

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

**DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM DOIS SOLOS CULTIVADOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp) E IRRIGADOS POR
SULCO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

KELLY ANSELMO DE SOUZA

CRUZ DAS ALMAS – BA

AGOSTO – 2013

DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM DOIS SOLOS CULTIVADOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp) E IRRIGADOS POR
SULCO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

KELLY ANSELMO DE SOUZA

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2011

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos

Co-Orientador: Dr. Welson Lima Simões

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA -2013

FICHA CATALOGRÁFICA

S729

Souza, Kelly Anselmo de.

Distribuição de nutrientes em dois solos cultivados com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e irrigados por sulco no Submédio São Francisco / Kelly Anselmo de Souza._ Cruz das Almas, BA, 2013.

109f.; il.

Orientador: Jorge Antonio Gonzaga Santos.

Coorientador: Welson Lima Simões.

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

1.Solos – Manejo. 2.Solos – Irrigação – Nutrientes.
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.
II.Título.

CDD: 631.51



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
KELLY ANSELMO DE SOUZA

Membro Presidente: Prof. Dr. Welson Lima Simões
Instituição: Embrapa Semiárido - CPATSA

Membro Externo ao Programa: Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira
Instituição: UFRB

Membro Externo ao Programa: Prof. Dra. Roberta Alessandra Bruschi Gonçalves Gloaguen
Instituição: UFRB

Homologada em / / .

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Vida

Aos meus pais, Aloisio Santos de Souza, Elenivan Anselmo de Melo Souza e Lelita Gonçalves Cardoso, pelo amor incondicional.

A meu querido irmão Cristiano Anselmo de Souza e minhas tias Helenice e Ednalva Anselmo de Melo Souza os quais amo muito.

A Ruan Túlio Monção Araújo pelo carinho, paciência e incentivo.

A meu afilhado Vinícius pelos momentos de distração que me faziam esquecer dos compromissos.

A Dr. Antônio da Silva Souza pela amizade, carinho, atenção e confiança. Uma pessoa que sempre me ajudou e que amo muito.

A todos os membros do Centro Espírita Centelha de Luz.

A meu orientador Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos pela atenção, orientação e sugestões dadas ao trabalho.

A meu co-orientador Welson Simões mesmo estando longe esteve sempre procurando ajudar.

Aos meus amigos em especial Márcia do Carmo, Mariane de Jesus, Karine Simões, Lia, Any, Alana, Jamile Oliveira, Carlos Henrique, Lucas da Hora, Laurimar e Fau pela amizade, companhia, aprendizado e bons momentos.

Aos meus professores de mestrado Dr. Eugênio Ferreira Coelho, Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira, Dr. Áureo Silva de Oliveira, Dr. Carlos Ledo e Dr. Vital Pedro da Silva Paz, pela dedicação, ensinamentos e empenho na transmissão de conhecimentos.

A meu professor de graduação e amigo Magalhães "Magá".

Aos amigos e colegas de pós-graduação em da área de concentração - Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas: Fredson Pátria, Bruce

Pamponet, Maria Augusta Bione, Rosângela Ribeiro, Lucylia Suzart, Murilo Anderson, Gustavo Sobral, Jamile Nascimento, Ana Carina Pires, Arthur Pamponet e Jussimar Rocha, pela contribuição e amizade.

Aos funcionários da UFRB, Mairi (NEAS), Boi, Renato e Cristino pela amizade e carinho.

Aos amigos, colegas e técnicos do laboratório de Metais Pesados (UFRB): Emylly, Capela, Marcos, Edson, Marcela, Adriana, Vanessa, Flávia, Rogério, Samir, Renata, Laura, e especialmente Verônica pelo convívio e alegria.

Aos graduando em Biologia da UPE e estagiários da EMBRAPA Semiárido Moisés, Pedro Paulo e com carinho especial a Jair Lima, pela atenção e ajuda nos trabalhos em campo.

A José Augusto Sacramento por todos os artigos encontrados.

A Empresa AgroVale pela oportunidade de desenvolver a pesquisa, em especial a Dr. Monteiro e sua equipe que se tornaram anjos. Sem eles talvez não conseguisse entregar a versão final.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade do tempo dedicado.

E por fim, não poderia deixar de lembrar do psicanalista que ajudou-me no momento que mais precisava.

Para não pecar por omissão, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho e que porventura não foram citados, meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigada!

CAPÍTULO 1

**DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM DOIS SOLOS CULTIVADOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp) E IRRIGADOS POR
SULCO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

SUMÁRIO

RESUMO:.....	16
ABSTRACT:	17
1- INTRODUÇÃO	18
2 - MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 - EXPERIMENTO I: MOBILIDADE DE NUTRIENTES EM DOIS SOLOS DO SEMIÁRIDO BAIANO CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR SULCO.....	25
2.1.1 <i>Delineamento Experimental</i>	25
2.1.2 <i>Adubação mineral e análise química dos solos</i>	26
2.1.3 <i>Dados climatológicos</i>	29
2.1.4 <i>Água no solo</i>	33
2.1.5 <i>Análise química da água</i>	40
2.1.6 <i>Análise estatística</i>	41
2.2 - EXPERIMENTO II: CARREAMENTO DE NUTRIENTES PELA ÁGUA EM SULCOS DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR (<i>SACCHARUM SPP</i>).....	42
2.2.1 <i>Delineamento experimental</i>	42
2.2.2 <i>Coleta e análise de água</i>	42
2.2.3 <i>Análise estatística</i>	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1 - EXPERIMENTO I: MOBILIDADE DE NUTRIENTES EM DOIS SOLOS DO SEMIÁRIDO BAIANO CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR SULCO.....	45
3.1.1 <i>Cátions básicos e pH</i>	45
3.1.2 <i>Matéria orgânica e fósforo</i>	54
3.1.3 <i>Micronutrientes</i>	61
3.2 - EXPERIMENTO II: CARREAMENTO DE NUTRIENTES EM SOLOS DO SEMIÁRIDO BAIANO IRRIGADO POR SULCO E CULTIVADO POR CANA-DE-AÇÚCAR.	87
4. CONCLUSÕES	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Layout dos locais de amostragem no sulco de irrigação, Juazeiro, Bahia.	26
Figura 2. Foto do carrinho de mão adaptado (2a), distribuição do adubo na linha de irrigação (2b) e amostragem de solo (2c).	26
Figura 3. Curva de retenção de água no solo, representando a média da camada de 0 a 80 cm de profundidade no Vertissolo e Argissolo.	27
Figura 4. Temperatura máxima, mínima e média (°C) durante o período experimental.	30
Figura 5. Número de hora de luz por dia durante o período experimental.	30
Figura 6. Precipitação pluviométrica (mm) durante o período experimental.	31
Figura 7. Umidade relativa do ar (%) durante o período experimental.	31
Figura 8. Evaporação (mm) em Tanque Classa A, durante o período experimental.	32
Figura 9. Foto da calha Parshall utilizada no teste de campo, e sua equação de calibração.	33
Figura 10. Curvas de infiltração acumulada para um Vertissolo cultivado com cana de açúcar, por irrigação por sulco. Juazeiro, Bahia.	34
Figura 11. Curvas de infiltração acumulada para um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar irrigada por sulco. Juazeiro, Bahia.	34
Figura 12. Curva de velocidade de infiltração da água no solo em função do tempo para um solo da classe Vertissolo cultivado com cana de açúcar irrigada por sulco, Juazeiro, Bahia.	35
Figura 13. Curva de velocidade de infiltração da água no solo em função do tempo para um solo da classe Argissolo cultivado com cana de açúcar irrigada por sulco, Juazeiro, Bahia.	35
Figura 14. Croqui das áreas experimentais, onde foram realizadas as coletas.	42
Figura 15. Valores médios da soma de Ca, Mg e K em três locais no sulco de irrigação (L ₅ , L ₅₀ e L ₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	49
Figura 16. Valores médios da soma de Ca, Mg e K em três locais no sulco de irrigação (L ₅ , L ₅₀ e L ₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da	

adubação e irrigação, em ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	50
Figura 17. Valores médios de saturação por sódio (%) em três locais no sulco de irrigação (L ₅ , L ₅₀ e L ₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	51
Figura 18. Valores médios de saturação por sódio (%) em três locais no sulco de irrigação (L ₅ , L ₅₀ e L ₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	52
Figura 19. Valores médios de matéria orgânica (mg kg ⁻¹) em função da profundidade (cm) para épocas antes da adubação e irrigação (E1) e depois da adubação e irrigação (E2), em Vertissolo e Argissolo, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	56
Figura 20. Distribuição de zinco (mg dm ⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A -L ₅ – 5 m do início da linha; B -L ₅₀ – 50 m do início da linha e C -L ₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P ₁₀ – 0-10; P ₂₀ – 10-20; P ₄₀ – 20-40; P ₆₀ – 40-60 e P ₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	63
Figura 21. Distribuição de zinco (mg dm ⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A -L ₅ – 5 m do início da linha; B -L ₅₀ – 50 m do início da linha e C -L ₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P ₁₀ – 0-10; P ₂₀ – 10-20; P ₄₀ – 20-40; P ₆₀ – 40-60 e P ₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	66
Figura 22. Distribuição de cobre (mg dm ⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A -L ₅ – 5 m do início da linha; B -L ₅₀ – 50 m do início da linha e C -L ₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco	

profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia. 71

Figura 23. Distribuição de **cobre** (mg dm⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia. 72

Figura 24. Distribuição de **ferro** (mg dm⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A-L₅ – 5 m do início da linha; B-L₅₀ – 50 m do início da linha e C-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia. 80

Figura 25. Distribuição de **ferro** (mg dm⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L₅ – 5 m do início da linha; L₅₀ – 50 m do início da linha e L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia. 81

Figura 26. Distribuição de **ferro** (mg dm⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia. 82

Figura 27. Distribuição de **manganês** (mg dm⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira

irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A-L ₅ – 5 m do início da linha; B-L ₅₀ – 50 m do início da linha e C-L ₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P ₁₀ – 0-10; P ₂₀ – 10-20; P ₄₀ – 20-40; P ₆₀ – 40-60 e P ₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	84
Figura 28. Distribuição de manganês (mg dm ⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A-L ₅ – 5 m do início da linha; B-L ₅₀ – 50 m do início da linha e C-L ₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P ₁₀ – 0-10; P ₂₀ – 10-20; P ₄₀ – 20-40; P ₆₀ – 40-60 e P ₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	85
Figura 29. Valores médios de condutividade elétrica (CE) na água de irrigação antes de entrar no sulco (Entrada) e água de drenagem no final do sulco (Saída) para três eventos de irrigação de solos semiáridos cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	88
Figura 30. Valores médios de sódio, sulfatos e cloretos (mmol _c L ⁻¹) presentes na água de drenagem de solos semiáridos cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.	90
Figura 31. Valores médios potássio (K ⁺) em mmol _c L ⁻¹ presentes na água de irrigação antes de entrar no sulco (Entrada) e na água de escoamento no final do sulco (Saída) para três eventos de irrigação em dois solos do semiárido, cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.	91
Figura 32. Valores médios de magnésio e cloretos (mmol _c L ⁻¹) presentes na água de irrigação antes de entrar no sulco de irrigação (Entrada) e após passar pelo sulco (Saída) de solos semiáridos cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.	92
Figura 33. Valores médios de Relação de Adsorção de Sódio (RAS) da água de drenagem para Vertissolo e Argissolo cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.	93
Figura 34. Valores médios de pH antes de entrar no sulco de irrigação e na drenagem final do sulco para as três irrigações realizadas no Vertissolo e Argissolo, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.	94

