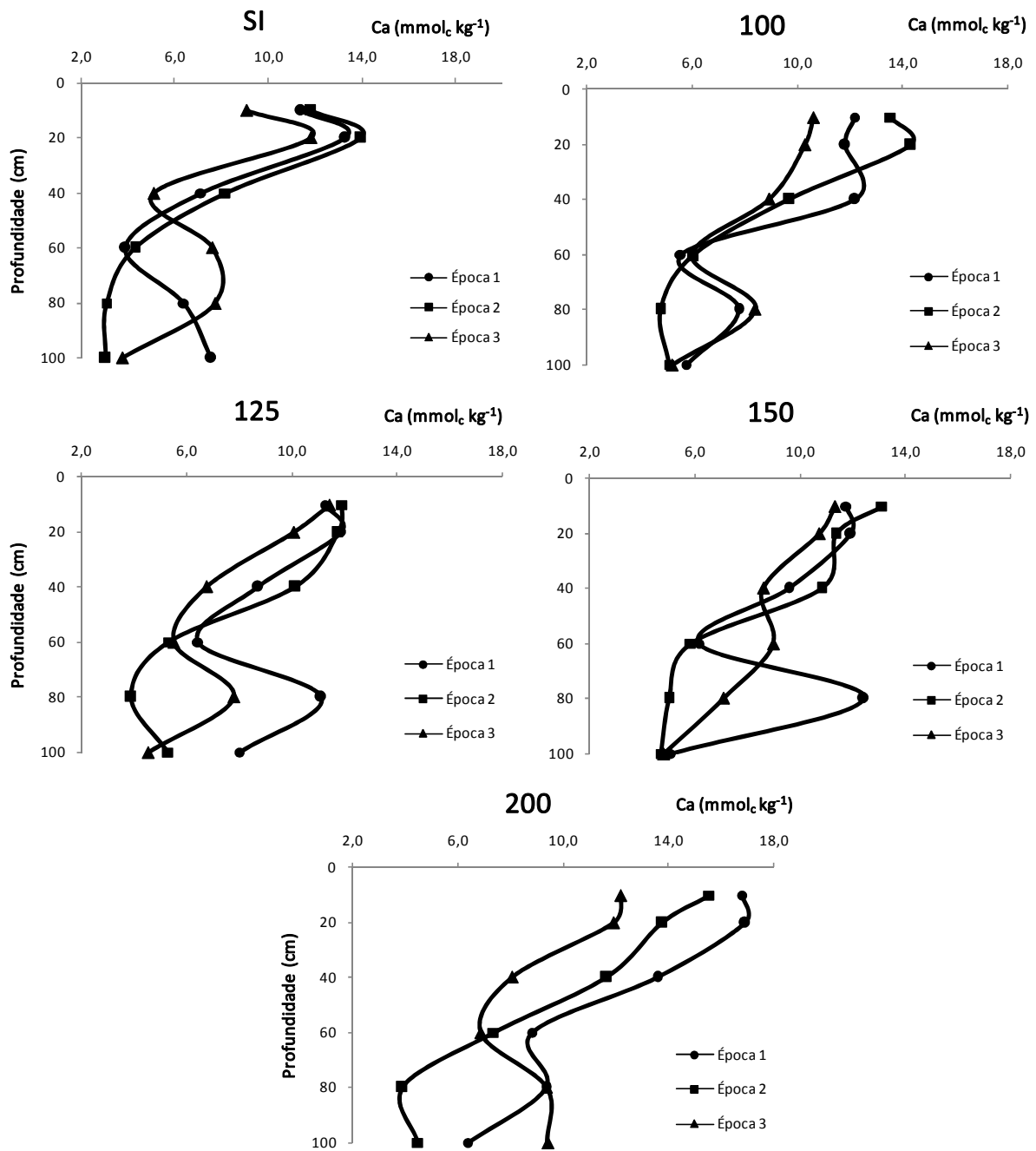
Apêndice C – Alterações nos valores de Al do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



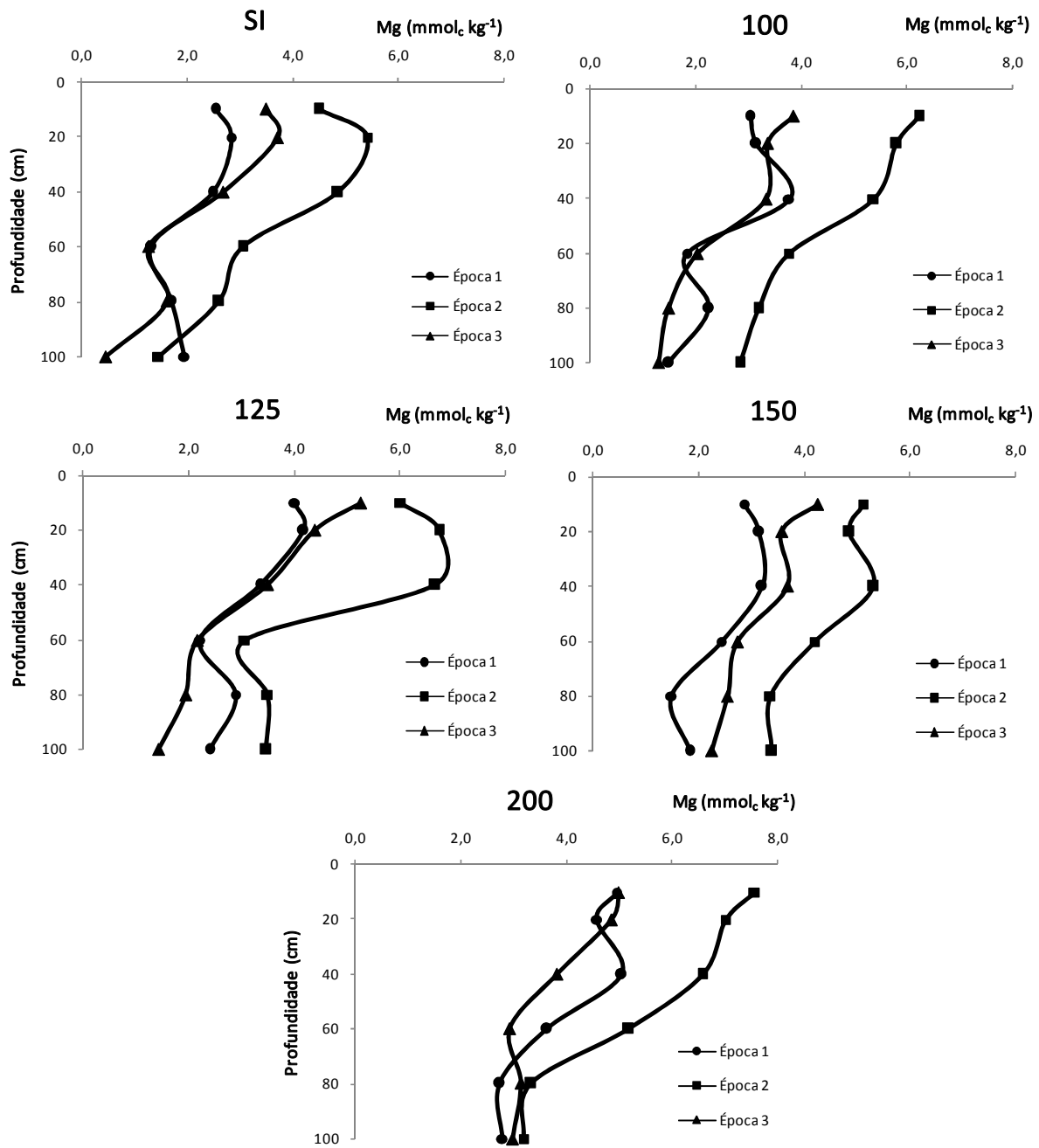
Apêndice D – Alterações nas concentrações de P do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