Figura 35. Valores médios de cálcio (Ca) em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ presentes na água de irrigação do Vertissolo e Argissolo cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia..... 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química por profundidade **(a)** e análise físico-hídrica **(b)** para a camada de 0-80 cm do Vertissolo e Argissolo cultivados com cana-de-açúcar, antes da adubação..... 28

Tabela 2. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Vertissolo**, correspondente ao trecho de 0 a 20 m, Juazeiro – Ba.....36

Tabela 3. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Vertissolo**, correspondente ao trecho de 60 a 80 m, Juazeiro – Ba.....37

Tabela 4. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Argissolo**, correspondente ao trecho de 0 a 20 m, Juazeiro – Ba.....38

Tabela 5. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Argissolo**, correspondente ao trecho de 70 a 90 m, Juazeiro– Ba.....39

Tabela 6. Análise química das águas aplicada nas três irrigações para cada solo (Vertissolo e Argissolo)..... 41

Tabela 7. Características químicas e metodologias utilizadas para as análises de água das amostras coletadas..... 43

Tabela 8. Concentração média de pH, Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em cinco profundidades de 0 a 80 cm e três locais ao longo do sulco de irrigação (**L₅** – 5 m do início da linha; **L₅₀** – 50 m do início da linha e **L₉₅** – 95 m do início da linha) para Vertissolo e Argissolo, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia. 48

Tabela 9. Valores médios de **sódio** ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (Época 1 – antes da adubação; Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; Época 3 – após a segunda irrigação e Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 53

Tabela 10. Valores médios de **fósforo** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (Época 1 – antes da adubação; Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; Época 3 – após a segunda irrigação e Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 59

Tabela 11. Valores médios de **matéria orgânica** (g kg^{-1}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (Época 1 – antes da adubação; Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; Época 3 – após a segunda irrigação e Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 60

Tabela 12. Valores médios de **zinco** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 67

Tabela 13. Valores médios de **cobre** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha)

e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 73

Tabela 14. Valores médios de **ferro** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 83

Tabela 15. Valores médios de **manganês** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 86

Tabela 16. Coeficiente de correlação parcial para cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na^+), potássio (K^+), bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloretos (Cl^-), em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; pH; condutividade elétrica, em dS m^{-1} (CE) e relação de adsorção de sódio, em $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$ (RAS)..... 89

Tabela 17. Valores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloretos (Cl^-), pH, condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS) na água antes de entrar no sulco de irrigação (Entrada) e depois de passar pelo sulco (Saída) para três irrigações realizadas em Vertissolo e Argissolo, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia..... 96

DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES EM DOIS SOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*) E IRRIGADOS POR SULCO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Autora: Kelly Anselmo de Souza

Orientador: Jorge Antonio Gonzaga Santos

RESUMO: Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito das irrigações por sulco na mobilidade de nutrientes no perfil do solo e na linha de irrigação em dois solos do semiárido cultivados com cana-de-açúcar. O trabalho foi realizado na Empresa Agrovale, localizada no município de Juazeiro, Bahia. Para avaliação da mobilidade dos nutrientes no solo, os tratamentos foram compostos por quatro fatores, com três repetições: dois tipos de solo (Vertissolo e Argissolo); cinco profundidades de amostragem (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm); três locais da linha de irrigação (5; 50 e 95 m depois de iniciar o sulco) e quatro épocas de avaliação (E1 – antes da adubação; E2, E3 e E4 – após a primeira, segunda e terceira irrigação depois da adubação, respectivamente). Para avaliação do carreamento de nutrientes, considerou-se um delineamento 2 x 2 x 3, sendo dois solos; dois locais de amostragem (antes da entrada do sulco e água de drenagem) e três épocas de avaliação (na primeira, segunda e terceira irrigação). Nas amostras de solo, foram avaliados pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , MO, P, Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2} e Mn^{+2} . Nas amostras de água, determinaram-se os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} e Cl^- , o pH, a CE e a RAS. Os resultados foram submetidos à ANAVA a 5% de probabilidade. Os maiores teores de MO e P foram encontrados nas primeiras profundidades, bem como dos micronutrientes Zn, Mn e Cu. Os teores de cátions básicos e o pH foram influenciados pelo local e profundidade de amostragem e a concentração da soma de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ foi maior no final do sulco de irrigação para o Argissolo. A irrigação por sulco proporciona efeitos no carreamento e na lixiviação dos nutrientes para os dois solos estudados. A quantidade de íons carregados e perdidos na drenagem é inversamente proporcional a capacidade tampão dos solos, sendo a maior perda de elementos na primeira irrigação após a adubação.

Palavras-chave: Carreamento, lixiviação, água.

NUTRIENT DISTRIBUTION IN TWO SOILS CULTIVATED WITH SUGAR CANE (*Saccharum spp*) AND IRRIGATED BY FURROWS IN SAN FRANCISCO SUBMÉDIO

Author: Kelly Anselmo de Souza

Advisor: Jorge Antonio Gonzaga Santos

ABSTRACT: The objective of this work to evaluate the effect of furrow irrigation on nutrient mobility in the soil profile and in the irrigation line in two semi-arid soils cultivated with sugarcane. The work was carried out on Company Agrovale, located in the municipality of Juazeiro, Bahia. To assess the mobility of nutrients into the soil, the treatments were composed of four factors, with three repetitions: two soil types (Vertisol and Acrisol); five sampling depths (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-80 cm); three locations of the irrigation line (5; 50 and 95 m after you start Groove) and four times (E1 – before fertilization; E2, E3 and E4 – after the first, second and third irrigation after fertilization, respectively). To evaluate the nutrient being washed, it is considered a design 2 x 2 x 3, being two soils; two sampling sites (before get into the furrow of irrigation and drainage water at the end of the furrow) and three seasons (the first, second and third irrigation). The soil samples were pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , MO, P, Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2} and Mn^{+2} in samples of water, determined the levels of Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} e Cl^- , o pH, a CE e a RAS. The results were submitted to variance analysis probability 5% the variables. The highest levels of MO and P were found in depths, as well as of micro Zn, Mn and Cu The basic cations and pH were influenced by the location and depth of sampling and the concentration of Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^+ was higher at the end of the irrigation furrows for the Argisols. Furrow irrigation provides the effects being washed and leaching of nutrients for both soils studied. The amount given on the ion lost in the drainage water was inversely proportional to the buffering capacity of soils, being the largest loss of elements in the first irrigation after fertilization

Key- words: carreament, leaching, water.

1- INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma gramínea da família Poaceae de grande importância sócio-econômica-ambiental para o Brasil. A planta é originária do sul e sudeste asiático e plantada no Brasil há quase 510 anos. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, alcançando na safra 2012/2013 uma produção de 595.126,6 milhões de toneladas em 8.520,540 milhões de hectares, com produtividade de 69,846 t ha⁻¹. A produção do nordeste foi cerca de 9,5 % da produção nacional, sendo a produtividade da região 27,2% menor do que a média nacional. A Bahia apresenta 52.230 mil hectares plantados e na safra 2012/2013 a produção de cana-de-açúcar foi de mais de 3.445,9 milhões de toneladas (CONAB, 2012), ou seja, 0,58% e 6,1% da produção nacional e do nordeste, respectivamente.

A produção de cana-de-açúcar da região semiárida do Brasil corresponde a quase 90% da Região Nordeste e caracteriza-se por apresentar períodos de secas intercalados com chuvas de alta intensidade e distribuição irregular, proporcionando déficit de umidade no solo durante a maior parte do ano. Nas regiões semiáridas do mundo, a irrigação é vital para a produção de alimentos (SILVA, 2006). As estatísticas indicam que lavouras irrigadas produzem cerca de um terço da produção agrícola do mundo, em apenas 16% da área plantada (BJORNEBERG, 2011).

A cana-de-açúcar é uma commodity de grande importância econômica e ambiental é matéria prima para a produção de açúcar, álcool combustível e mais recentemente, biodiesel. Da cana-de-açúcar aproveita-se tudo: bagaço, torta e resíduos de colheita (ALMEIDA JÚNIOR, 2010), o que a torna uma potencial matriz energética alternativa.

O uso da cana de açúcar para geração de energia limpa a partir do álcool tem chamado atenção do mundo, por se constituir numa fonte alternativa a utilização de combustíveis fósseis (VAREJÃO, 2010).

Nos últimos anos, a agroindústria sucroalcooleira vem sofrendo com problemas de diversas naturezas, como estiagens, que impõem deficiência hídrica à cultura e a baixa produtividade (DARLI, et al., 2008). A prática da irrigação tem aumentado pela necessidade da melhoria das técnicas de manejo da cultura para aumentar a produtividade e melhorar qualidade dos frutos e conseqüentemente aumentar o retorno financeiro do irrigante.

Irrigação por superfície é o método mais amplamente usado no mundo inteiro por causa de sua simplicidade e baixos custos de capital. A análise numérica de sistemas de irrigação por superfície começou em 1970, com o objetivo de otimizar a gestão e o uso eficiente da água (BURGUETE et al., 2009). Apesar disso, remoção de nutrientes provenientes de áreas agrícolas irrigadas é uma consequência indesejável do método (MOSTAFAZADEH-FARD, 2010).

Os sistemas de irrigação superficial ou por gravidade, possuem como principal características a condução de água em pequenos canais ou sulcos abertos paralelamente às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a água infiltre ao longo do sulco, utilizando a energia da gravidade, para umedecer o solo na zona radicular da cultura, (BERNARDO, 2008). Para tanto é exigida uma condição superficial do solo que proporcione o escoamento contínuo da água sem causar erosão (BOTREL e MARQUES, 2000).

Segundo Scaloppi (1986) e Frizzone (1993), os sistemas de irrigação por superfície apresentam vantagens em relação aos outros sistemas de irrigação por geralmente apresentarem: facilidade de assimilação pelos irrigantes; adaptáveis a um grande número de solos e culturas; operação pouco afetada pelos ventos; elevado potencial para aumento de eficiência de irrigação e para redução do consumo de energia; pouca interferência nos tratamentos fitossanitários das culturas; utilização de águas com sólidos em suspensão ou poluídas; maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais e possibilidade de automação operacional.

Irrigação por sulco é um dos mais antigos sistema de irrigação por superfície. Em comparação com outros sistemas, a irrigação por sulcos, normalmente, molha 30% a 80% da superfície total, reduzindo a formação de crostas na superfície dos solos argilosos, por exemplo, e tornando possível realizar a colheita logo após as irrigações (BERNARDO, 2008).

O desempenho da irrigação por sulcos é afetado pela vazão da entrada, declividade do sulco, comprimento do sulco, coeficiente de rugosidade hidráulica, forma do sulco, lâmina de irrigação e características de infiltração do solo (ANDRADE et al., 1998). As características de infiltração do solo, coeficiente de rugosidade e a forma do sulco são parâmetros que variam de local para local. Desses, somente fatores como vazão aplicada, comprimento das parcelas,

espaçamento entre sulcos, tempo de aplicação da água e em alguns casos a declividade dos sulcos apresentam um certo controle (REZENDE et al., 1992).

Na irrigação por sulco, a água flui sobre a superfície do solo e, na sua distribuição, pode desprender e transportar os sedimentos presentes no solo (BJORNEBERG, 2011). Independentemente do sistema de manejo empregado para irrigação por sulco, os custos referente às perdas anuais de solo, água e nutrientes, causados pela erosão hídrica são elevados (BERTOL et al., 2007b). Isso porque, a remoção de substâncias químicas em solução aquosa de escoamento superficial, em áreas agrícolas, pode resultar em significativa perda destas substâncias por lixiviação, por fluxo superficial ou por escoamento de partículas adsorvidas nos sedimentos suspensos, em sistemas de cultivo convencional (SOUSA et al., 2012).

O uso inadequado de técnicas de irrigação tem transformado áreas produtivas em áreas degradadas. A erosão de solos em perímetros irrigados reduz a produtividade das terras e pode comprometer a qualidade da água fora do local de irrigação. A erosão promove a quebra da estrutura do solo, o transporte de partículas, carreamento dos nutrientes, matéria orgânica e microrganismos, gerando o empobrecimento das áreas agrícolas e a poluição das fontes hídricas. As perdas de nutrientes por erosão tende a elevar os custos de produção na agropecuária, uma vez que requer um aumento no uso de fertilizantes e corretivos (PRUSKI, 2006; SILVA et al., 2007). As perdas de nutrientes por erosão hídrica é um dos fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade das culturas (SCHICK et al., 2000).

Dos impactos ambientais proporcionados pelas diferentes formas de cultivo na agricultura, destaca-se a erosão por ser um fenômeno de superfície complexo, que envolve a desagregação, transporte e deposição de partículas do solo causadas pela água da chuva e de irrigação (BERREZA e CANTALICE, 2006). A magnitude relativa e a importância desses processos dependem do clima, solo, topografia, práticas de manejo do solo e cultura, práticas conservacionistas, condições antecedentes de umidade e da área considerada.

As formas de manejo da cultura afetam significativamente: o escoamento; o fluxo na superfície do solo; a mudança em rugosidade da superfície, as variações na estrutura do solo, estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica e nutrientes, e a porosidade total das camadas cultivadas (CARVALHO et al, 2009).

As perdas de nutrientes em sistemas com irrigação por sulco e que eliminam os resíduos culturais, como é o caso no cultivo da cultura de cana-de-açúcar, com a queima da palhada antes da colheita, devem ser reavaliadas (MARTINS FILHO et al. 2009). Poucos são os estudos para avaliar a lixiviação de nutrientes pela água em função da irrigação por sulco, ou para comparar esta perda de nutrientes nos diferentes tipos de solo irrigados no semiárido brasileiro.

A movimentação de nutrientes no solo, depende da concentração de nutriente em solução, a qual é determinada pela capacidade de adsorção do elemento no solo; do pH; solubilidade do fertilizante; proporção de nutrientes no fertilizante formulado; do conteúdo de água do solo e da macroporosidade do solo (SCHUMMAN, 2001; SILVA, 2004). A adubação, a cobertura vegetal e o manejo do solo determinam a concentração de nutrientes na água e nos sedimentos (SCHICK et al., 2000; MELLO, 2002; FAVARETTO, 2002).

O uso continuado do sistema de plantio de cana-de-açúcar com uma adubação convencional e irrigação por superfície no norte da Bahia indicou a necessidade de se conhecer os efeitos deste manejo na mobilidade dos nutrientes no solo, uma vez que os fertilizantes são aplicados na superfície do solo, sem posterior incorporação. Considerando que os nutrientes necessitam estar na solução do solo e em contato com as raízes para serem absorvidos pelas plantas (BARBER, 1963), sua mobilidade no perfil pode afetar a sua disponibilidade aos vegetais e as perdas por lixiviação (WERLE et al., 2008).

A mobilidade vertical dos nutrientes no solo é afetada por fatores físicos e químicos do mesmo. A distribuição relativa do tamanho de poros e o grau de saturação com água, e a capacidade de retenção de água do solo são alguns atributos físicos que afetam a mobilidade de nutrientes no mesmo. Enquanto a concentração da solução do solo, o pH, as reações de dissolução/precipitação e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida durante o processo de descida (ERNANI et al., 2007) são os principais fatores químicos que influenciam na retenção ou perda de nutrientes em ambientes irrigados.

O transporte e as perdas de fertilizantes, pesticidas e resíduos animais, vegetais ou industriais em enxurrada têm sido objeto de estudo em vários trabalhos experimentais (MARTINS FILHO et al., 2009). No entanto, são escassos os estudos

que avaliem a mobilidade de nutrientes em áreas irrigadas por sulco com cana-de-açúcar. O efeito da mobilidade de nutrientes no solo decorrente da irrigação por sulco, como uma combinação dos processos erosivos, aumenta a variabilidade espacial das produções agrícolas, assim como o declínio global da capacidade produtiva do solo.

A água é o elemento-motor dos processos erosivos, atuando no transporte vertical e lateral de materiais em suspensões ou soluções, e nas transformações físicas, químicas e biológicas do solo. A remoção das substâncias químicas em solução na água de irrigação, em áreas agrícolas, tem potencial para ser uma significativa fonte de movimentação e/ou perdas destas substâncias em sistemas como de cultivo convencional (SOUSA et al., 2012).

Os adubos apresentam comportamentos distintos quanto à solubilização de seus constituintes, o que diretamente influencia o processo de seu transporte. Adubos minerais, com elevada solubilidade em água, favorecem as perdas de nutrientes solúveis em curto prazo (MCDOWELL e SHARPLEY, 2001), enquanto adubos orgânicos, por dependerem da mineralização da fração orgânica, tornam-se uma fonte de nutrientes de longo prazo (SHIGAKI et al., 2006; PELES, 2007; BERENQUER et al., 2008; TAKALSON e LEYTEM, 2009).

Perdas de fósforo, elemento com baixa solubilidade em água, ocorrem preferencialmente via superfície (HOODA et al., 2000; SHIGAKI et al., 2006) devido à adsorção específica com os minerais da fração argila, principalmente óxidos de Fe e Al (SPARKS, 1995). Essa característica confere ao P baixo potencial de lixiviação (HOODA et al., 2000; PIOVESAN et al., 2009). O potencial de perda de P via subsuperfície será maior em solos arenosos com elevada aplicação de P via adubo mineral ou orgânico (SHIGAKI et al., 2006).

O cálcio e o magnésio do solo são removidos adsorvidos às partículas sólidas pelo processo de erosão hídrica (COGO et al., 2003; MARTINS FILHO et al., 2009). Comparativamente, em solos bem drenados, espera-se ocorrer maior perda de Mg^{+2} do que de Ca^{+2} pelo processo de erosão hídrica, devido a maior energia de ligação do Ca^{+2} com os colóides do solo (RAIJ, 1991).

A disponibilidade de K, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários derivados de feldspatos, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, aspectos

que contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo (WERLE et al., 2008). A aplicação insuficiente de adubo pode levar ao esgotamento das reservas do solo, e a aplicação excessiva pode intensificar as perdas, mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (ERNANI et al., 2007).

Metais pesados como o Cu e o Zn, devido à baixa mobilidade no perfil do solo, tendem a acumular-se na camada superficial, principalmente por causa da matéria orgânica (BERTOL et al., 2010), portanto, apresentam baixo potencial de lixiviação; contudo, aplicações excessivas podem ocasionar perdas em subsuperfície (SISTANI et al., 2008).

A baixa mobilidade do P, do Cu e do Zn acentua-se com o aumento do teor de argila e com o avanço do intemperismo do solo (BERTOL et al., 2010). Além da capacidade de troca iônica, esses minerais da fração argila conferem ao solo a capacidade de adsorção iônica. Solos com elevado intemperismo geralmente apresentam grande profundidade, o que também contribui na capacidade de reter elementos minerais (FONTES et al., 2001). Solos de textura grossa, ou seja, solos arenosos possuem maior quantidade de macroporos do que solos de textura fina e, conseqüentemente apresentam maior condutividade hidráulica saturada e taxa de infiltração. Solos argilosos bem estruturados, ou com estrutura estável, podem apresentar maiores taxas de infiltração do que os solos com estrutura instável, que sofrem dispersão quando umedecidos ou submetidos a algum agente desagregador. A estabilidade dos agregados é determinada pelos chamados agentes cimentantes, que são representados principalmente pela matéria orgânica e pelos óxidos de ferro e alumínio. À medida que aumenta a presença destes compostos no solo, maior é a possibilidade deste apresentar uma estrutura mais estável (SHAINBERG e LEVY, 1995; SILVA e KATO, 1997).

A irrigação normalmente resulta no aumento de biomassa vegetal das culturas, também influencia na taxa de decomposição microbiana da matéria orgânica em condições de suplementação hídrica (DE BONA et al., 2006). Para o Mn e o Fe, estes quando presentes em um meio com baixa oxigenação podem ser reduzidos, aumentando a solubilidade (MARTINS e SPERLING, 2013).

Diversos trabalhos abordam as perdas de nutrientes por erosão, em diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo, principalmente para culturas anuais (HERNANI et al., 1999; BERTOL et al., 2004; BERTOL et al., 2007a).

Contudo, há carência de informações na literatura sobre a mobilidade de nutrientes no solo, cultivado com cana-de-açúcar e irrigado por sulco. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da irrigação por sulco sobre a mobilidade de nutrientes em dois solos do semiárido baiano cultivados com cana-de-açúcar, bem como quantificar a perda de nutrientes do solo por carreamento pela água de irrigação para épocas distintas de amostragem.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de agosto a setembro de 2011 na área de cultivo da usina AgroVale, na região Submédio São Francisco, no município de Juazeiro (BA).

O clima da região é do tipo BSw'h' semiárido quente, segundo a classificação de Köppen, com precipitação anual inferior a 500 mm e evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual. Os dois solos das áreas do estudo foram classificados como Vertissolo Háplico Ebânico A moderado (textura franco-argilosa) e Argissolo Amarelo Eutrófico típico (textura franco-argilo-arenosa) (EMBRAPA, 2006).

O Vertissolo, cultivado com cana-de-açúcar irrigada por sulco há 31 anos, fica localizado na região denominada Salvador, entre as coordenadas geográficas 9° 29' 24,72" latitude sul e 40° 21' 02,74" longitude oeste. O Argissolo, cultivado com cana-de-açúcar irrigada por sulco há 17 anos, fica localizado na região denominada Paraíba, entre as coordenadas geográficas 9° 30'39.55", latitude sul e 40°17'30.95" longitude oeste.

2.1 - Experimento I: Mobilidade de nutrientes em dois solos do semiárido baiano cultivados com cana-de-açúcar irrigada por sulco.

2.1.1 Delineamento Experimental

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de bloco ao acaso, em esquema fatorial 2 x 5 x 3 x 4 com três repetições, sendo os fatores dois tipos de solos, cinco profundidades de coleta, três locais ao longo do sulco de irrigação e quatro épocas de avaliação. Cada linha de sulco de irrigação (100 m de comprimento e declividade 0,002 %), considerado como unidade experimental, foi avaliada em três localizações (Figura 1): a 5 m após início do sulco de irrigação; na metade do sulco (50 m); e a 95 m depois do início do sulco.

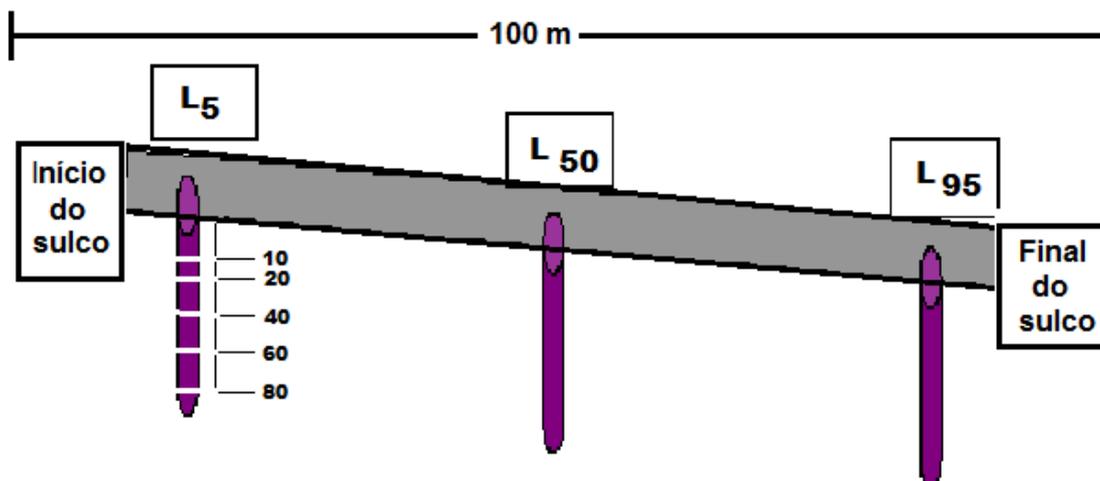


Figura 1. Layout dos locais de amostragem no sulco de irrigação, Juazeiro, Bahia.