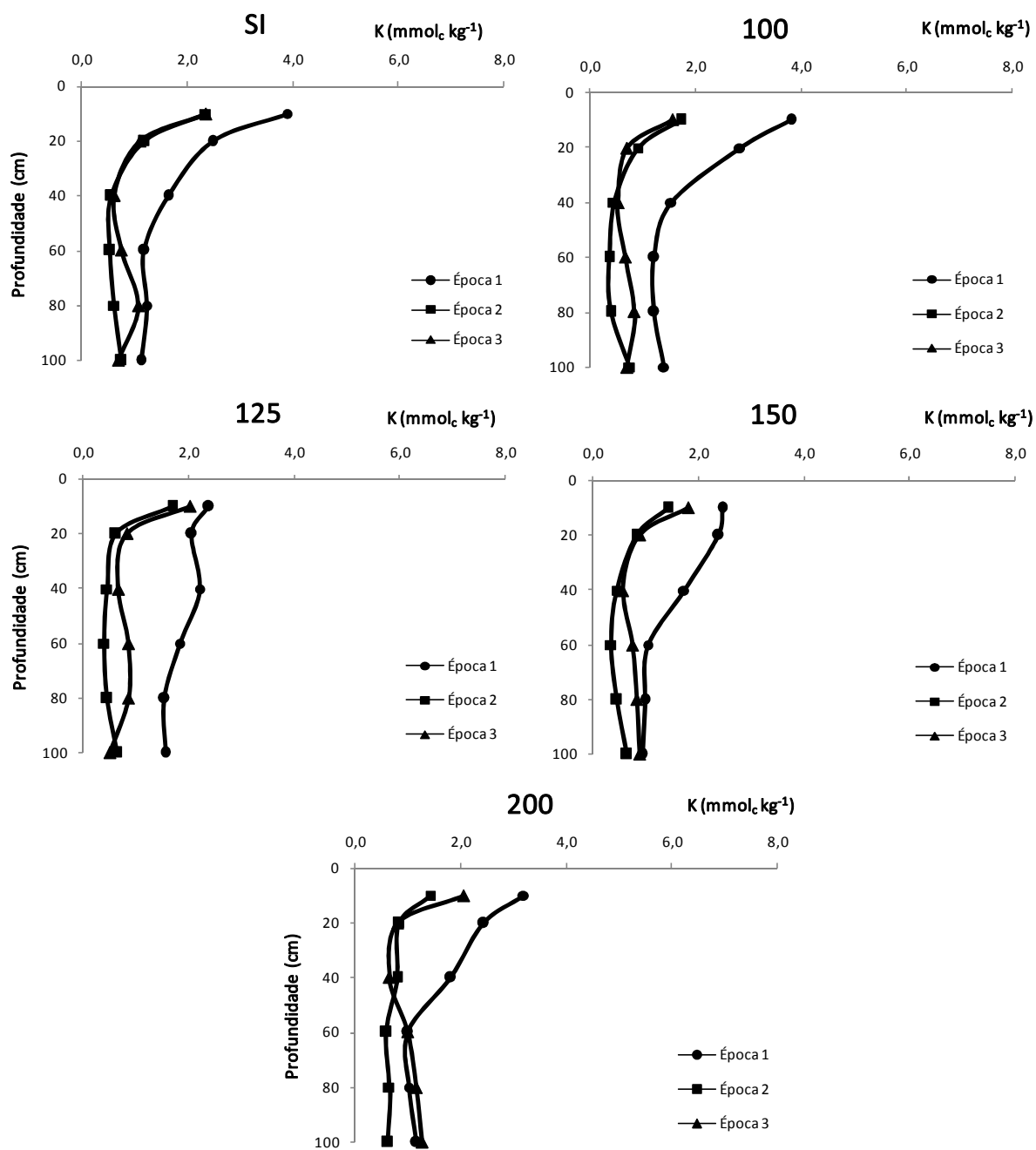
Apêndice E – Alterações nas concentrações de Ca do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



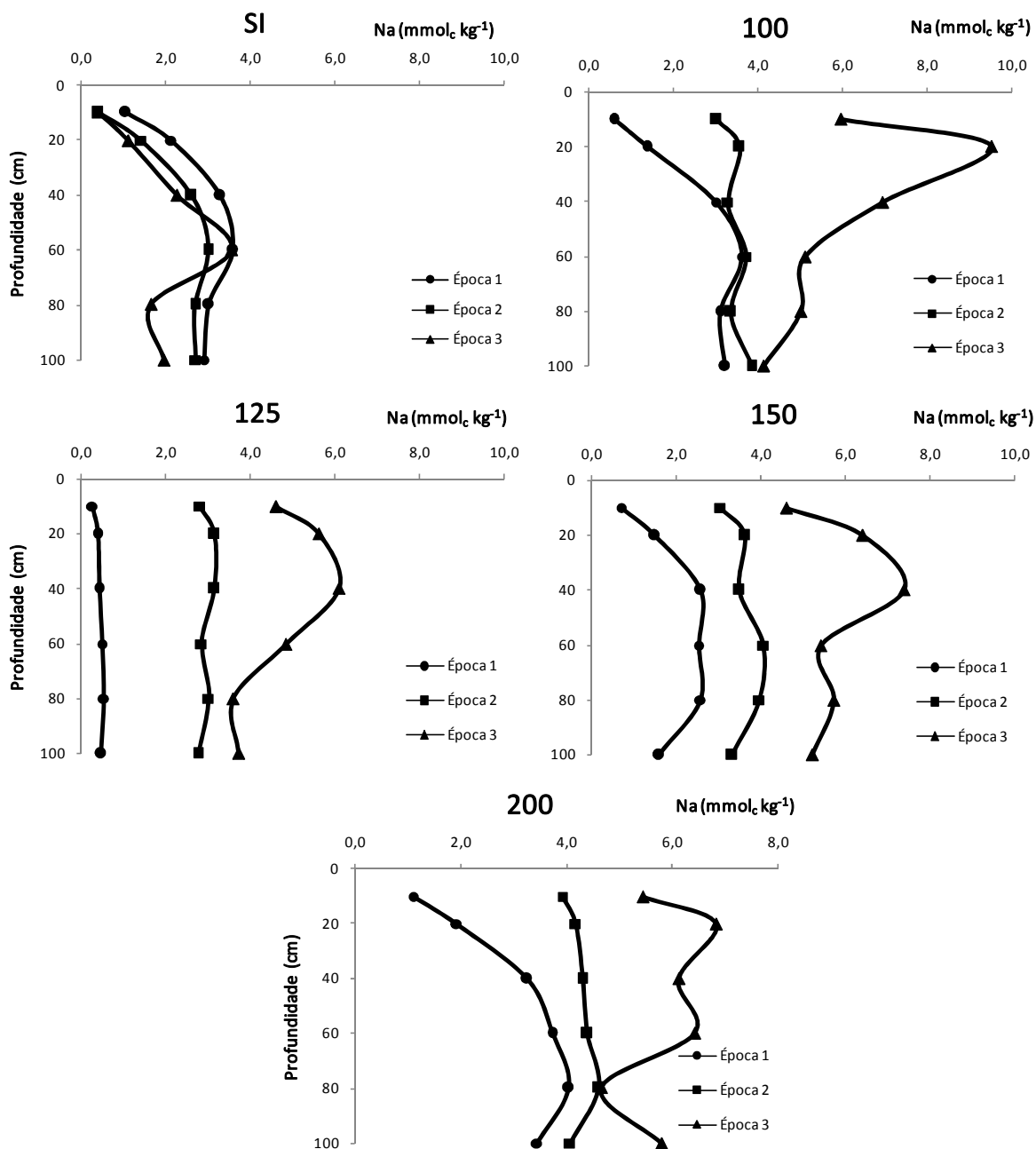
Apêndice F – Alterações nas concentrações de Mg do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



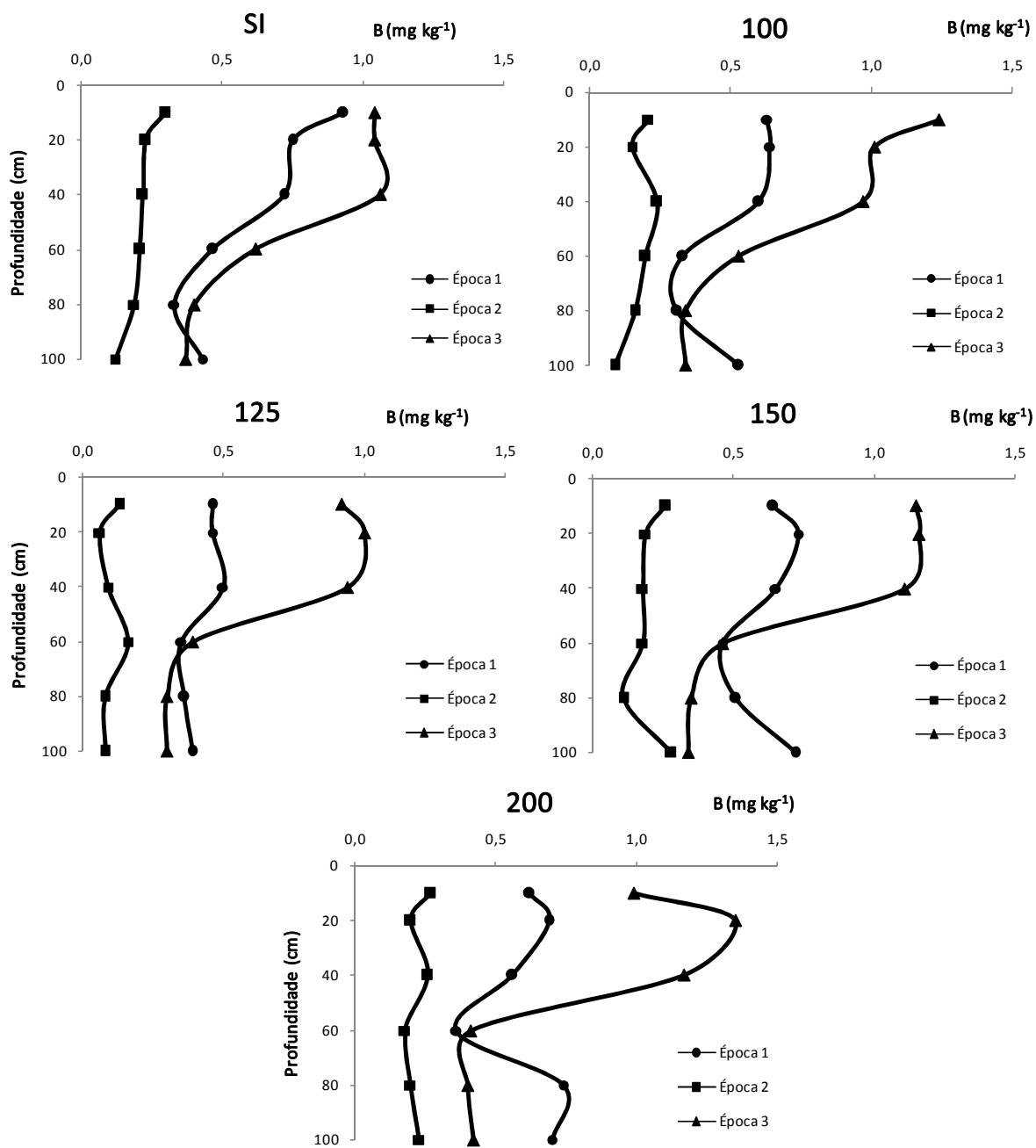
Apêndice G – Alterações nas concentrações de K do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



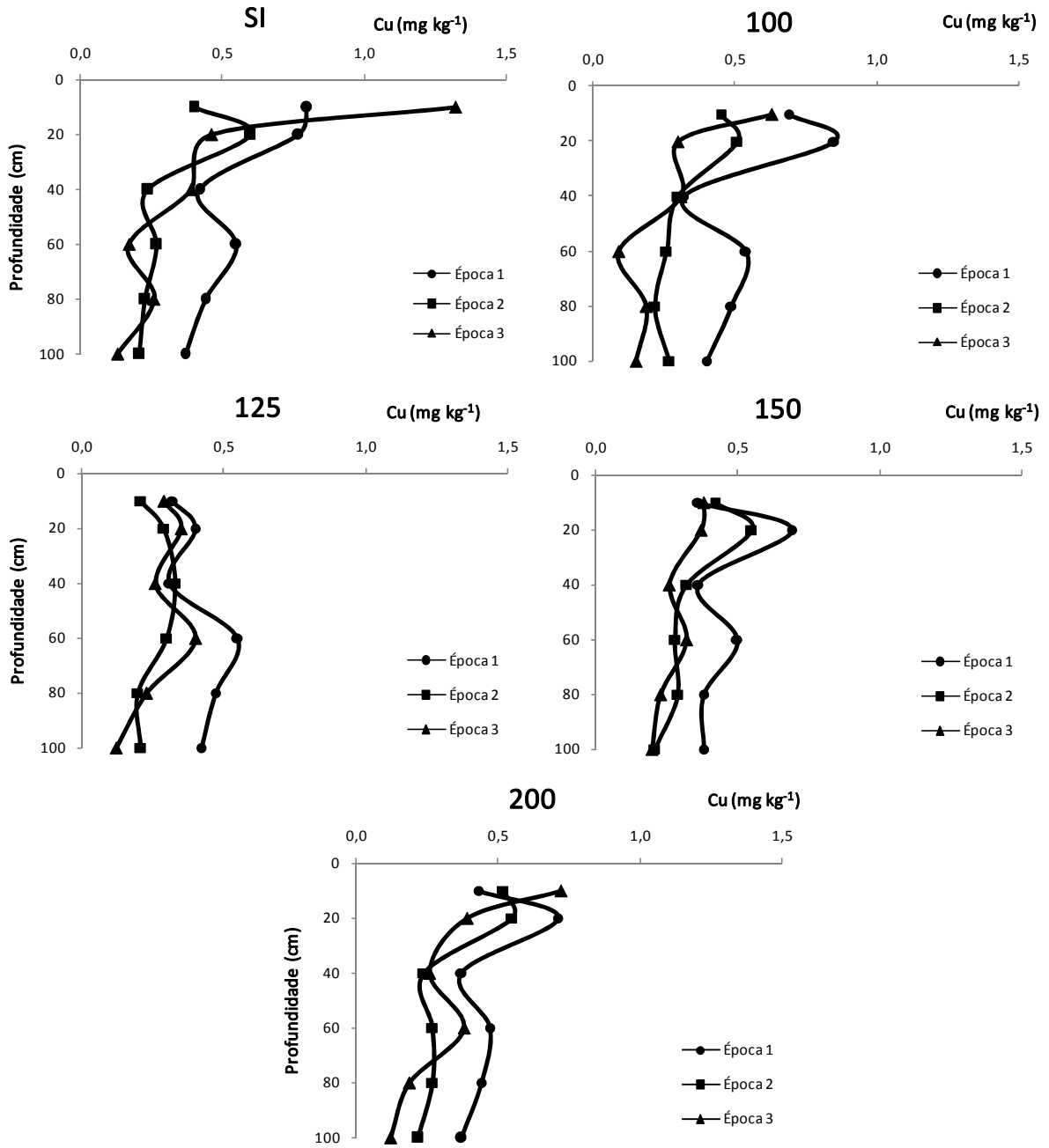
Apêndice H – Alterações nas concentrações de Na do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