2.1.2 Adubação mineral e análise química dos solos

A adubação foi realizada a lanço, com auxílio de um carrinho de mão adaptado (Figura 2), no sulco de irrigação com 550 kg ha^{-1} do formulado 25-05-15 para o Vertissolo e 600 kg ha^{-1} do formulado 21-04-26 para o Argissolo. A uréia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), MAP e cloreto de potássio foram utilizados como fonte de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Adicionou-se 0,1% de boro, 0,25% de cobre e 0,25% de zinco para ambos os solos.



Figura 2. Foto do carrinho de mão adaptado (2a), distribuição do adubo na linha de irrigação (2b) e amostragem de solo (2c).

As coletas de solo nas linhas de sulco de irrigação foram realizadas em quatro épocas distintas: um dia antes da adubação do solo e um dia após a primeira, a segunda e a terceira irrigação, sendo a irrigação realizada em um dia e a coleta na

manhã do dia seguinte. O período da noite foi considerado para distribuição e redistribuição da água e dos nutrientes, no perfil do solo. As amostras de solos foram coletadas no sulco de irrigação com trado tipo holandês (Figura 2c) em cinco camadas 0-10 (P₁₀); 10-20 (P₂₀); 20-40 (P₄₀); 40-60 (P₆₀) e 60-80 (P₈₀) cm de profundidade.

Depois de coletado, o solo foi acondicionado em sacos plásticos, fechado, identificado e enviado ao Laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. As amostras de solo, após serem secas ao ar, foram peneiradas com malha de 2 mm de abertura. Foram analisadas quimicamente, determinando-se o pH em água na relação 1:2,5 (solo-água); CE, metodologia Eletrométrica (RAIJ et al., 2001); os teores de Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³ foram extraídos por KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por titulometria; o P, K⁺, Cu, Fe, Zn e Mn foram extraídos com a solução Mehlich-1, (EMBRAPA, 1997). O K⁺ foi determinado por fotometria de chama; o P por colorimetria; Cu, Fe, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômica; a matéria orgânica, foi determinada pelo método Walkley- Black, conforme Raij e Quaggio (1983).

Na Figura 3 e na Tabela 1, encontram-se as análises físico-hídricas para os dois solos trabalhados (Vertissolo e Argissolo). A curva de retenção de água no solo também foi determinada em laboratório, pelo método da centrífuga, conforme Freitas Júnior e Silva (1984). Como observada na Figura 3, o Vertissolo tem maior capacidade de armazenar água do que o Argissolo.

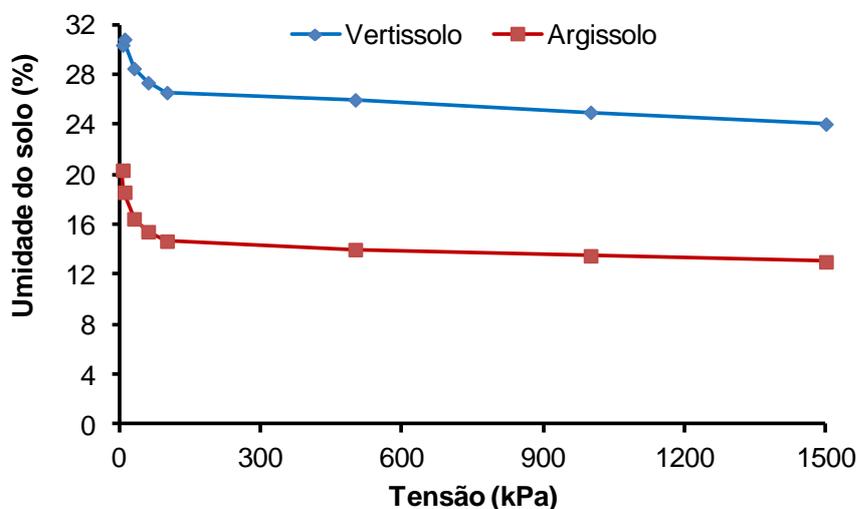


Figura 3. Curva de retenção de água no solo, representando a média da camada de 0 a 80 cm de profundidade no Vertissolo e Argissolo.

Tabela 1. Análise química por profundidade **(a)** e análise físico-hídrica **(b)** para a camada de 0-80 cm do Vertissolo e Argissolo cultivados com cana-de-açúcar, antes da adubação.

a)

Profundidade	Características químicas do Vertissolo																
	pH	C.E.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	M.O.	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Cm		dS m ⁻¹				cmol _c dm ⁻³					%	g kg ⁻¹		mg dm ⁻³			
(0-10)	7,84	0,27	28,18	2,09	0,48	0,18	0,00	1,32	30,92	32,24	95,78	22,96	28,33	1,73	41,55	66,19	7,74
(10-20)	7,93	0,24	31,22	2,29	0,33	0,18	0,00	0,91	34,03	34,87	97,44	13,49	16,07	1,56	33,36	57,08	3,52
(20-40)	8,04	0,21	30,87	2,02	0,17	0,27	0,00	0,60	33,33	33,98	98,22	6,15	3,22	1,36	29,55	34,71	1,92
(40-60)	8,12	0,22	32,16	2,46	0,13	0,37	0,00	0,74	35,11	35,79	98,00	4,60	2,47	1,20	29,94	33,77	1,42
(60-80)	8,14	0,21	31,10	2,42	0,11	0,46	0,00	0,49	34,09	34,59	98,67	3,83	1,66	1,19	21,51	23,60	1,40
Média	8,02	0,23	30,70	2,26	0,24	0,29	0,00	0,81	33,50	34,29	97,62	10,20	10,35	1,41	31,18	43,07	3,20

Profundidade	Características químicas do Argissolo																
	pH	C.E.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	M.O.	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Cm		dS m ⁻¹				cmol _c dm ⁻³					%	g kg ⁻¹		mg dm ⁻³			
(0-10)	5,94	0,12	3,39	1,66	0,10	0,14	0,05	0,90	5,29	6,18	85,44	7,64	2,02	5,57	142,56	86,33	2,31
(10-20)	5,99	0,12	3,40	1,90	0,05	0,19	0,08	1,26	5,55	6,81	81,89	5,61	1,44	7,14	118,69	61,33	2,06
(20-40)	5,74	0,08	3,37	1,62	0,03	0,21	0,06	1,04	5,23	6,27	83,44	4,00	1,14	5,08	83,46	28,91	2,38
(40-60)	5,59	0,07	3,34	1,61	0,04	0,20	0,05	1,06	5,20	6,26	83,00	3,25	1,03	3,60	94,67	17,36	1,95
(60-80)	5,48	0,09	3,28	1,66	0,04	0,19	0,05	1,19	5,17	6,36	81,00	2,67	0,85	3,43	117,78	14,37	1,65
Média	5,75	0,10	3,36	1,69	0,05	0,19	0,06	1,09	5,29	6,38	82,96	4,63	1,29	4,96	111,43	41,66	2,07

b)

Solo	Granulometria			Densidade		Umidade		Porosidade	Água
	Areia	Silte	Argila	Solo	Partícula	- 10 kPa	- 15.000 kPa	total	Disponível
	(g kg ⁻¹)			(g cm ⁻³)		(% base de massa)		(%)	(mm)
Vertissolo	353,9	307,0	339,1	1,38	2,24	28,51	24,06	38,51	49,13
Argissolo	453,9	220,6	325,5	1,37	2,55	16,46	13,02	46,11	37,70

2.1.3 Dados climatológicos

Para condução do experimento utilizou-se os dados climáticos durante o ciclo de cultivo e as lâminas de irrigação foram aplicadas segundo a evapotranspiração da cultura (ET_c), conforme equação abaixo. O manejo da irrigação foi realizado com as práticas rotineiras do plantio comercial da empresa.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

em que, ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); K_c é o coeficiente de cultura, foi utilizado o K_c determinado para cana-de-açúcar cultivada na Empresa, e ET_o é evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) que foi estimada pelo método de Penman-Monteith, modificado por Allen et al. (1998), cuja expressão é descrita na equação:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (2)$$

em que, R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), admitido igual a zero para 24 horas; T corresponde a temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e é a pressão atual de vapor (kPa); $e_s - e$ é o déficit de pressão de vapor (kPa); Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Para determinação da ET_o , utilizou-se os dados obtidos na estação meteorológica da Empresa, localizada próxima ao local do experimento.

As temperaturas mínimas (T_{min}) e máximas (T_{max}) foram coletadas diariamente por termômetros de mínima e máxima e a temperatura média (T_{med}) foi obtida pelo cálculo da média entre as temperaturas diárias (Figura 4).

Os dados de precipitação (P) foram determinados diariamente, pela média de quatro pluviômetros instalados em diferentes pontos da Empresa. As chuvas ocorridas durante o período do estudo totalizaram 1,2 mm, Figura 6, com evaporação média de $9,01 \text{ mm dia}^{-1}$, Figura 8.

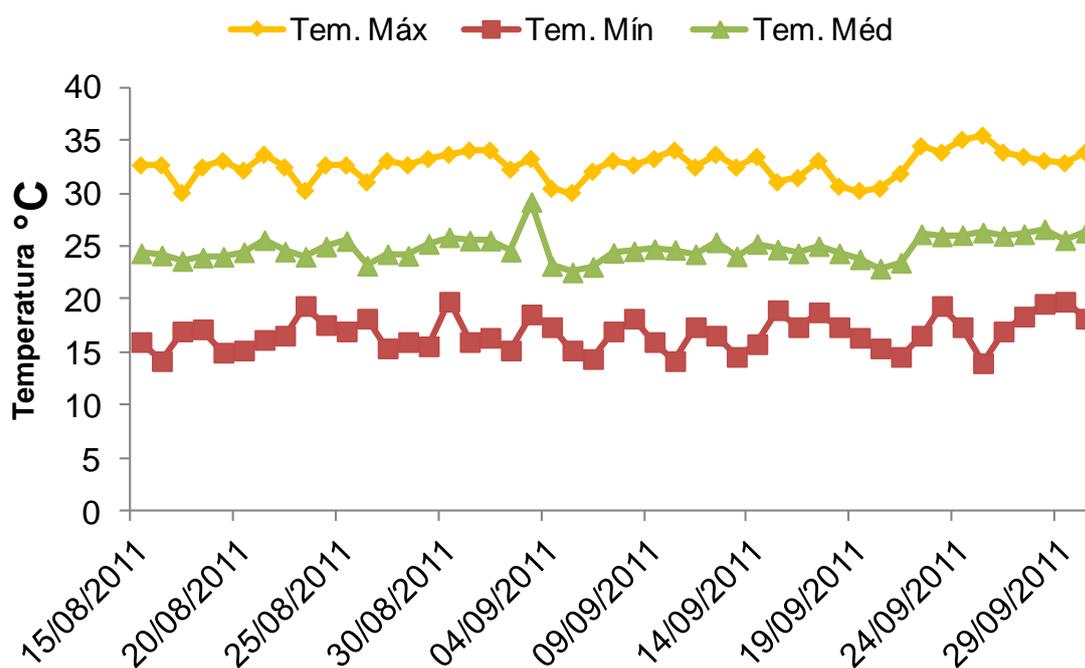


Figura 4. Temperatura máxima, mínima e média (°C) durante o período experimental.