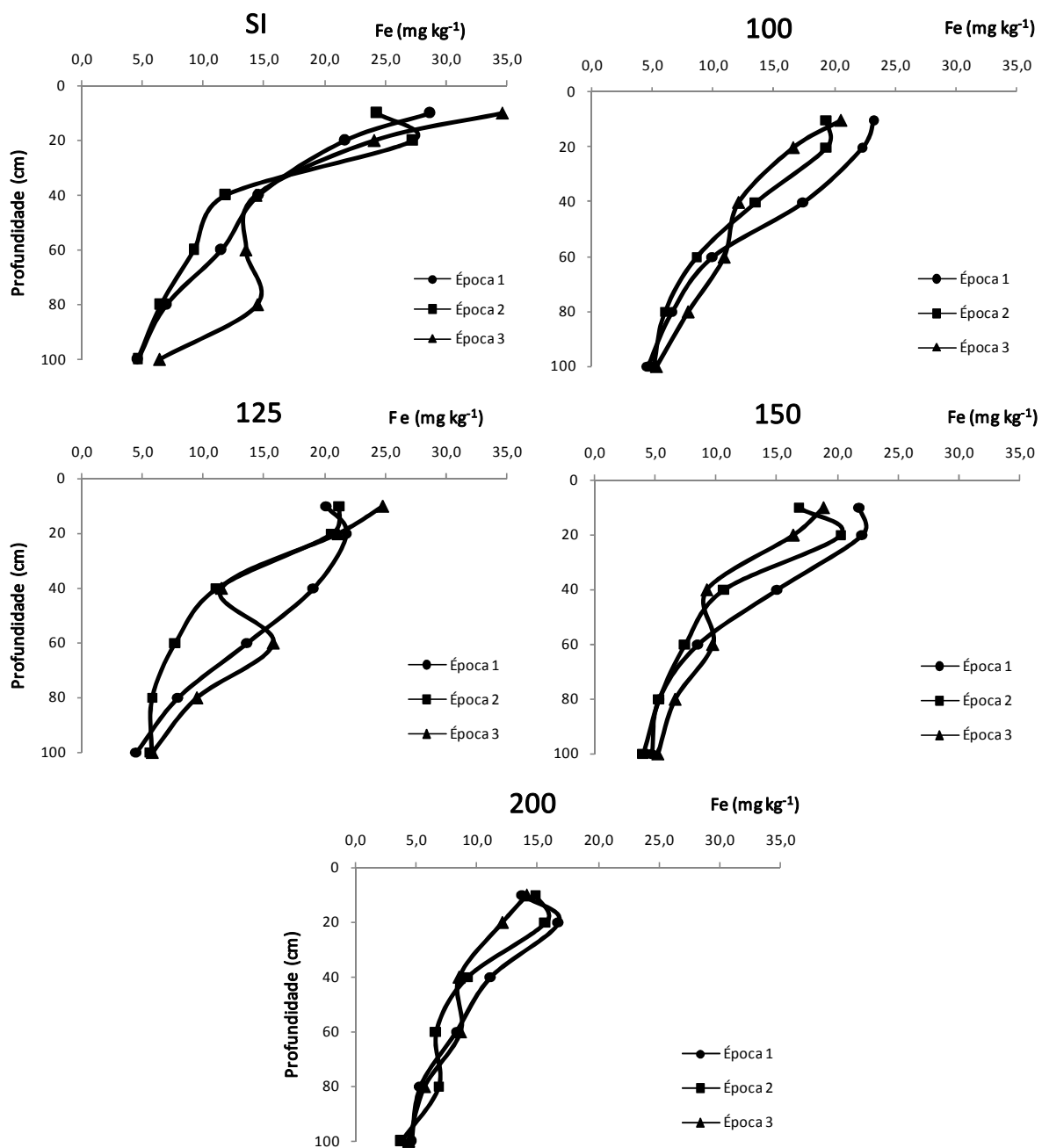
Apêndice I – Alterações nas concentrações de B do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



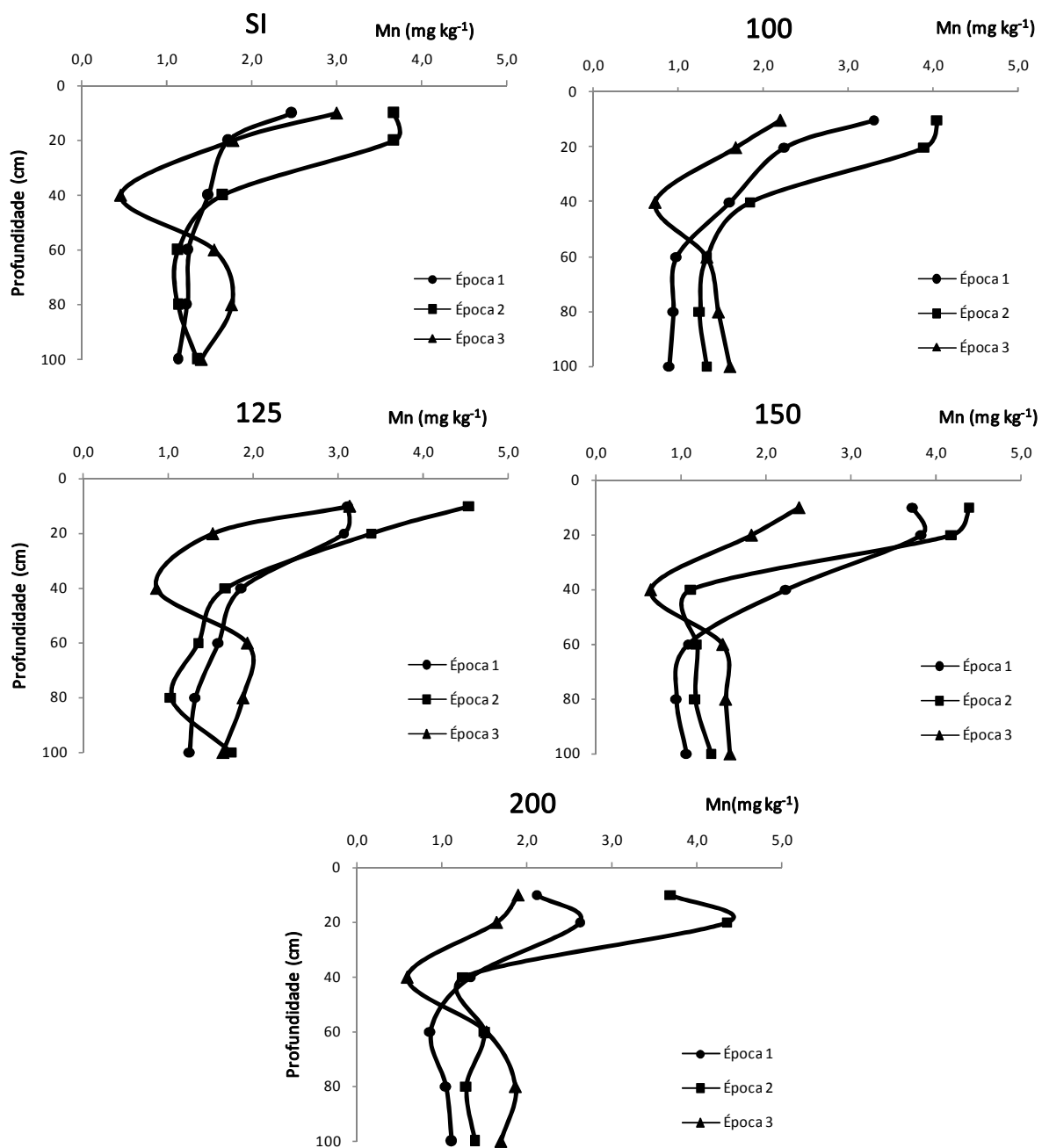
Apêndice J – Alterações nas concentrações de Cu do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



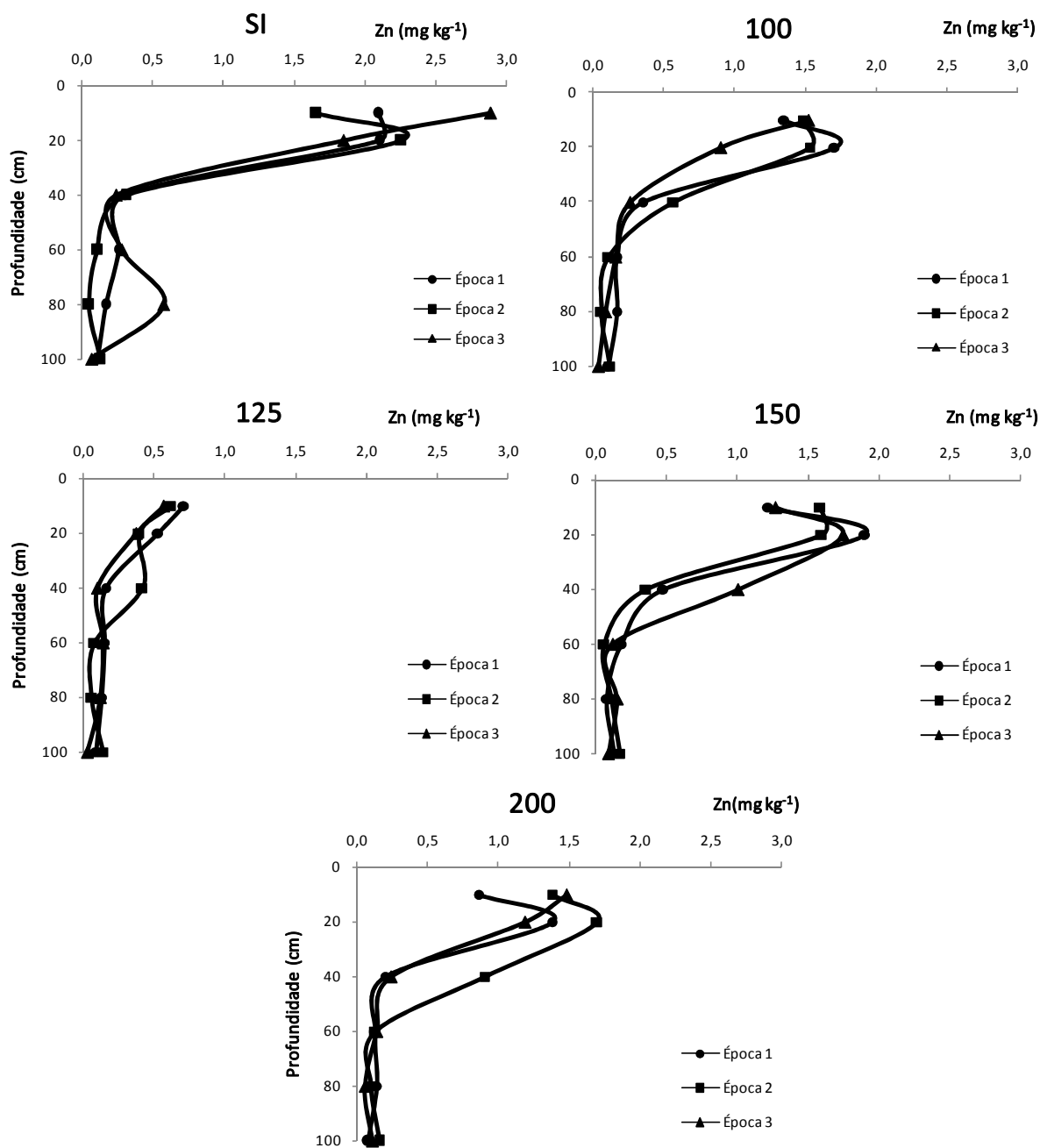
Apêndice K – Alterações nas concentrações de Fe do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



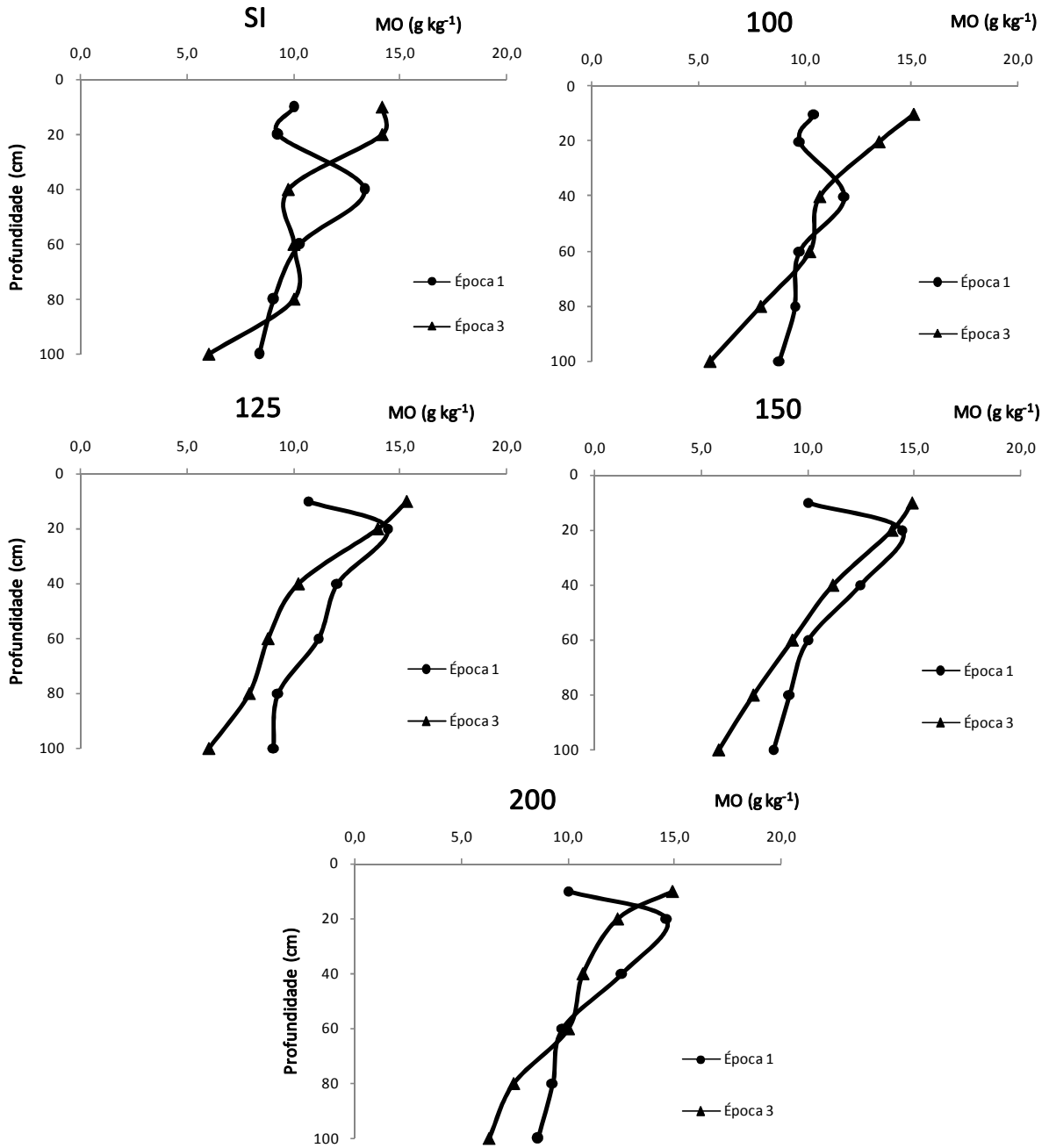
Apêndice L – Alterações nas concentrações de