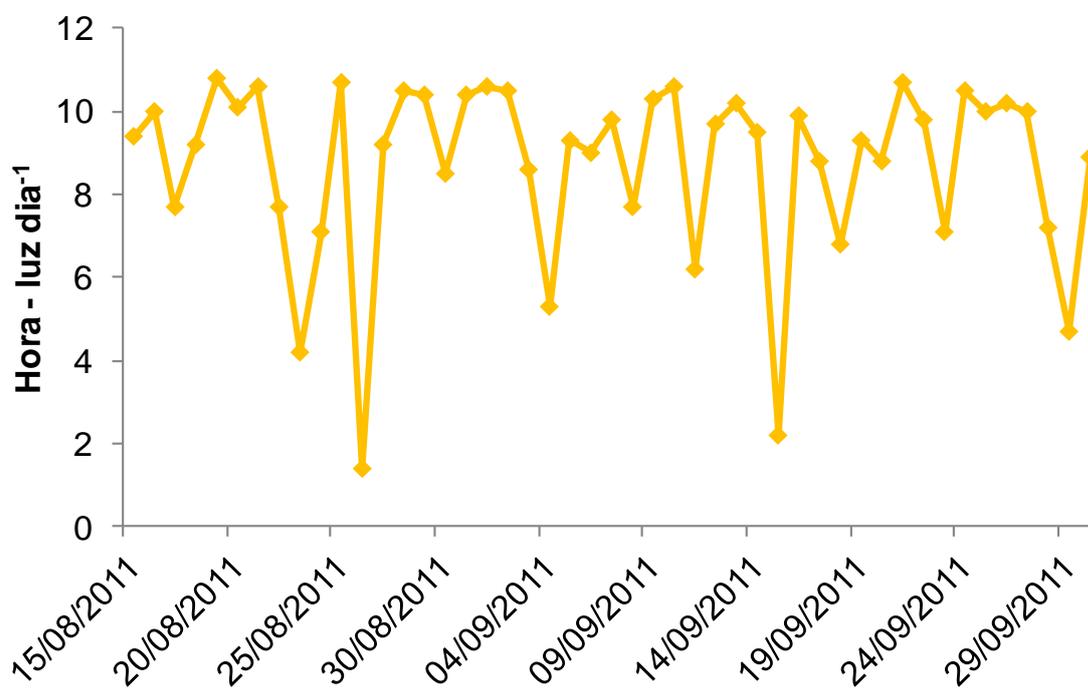


Figura 5. Número de hora de luz por dia durante o período experimental.

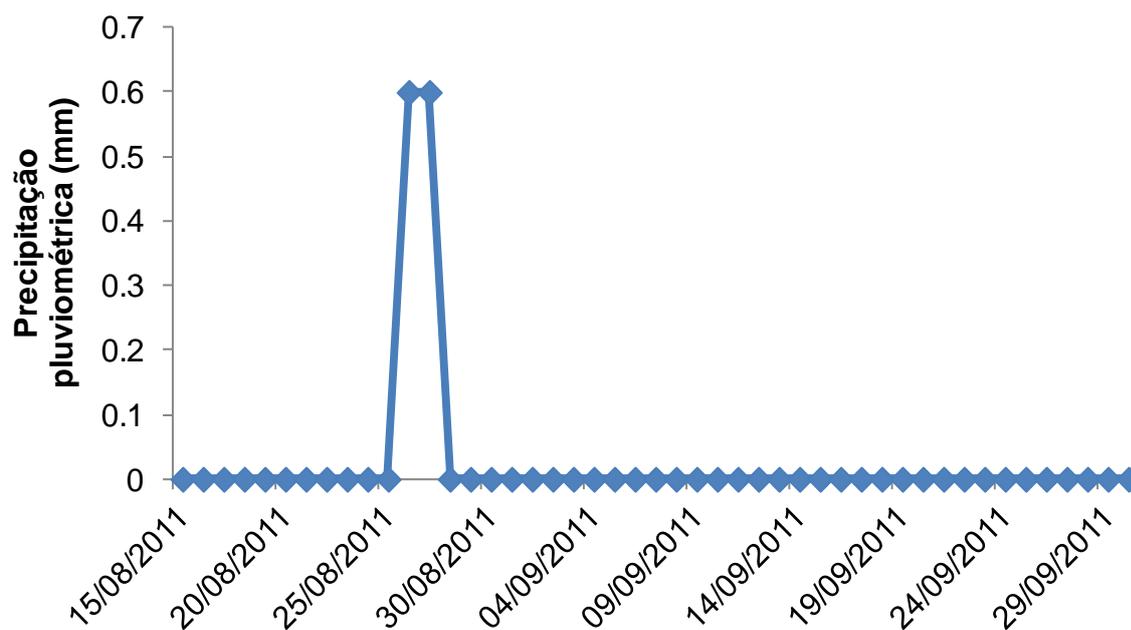


Figura 6. Precipitação pluviométrica (mm) durante o período experimental.

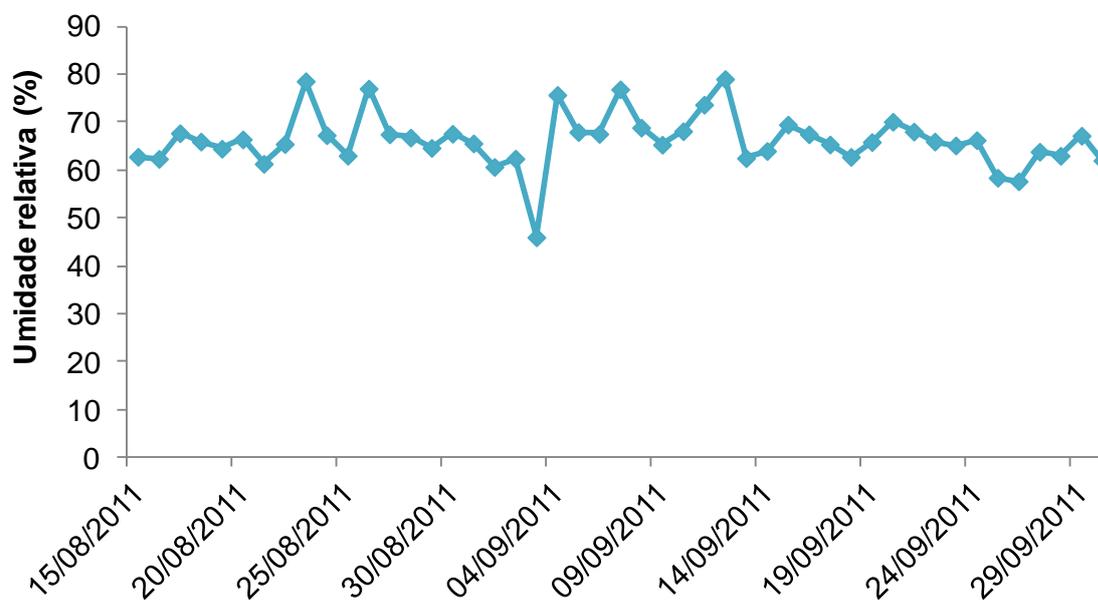


Figura 7. Umidade relativa do ar (%) durante o período experimental.

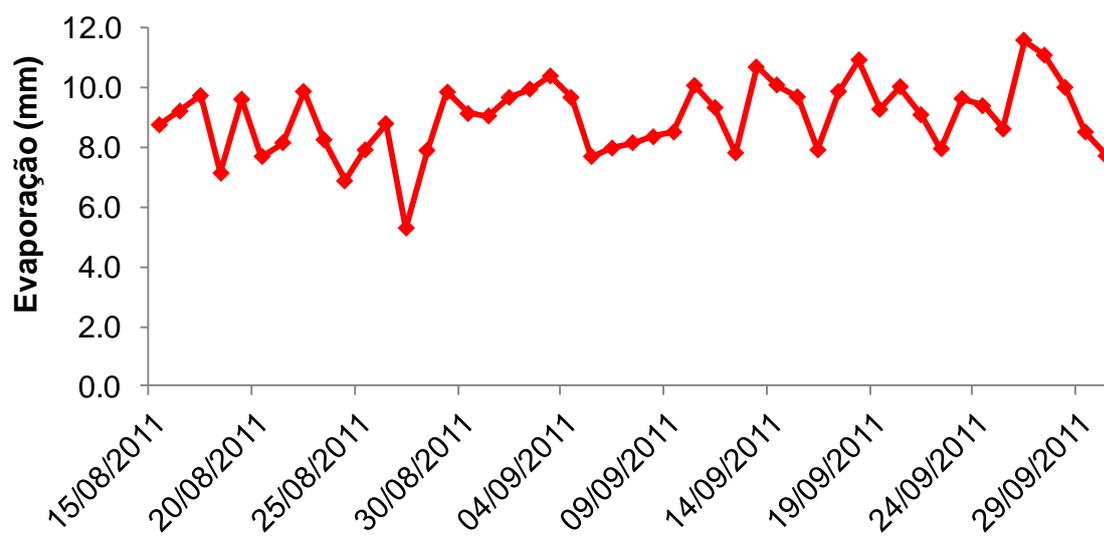


Figura 8. Evaporação (mm) em Tanque Classa A, durante o período experimental.

2.1.4 Água no solo

2.1.4.1 Infiltração de água no solo

A infiltração acumulada e a velocidade de infiltração (VI) foram determinadas seguindo a metodologia de “Entrada-saída” proposta por Bernardo (2008), que compreende a instalação de duas calhas Parshall ao longo do sulco, equidistante entre si de 20 m (Figura 9). No solo da classe Vertissolo, os testes foram realizados nos trechos 0 a 20 m e 60 a 80 m, enquanto no Argissolo, nos trechos de 0 a 20 m e 70 a 90 m. Vale ressaltar, que a calha Parshall usada no teste foi calibrada previamente (Figura 9).

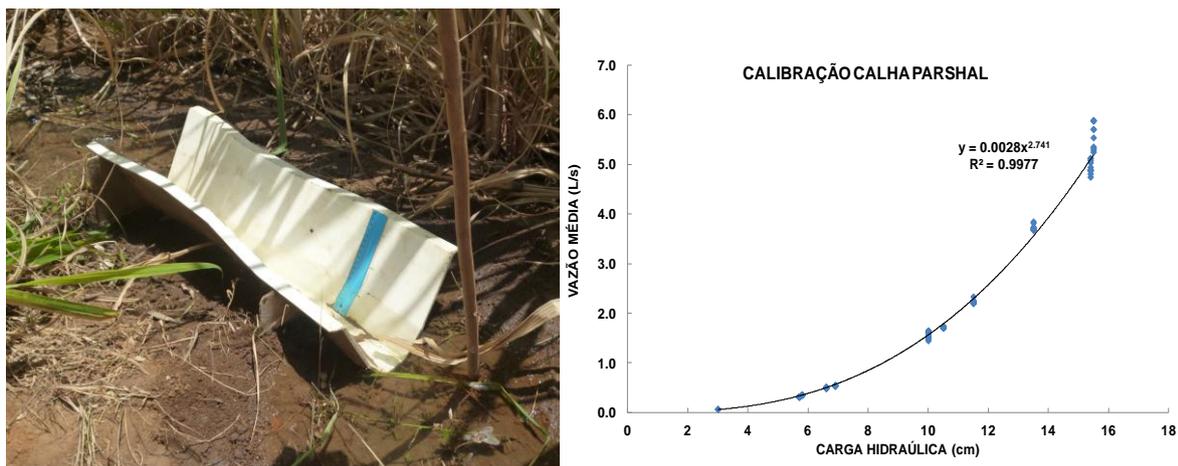


Figura 9. Foto da calha Parshall utilizada no teste de campo, e sua equação de calibração.

Os dados correspondentes tanto à infiltração acumulada (Ia) quanto à velocidade de infiltração (VI), que foram obtidos nos testes de campo, pelo método de ‘Entrada-saída’, correspondentes ao solo Vertissolo estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, enquanto para o Argissolo estão mostrados nas Tabelas 4 e 5. Assim, com base nos referidos dados elaboram-se os gráficos de Ia e de VI, para cada uma das classes de solo estudadas. Foram observados dois testes para o Argissolo, tendo um sido feito no trecho inicial do sulco (0 – 20 m) e outro trecho 70 a 90 m (Figura 11), cujas equações foram da ordem de: $Ia = 2,1253 T^{0,9784}$ com $R^2 = 0,9846$

e $la = 7,253 \ln T - 1,7138$ com $R^2 = 0,9866$, respectivamente. No que concerne ao solo da classe Vertissolo, obteve-se a seguinte equação $la = 8,9567 \ln(T) - 4,7974$ com $R^2 = 0,9864$, correspondente ao trecho 60 a 80 m (Figura 10).

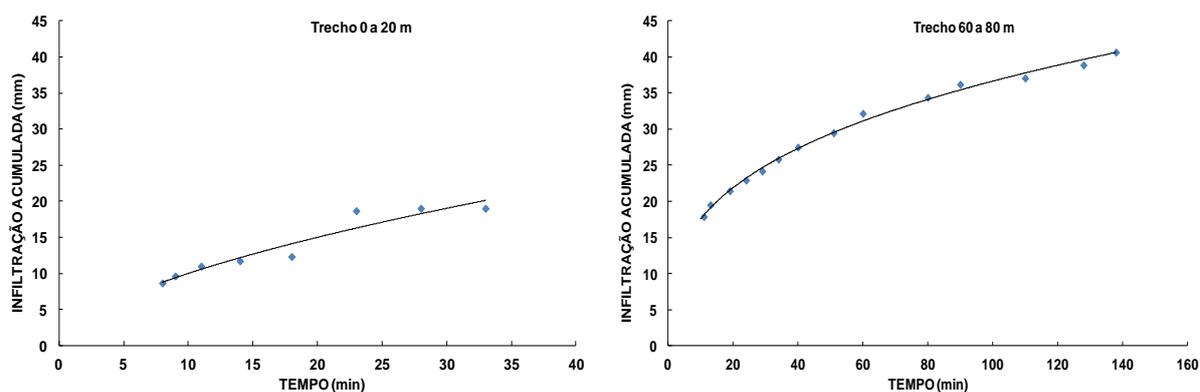


Figura 10. Curvas de infiltração acumulada para um Vertissolo cultivado com cana de açúcar, por irrigação por sulco. Juazeiro, Bahia.

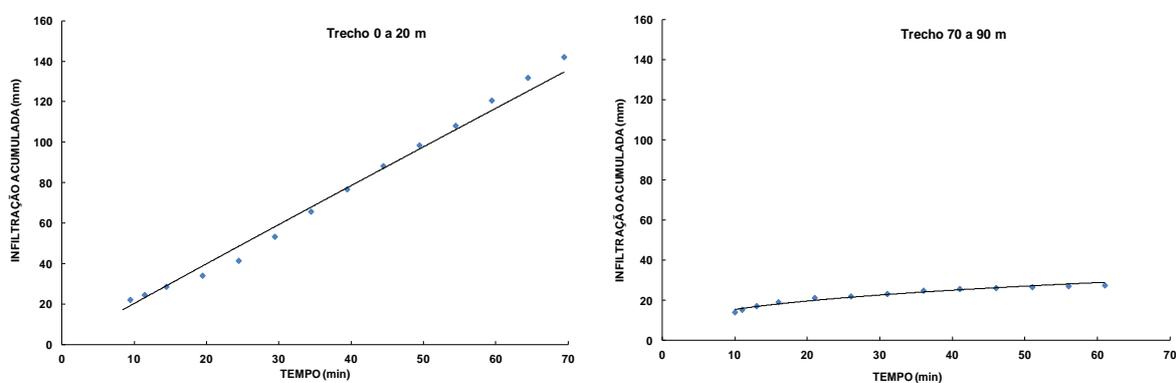


Figura 11. Curvas de infiltração acumulada para um Argissolo cultivado com cana-de-açúcar irrigada por sulco. Juazeiro, Bahia.

Quando se considera a velocidade de infiltração da água no solo, observou-se que o melhor ajuste encontrado para o solo Vertissolo, restringiu-se apenas, ao trecho 0 a 20 m, cuja velocidade de infiltração básica (VIB) foi da ordem de $0,40 \pm 0,15$ mm/h (Figura 12), enquanto para o Argissolo foi de $25,66 \pm 2,40$ mm/h (Figura 13).

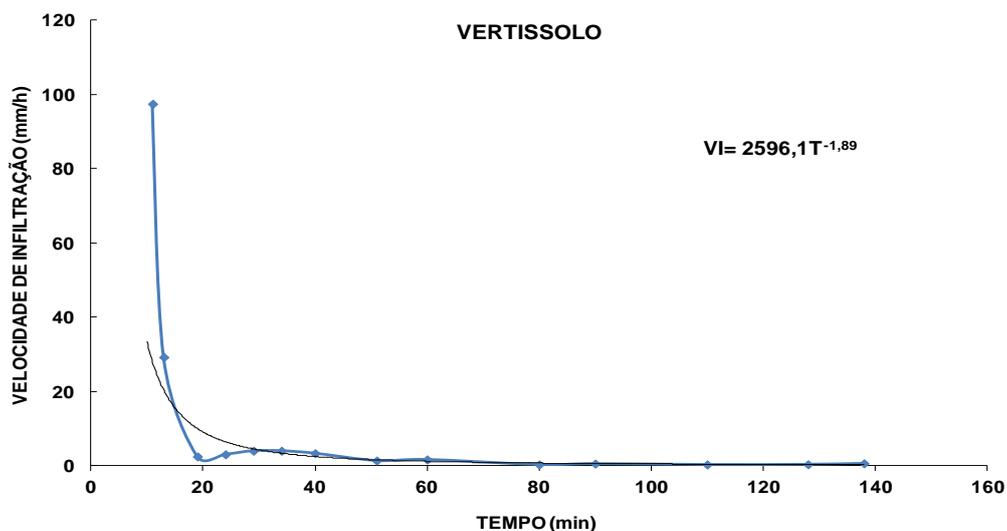


Figura 12. Curva de velocidade de infiltração da água no solo em função do tempo para um solo da classe Vertissolo cultivado com cana de açúcar irrigada por sulco, Juazeiro, Bahia.

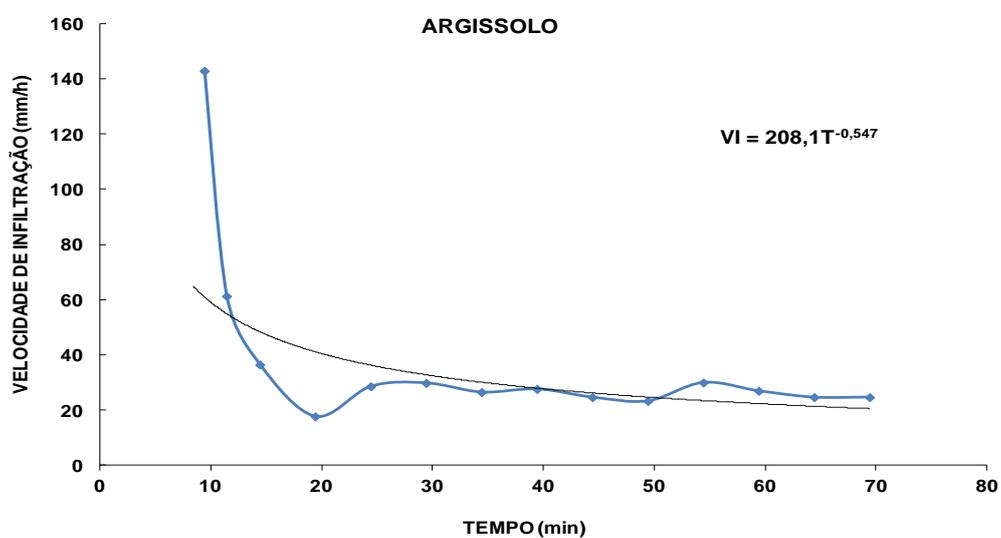


Figura 13. Curva de velocidade de infiltração da água no solo em função do tempo para um solo da classe Argissolo cultivado com cana de açúcar irrigada por sulco, Juazeiro, Bahia.

Tabela 2. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Vertissolo**, correspondente ao trecho de 0 a 20 m, Juazeiro – Ba.

Tempo		Calha de Entrada		Calha de Saída		VI		INFILTRAÇÃO	
Hora	Acumulado Min	Carga Cm	Vazão L/min	Carga cm	Vazão L/min	L/min/20m	L/min/m	Intervalo	Lam. acum. mm
08:37	0	6,2	24,96	-	-	-	-	-	-
08:45	8	6,0	22,82	2,0	1,12	35,07	1,75	8,68	8,68
08:46	9	6,0	22,82	3,0	3,41	31,76	1,59	0,97	9,65
08:48	11	6,0	22,82	4,3	9,15	27,24	1,36	1,37	11,01
08:51	14	6,0	22,82	5,5	17,97	24,30	1,22	0,73	11,74
08:55	18	6,0	22,82	5,7	19,82	19,63	0,98	0,60	12,34
09:00	23	7,7	45,20	5,7	19,82	31,72	1,59	6,35	18,68
09:05	28	7,0	34,81	6,9	33,47	33,09	1,65	0,34	19,02
09:10	33	7,0	34,81	7,0	34,81	29,40	1,47	0,00	19,02

Vazão méd = 28,21L/min

VIB = 0,40± 0,15 mm/h

Tabela 3. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Vertissolo**, no trecho de 60 a 80 m. Juazeiro – Ba.

Tempo		Calha de Entrada		Calha de Saída		VI		INFILTRAÇÃO	
Hora	Acumulado Min	Carga Cm	Vazão L/min	Carga cm	Vazão L/min	L/min/20m	L/min/m	Intervalo	Lam. acum. mm
09:00	0	6,0	22,8	-	-	-	-	-	-
09:10	10	6,2	25,0	2,0	1,1	23,8	1,2	1,79	17,88
09:11	11	6,3	26,1	3,3	4,4	21,6	1,1	1,62	19,50
09:13	13	6,3	26,1	4,9	13,1	13,0	0,6	0,97	21,45
09:19	19	6,3	26,1	6,0	22,8	3,3	0,2	0,24	22,92
09:24	24	6,4	27,2	6,1	23,9	3,4	0,2	0,25	24,18
09:29	29	6,4	27,2	6,0	22,8	4,4	0,2	0,33	25,83
09:39	34	6,4	27,2	6,0	22,8	4,4	0,2	0,33	27,49
09:45	40	6,4	27,2	6,0	22,8	4,4	0,2	0,33	29,48
09:56	51	6,3	26,1	6,0	22,8	3,3	0,2	0,24	32,17
10:05	60	6,3	26,1	6,0	22,8	3,3	0,2	0,24	34,37
10:25	80	6,6	29,6	6,5	28,4	1,2	0,1	0,09	36,19
10:35	90	6,4	27,2	6,3	26,1	1,2	0,1	0,09	37,06
10:55	110	6,6	29,6	6,5	28,4	1,2	0,1	0,09	38,88
11:13	128	6,9	33,5	6,8	32,2	1,3	0,1	0,10	40,65
11:23	138	6,9	33,5	6,8	32,2	1,3	0,1	0,10	41,63

Vazão méd = 27,53 L/min

Tabela 4. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Argissolo**, no trecho de 0 a 20 m, Juazeiro – Ba.