Mn do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



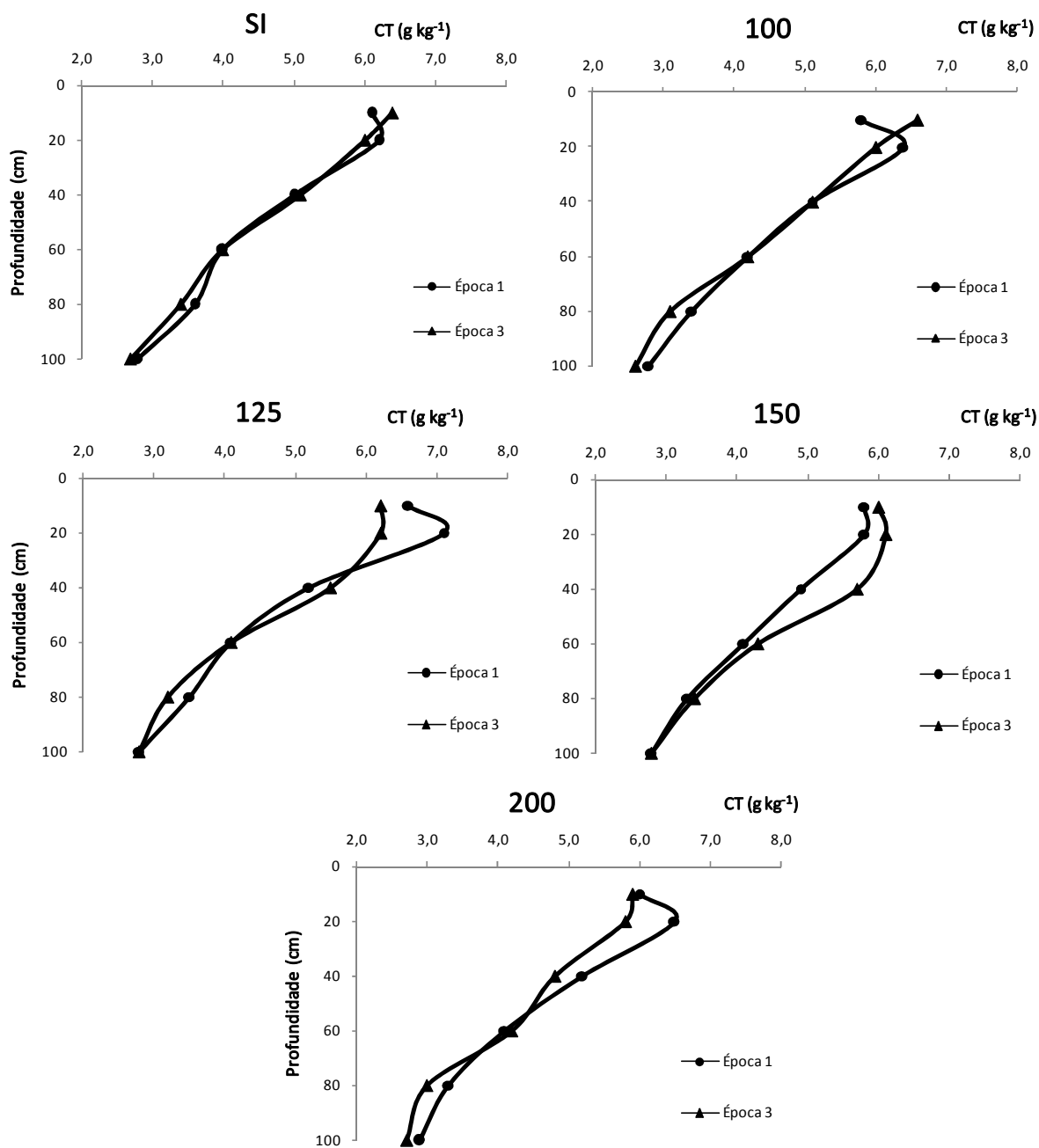
Apêndice M – Alterações nas concentrações de Zn do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05, Época 2: dez/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



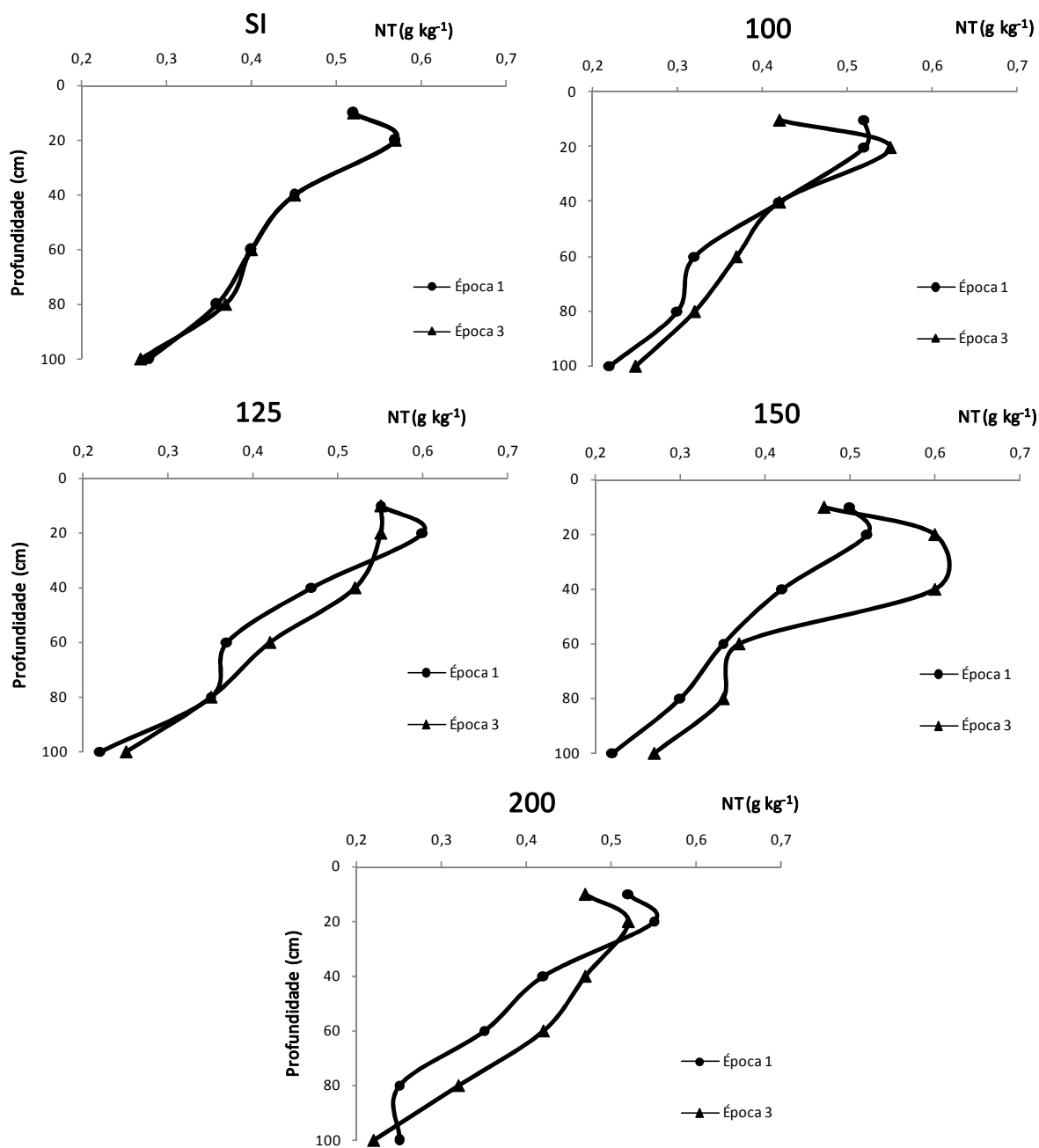
Apêndice N – Alterações nos teores de MO do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



Apêndice O – Alterações nos teores de CT do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



Apêndice P – Alterações nos teores de NT do solo nas épocas de amostragem (Época 1: fev/05 e Época 3: set/06). SI: sem irrigação; 100: umidade do solo na capacidade de campo; 125, 150 e 200: correspondem a 25,50 e 100% a mais da umidade do solo na capacidade de campo



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)