Tempo		Calha de Entrada		Calha de Saída		VI		INFILTRAÇÃO	
Hora	Acumulado Min	Carga cm	Vazão L/min	Carga Cm	Vazão L/min	L/min/20m	L/min/m	Intervalo	Lam. acum Mm
9:00	0	6,7	30.87	-	-	-	-	-	-
9:10	8,42	7,1	36.19	2,0	1,2	35,07	1,75	2,63	22,15
9:11	9,42	7,1	36.19	3,3	4,43	31,76	1,59	2,38	24,53
9:13	11,42	7,2	37.61	4,5	10,37	27,24	1,36	2,04	28,61
9:19	14,42	7,4	40.54	5,3	16,24	24,30	1,22	1,82	34,08
9:24	19,42	7,2	37.61	5,5	17,97	19,63	0,98	1,47	41,44
9:29	24,42	8,8	65.18	6,9	33,47	31,72	1,59	2,38	53,34
9:39	29,42	9,2	73.63	7,4	40,54	33,09	1,65	2,48	65,75
9:45	34,42	9,1	71.46	7,5	42,06	29,40	1,47	2,20	76,77
9:56	39,42	9,3	75.84	7,7	45,20	30,64	1,53	2,30	88,26
10:05	44,42	9,3	75.84	7,9	48,50	27,35	1,37	2,05	98,52
10:25	49,42	9,7	85.12	8,5	59,27	25,85	1,29	1,94	108,21
10:35	54,42	10	92.54	8,5	59,27	33,26	1,66	2,49	120,68
10:55	59,42	10,1	95.09	8,8	65,18	29,91	1,50	2,24	131,90
11:13	64,42	10	92.54	8,8	65,18	27,35	1,37	2,05	142,16
11:23	69,42	10	92.54	8,8	65,18	27,35	1,37	2,05	152,42

Vazão média = 64,92 l/min

VIB = 25,66 ± 2,40 mm/h

Tabela 5. Dados de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração, obtidos pelo método da “Entrada-saída” de água no sulco, para um solo da classe **Argissolo**, no trecho de 70 a 90 m, Juazeiro – Ba..

Tempo		Calha de Entrada		Calha de Saída		VI		INFILTRAÇÃO	
Hora	Acumulado min	Carga cm	Vazão L/min	Carga cm	Vazão L/min	L/min/20m	L/min/m	Intervalo	Lam. Acum mm
11:10	0	3.5	5.2	-	-	-	-	-	-
11:20	10	5.7	19.8	2.0	1.1	18.7	0.93	1.40	14.02
11:21	11	5.7	19.8	3.0	3.4	16.4	0.82	1.23	15.26
11:23	13	5.8	20.8	4.2	8.6	12.2	0.61	0.92	17.09
11:26	16	5.9	21.8	4.9	13.1	8.7	0.43	0.65	19.04
11:31	21	6.0	22.8	5.4	17.1	5.7	0.29	0.43	21.19
11:36	26	6.0	22.8	5.8	20.8	2.0	0.10	0.15	21.95
11:41	31	6.3	26.1	6.0	22.8	3.3	0.16	0.24	23.17
11:46	36	6.4	27.2	6.0	22.8	4.4	0.22	0.33	24.83
11:51	41	6.4	27.2	6.2	25.0	2.3	0.11	0.17	25.68
11:56	46	6.5	28.4	6.4	27.2	1.2	0.06	0.09	26.12
12:01	51	6.5	28.4	6.4	27.2	1.2	0.06	0.09	26.56
12:06	56	6.5	28.4	6.4	27.2	1.2	0.06	0.09	27.01
12:11	61	6.5	28.4	6.4	27.2	1.2	0.06	0.09	27.45

Vazão méd = 23,4 L/min

2.1.5 Análise química da água

Como os experimentos foram conduzidos em locais diferentes, realizou-se análise de água para os dois locais, determinando as características químicas da água de irrigação para as três irrigações realizadas no período de estudo, Tabela 6.

A água foi coletada antes do início do sulco de irrigação com um recipiente plástico com capacidade de 2 L. Após coleta, foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Semiárido. As características analisadas foram Sódio, Cálcio, Magnésio, carbonatos, bicarbonatos, sulfetos, cloretos, pH e Condutividade Elétrica (CE). Todas as análises foram realizadas de acordo com a metodologia descrita em SMEWW (1998).

O cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) foi realizado utilizando a seguinte equação:

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Onde:

RAS = Razão de Adsorção de Sódio;

Na⁺ = Concentração de sódio em mmol_c L⁻¹;

Ca²⁺ = Concentração de cálcio em mmol_c L⁻¹; e

Mg²⁺ = Concentração de magnésio em mmol_c L⁻¹.

Tabela 6. Análise química das águas aplicada nas três irrigações para cada solo (Vertissolo e Argissolo).

Característica química da água de irrigação	Vertissolo			Argissolo		
	1 ^a Irrigação	2 ^a Irrigação	3 ^a Irrigação	1 ^a Irrigação	2 ^a Irrigação	3 ^a Irrigação
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,72
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,38
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	0,40	0,20	0,30	1,30	0,40	0,24
Potássio (mmol _c L ⁻¹)	0,30	0,20	0,30	0,20	1,00	0,14
SOMA	1,70	1,40	1,60	2,50	2,60	1,48
Carbonatos (mmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos (mmol _c L ⁻¹)	0,60	0,50	0,60	0,60	0,60	0,50
Sulfatos (mmol _c L ⁻¹)	0,70	0,50	0,40	0,80	1,10	0,30
Cloretos (mmol _c L ⁻¹)	0,70	0,50	0,70	0,50	1,10	0,50
SOMA	2,00	1,50	1,70	1,90	2,80	1,30
Ph	6,15	5,93	6,20	6,80	6,59	6,31
C.E. (25°C) - dS m ⁻¹	0,15	0,12	0,20	0,28	0,21	0,13
RAS	0,57	0,28	0,42	1,84	0,52	0,32

2.1.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise da variância para as comparações múltiplas das médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todos os resultados das análises estatísticas foram realizadas no software Statistical Analyses System – SAS (2004).

2.2 - Experimento II: Carreamento de nutrientes pela água em sulcos de irrigação em áreas cultivadas com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).

2.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2x3 com três repetições, sendo dois solos, dois locais de coleta de água e três eventos de irrigação. Amostras de água foram coletadas antes de entrar no sulco de irrigação e nos drenos no final do sulco, durante as três primeiras irrigações realizadas após a adubação nas duas áreas experimentais. As atividades foram realizadas durante o período de agosto de 2011 a setembro de 2011.

2.2.2 Coleta e análise de água

A água para a irrigação foi bombeada do rio São Francisco até os canais de terra (canal principal) de onde a água foi derivada para canais secundários, responsáveis pela distribuição de água para os sulcos. O canal principal situava-se na parte mais alta da gleba, em posição longitudinal aos sulcos e possuía a dimensão média de 1,0 m de largura e 0,50 metros de profundidade, com uma declividade média de 0,1%. O canal secundário estava em posição transversal aos sulcos e apresentava em média 0,70 m de largura com declividades variando de 3,0 a 4,0%. Os sulcos de irrigação foram construídos no sentido da maior declividade da área, com 100 metros de comprimento e 0,20 m de profundidade com espaçamento de 1,0 metros com tendência a 0,002 % de declive, Figura 14. A distribuição de água nos sulcos de irrigação foi feita manualmente, onde um operário utiliza uma “bandeira” (manta de plástico com alça) para desviar a água do canal secundário para o sulco.

As coletas foram realizadas de forma aleatória, com intervalo de quatro sulcos entre os três sulcos analisados, sendo coletadas uma na saída do canal secundário (antes de entrar no sulco de irrigação) e três no final dos sulcos de irrigação (entrada

do dreno receptor), para cada irrigação efetuada. As amostras foram coletadas com recipientes plásticos de 2 L. No período em estudo, no total, foram realizadas três irrigações com turno de rega de 12 dias, aproximadamente.

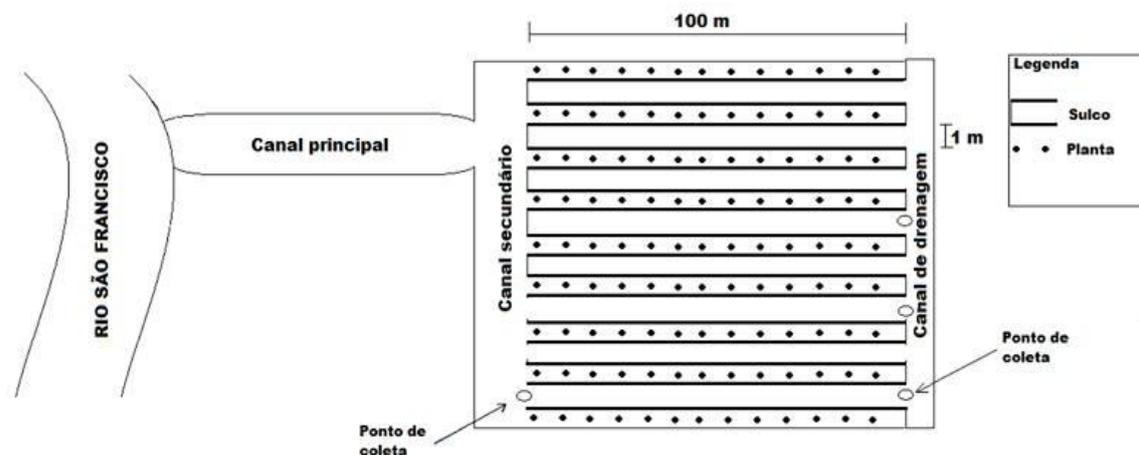


Figura 14. Croqui das áreas experimentais, onde foram realizadas as coletas.

As análises químicas das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Semiárido, Petrolina PE, de acordo com as metodologias apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Características químicas e metodologias utilizadas para as análises de água das amostras coletadas.

CARACTERÍSTICAS	METODOLOGIA	REFERÊNCIA
pH	Eletrométrico	
Condutividade elétrica	Eletrométrico	
Cálcio	Titulação com EDTA	
Magnésio	Titulação com EDTA	
Sódio	Fotometria de chama	APHA, 2011
Potássio	Fotometria de chama	
Carbonato	Titulação com H ₂ SO ₄	
Bicarbonato	Titulação com H ₂ SO ₄	
Sulfato	Turbidimetria	
Cloreto	Titulação com nitrato de prata	

2.2.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o pacote estatístico SAS – Statistical Analysis System (SAS INSTITUTE, 2004) e para comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. E com base na matriz de somas de quadrados e produtos obtidos na análise de variância multivariada (MANOVA), foram calculados os coeficientes de correlação parcial também com auxílio do programa estatístico SAS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Experimento I: Mobilidade de nutrientes em dois solos do semiárido baiano cultivados com cana-de-açúcar irrigada por sulco.

3.1.1 Cátions básicos e pH

Informação sobre a movimentação da água em sulco de irrigação e a sua influência na dinâmica dos nutrientes do solo é limitada, embora de grande importância, pois possibilita o uso racional de fertilizantes no solo.

A influência da irrigação por sulco no valor de pH e nas concentrações de Ca, Mg e K variou com o tipo de solo, com o local que a amostra foi coletada na linha de irrigação e com a profundidade da amostragem. Cada fator dessa interação tripla foi estudado a nível fixo de outros dois fatores.

A influência da irrigação nas características químicas do solo foi avaliada em diferentes locais. O pH do solo variou de 7,68 a 8,0 em L₅; de 7,75 a 8,23 em L₅₀ e de 7,85 a 8,17 em L₉₅ no Vertissolo para as profundidades P₁₀ e P₈₀, respectivamente. Essa mesma tendência foi observado para o Argissolo onde o pH do solo variou de 6,35 a 7,18 em L₅; de 6,32 a 7,96 em L₅₀ e de 6,33 a 8,65, em L₉₅, para as mesmas profundidades (Tabela 8). Ou seja, independente do tipo de solo, a irrigação promove o aumento do pH com a profundidade.

Entretanto, a magnitude desse aumento, diferença de pH entre P₈₀ e P₁₀ foi dependente do tipo de solo. Por exemplo, o aumento do pH foi de 0,32, 0,48 e 0,32 unidades de pH para o Vertissolo e de 0,83, 1,64 e 2,32 unidades de pH para o Argissolo, respectivamente para as médias de L₅, L₅₀ e L₉₅, Tabela 8. A menor variação de pH no Vertissolo, deve ser atribuído à sua capacidade tampão (CTC =34,29) a qual é 5,37 vezes maior do que o Argissolo (CTC=6,38), maior teor de MO e argila, Tabela 1a. Essas características proporcionam ao Vertissolo uma maior capacidade de retenção de água e nutrientes, logo menores são as variações ocorridas nesse solo.

Para os dois solos, os maiores valores de pH ocorreram nas profundidades maiores que 0,40 m, Tabela 8. O aumento do pH com a profundidade pode ser

atribuído a pelo menos três fatores: as maiores concentrações de Ca, Mg e Na nas camadas subsuperficiais, devido a lixiviação desses nutrientes em decorrência das forças gravitacionais, e a fatores que influenciam de forma significativa as concentrações de cátions básicos na solução do solo como o volume de água que percola (ERNANI et al., 2007). Quanto maior o volume de água que percola através do perfil do solo, e menor a capacidade de retenção de cátion do solo, maior é a lixiviação de Ca^{+2} e Mg^{+2} do solo; à maior presença de ânions na solução do solo, principalmente em solos com textura arenosa a média, os quais neutralizam as cargas positivas de Ca^{+2} e de Mg^{+2} os quais são arrastados para camadas mais profundas do solo (MALAVOLTA e VIOLANTE NETTO, 1989); e, a formação de complexos de compostos orgânicos solúveis lixiviado da matéria orgânica com Ca^{+2} e o Mg^{+2} e que, na camada subsuperficial esses nutrientes deslocam o Al trocável do solo, formando complexos mais estáveis, diminuindo a acidez trocável e aumentando os teores de cátions básicos nas camadas inferiores (ZANÃO JÚNIOR, et al., 2007). Santos et al. (2002), trabalhando com diferentes formas de manejo da água e da aplicação do fertilizante potássico na cultura do arroz irrigado verificaram maiores valores de pH com aumento da profundidade de amostragem. Porém, valores muito alto de pH podem afetar o desenvolvimento das culturas devido à redução na disponibilidade de micronutrientes, como manganês, cobre, zinco e ferro (HE et al., 2005).

A concentração de Ca, no Vertissolo, variou de 23,45 a 26,47 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_5 , de 27,61 a 31,88 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{50} e de 29,62 a 34,37 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{95} , e de 4,95 a 11,97 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_5 , de 4,78 a 12,78 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{50} e de 5,71 a 11,16 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{95} , Tabela 8. Independente do tipo de solo, os teores de Ca aumentaram com a profundidade, nos locais L_5 e L_{95} do Vertissolo e em todos os locais avaliadas do Argissolo, ou não alteraram com a profundidade, como em L_{50} do Vertissolo, Tabela 8.

As concentrações de Ca no Vertissolo no local de coleta L_5 foi menor do que nos locais L_{50} e L_{95} nas profundidades P_{10} , P_{20} e P_{40} indicando uma maior tendência de movimento horizontal do que vertical do Ca nesse solo. Em contraste, no Argissolo, existe também tendência para a movimentação horizontal do Ca, mas o aumento da concentração do elemento com a profundidade é maior. Essa diferença de distribuição do Ca nos dois solos é reflexo da capacidade tampão e da

capacidade de infiltração da água no solo. Por exemplo, no Vertissolo onde a infiltração da água foi mais lenta (VIB = 0,40 mm/h), Tabela 2, o movimento horizontal dos cátions mais solúveis em água, como Ca^{+2} , deve ser maior do que o movimento vertical. Já em solos com maior capacidade de infiltração da água, como o Argissolo (VIB = 25,66 mm/h), Tabela 4, o movimento vertical de cátions mais solúveis em água tende ser maior do que o movimento horizontal. Em suporte a essa informação a concentração de Ca no Vertissolo em P_{10} é cerca de 5 vezes maior do que no Argissolo, mas em P_{80} esse valor é reduzido para cerca de 2,5 vezes, e isso ocorreu devido a um maior acúmulo de Ca em profundidade no Argissolo do que no Vertissolo, Tabela 8.

A concentração de Mg no Vertissolo variou de 2,69 a 3,60 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_5 , de 2,66 a 3,34 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{50} e de 2,97 a 3,28 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{95} , Tabela 8. Como a concentração de Ca no Vertissolo foi entre 6 a 10 vezes maior do que a do Mg, o comportamento desse elemento foi mascarado pela concentração muito maior do Ca e a irrigação não afetou a concentração do Mg nem em profundidade nem com o local de amostragem. Já no Argissolo, a concentração de Mg variou de 2,81 a 9,57 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_5 , de 2,76 a 9,35 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{50} e de 3,50 a 7,41 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{95} , Tabela 8. O comportamento do Mg foi semelhante ao do Ca, ou seja, a maior capacidade de infiltração da água nesse solo contribuiu para que o aumento da concentração de Mg fosse maior com a profundidade do que com o local de amostragem, Tabela 8.

Devido a menor mobilidade do K nos solos em comparação ao Ca e Mg, a concentração desse elemento não foi influenciada pelo local de amostragem, e sim pela profundidade de amostragem. A concentração de K no Vertissolo variou de 0,12 a 0,80 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_5 , de 0,13 a 0,56 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{50} e de 0,12 a 0,73 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{95} , e de 0,15 a 0,37 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_5 , de 0,20 a 0,49 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{50} e de 0,13 a 0,61 $\text{Cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em L_{95} , do Argissolo, Tabela 8. Nos dois solos, a maior concentração de K ocorre nos primeiros 10 cm para o Vertissolo, ou nos primeiros 20 cm de profundidade para o Argissolo, devido a menor solubilidade do K em água. Falcão e Escosteguy (2013), estudando a variação da fertilidade química de um Latossolo Vermelho aluminoférrico em função da profundidade mostraram que esse nutriente também decresceu com a profundidade de amostragem. A redução gradativa do K com a profundidade também pode ser atribuída à absorção desse

nutriente pela cana-de-açúcar, já que é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura da cana-de-açúcar (ORLANDO FILHO, 1993).

Tabela 8. Concentração média de pH, Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e K ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em cinco profundidades de 0 a 80 cm e três locais ao longo do sulco de irrigação (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) para Vertissolo e Argissolo, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

		VERTISSOLO			ARGISSOLO		
		Local no sulco			Local no sulco		
		L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}
pH	P_{10}	7,68 bA	7,75 dA	7,85 bA	6,35 bA	6,32 bA	6,33 bA
	P_{20}	7,70 bB	7,88 cdA	7,89 bA	6,37 bA	6,48 bA	6,48 bA
	P_{40}	7,88 abA	7,98 bcA	8,00 abA	6,41 bA	6,48 bA	7,01 bA
	P_{60}	7,93 aB	8,11 abA	8,08 aA	6,80 abB	7,25 aB	7,98 aA
	P_{80}	8,00 aB	8,23 aA	8,17 aA	7,18 aC	7,96 aB	8,65 aA
	Média	7,84	7,99	8,00	6,62	6,90	7,29
Mg	P_{10}	3,60 aA	3,34 aA	2,97 aA	3,46 cA	2,76 cA	3,50 bA
	P_{20}	3,30 aA	2,99 aA	3,26 aA	2,81 cA	3,63 cA	3,86 bA
	P_{40}	2,76 aA	2,73 aA	3,05 aA	3,63 cB	6,35 bA	5,47 abA
	P_{60}	2,69 aA	2,66 aA	3,28 aA	7,97 bAB	9,35 aA	7,20 aB
	P_{80}	3,07 aA	3,15 aA	3,28 aA	9,57 aA	8,89 aAB	7,41 aB
	Média	3,08	2,97	3,17	5,49	6,20	5,49
Ca	P_{10}	23,45 bB	27,61 aA	29,62 bA	5,29 cdA	4,78 dA	5,71 cA
	P_{20}	26,47 aB	30,43 aA	32,39 aA	4,95 dB	6,27 cA	7,13 bcA
	P_{40}	25,76 abB	31,88 aA	32,94 aA	6,38 cB	9,55 bA	8,73 bA
	P_{60}	25,97 abB	29,15 aAB	34,01 aA	10,49 bB	12,93 aA	10,93 aB
	P_{80}	24,77 abB	31,83 aA	34,37 aA	11,97 aAB	12,78 aA	11,16 aB
	Média	25,28	30,18	32,67	7,82	9,26	8,73
K	P_{10}	0,88 aA	0,56 aA	0,73 aA	0,37 aA	0,49 aA	0,61 aA
	P_{20}	0,50 bA	0,32 bA	0,38 bA	0,24 abA	0,33 abA	0,38 bA
	P_{40}	0,21 cA	0,17 cA	0,16 bcA	0,15 bA	0,24 abA	0,20 cA
	P_{60}	0,15 cA	0,13 cA	0,13 cA	0,15 bA	0,22 abA	0,15 cA
	P_{80}	0,12 cA	0,14 cA	0,12 cA	0,15 bA	0,20 bA	0,13 cA
	Média	0,37	0,26	0,30	0,21	0,30	0,29

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios da soma de Ca, Mg e K antes e depois da adubação e irrigação, nos diferentes locais e profundidades para os dois solos são apresentadas nas Figuras 15 e 16. A distribuição dos cátions no perfil quando comparando concentrações antes e após a adubação e irrigação, indicam uma tendência desses nutrientes redistribuírem após a irrigação. Por exemplo, no Vertissolo, antes da irrigação e adubação, a concentração de Ca+Mg+K era de 30,74; 33,84; 33,05; 34,74 e 33,63 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ P₁₀, P₂₀, P₄₀, P₆₀ e P₈₀, respectivamente, e que passaram à 30,92; 33,34; 33,22; 32,72 e 33,61 $\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$ após a adubação e irrigação. O processo de redistribuição dos cátions é como difusão dos elementos das profundidades de maior concentração para maiores profundidades com menor concentração. Em L₅ e L₉₅ são semelhantes comparando antes e depois da irrigação, e que depois da irrigação houve um aumento nos valores da soma desses elementos. No entanto, em L₅₀ acontece o contrário, após adubação e irrigação, os valores da soma são menores que os valores encontrados inicialmente no solo, mesmo depois de serem adubados, Figura 15. O que pode estar acontecendo é uma perda desses elementos por lixiviação ou carreamento para locais fora da área em estudo.

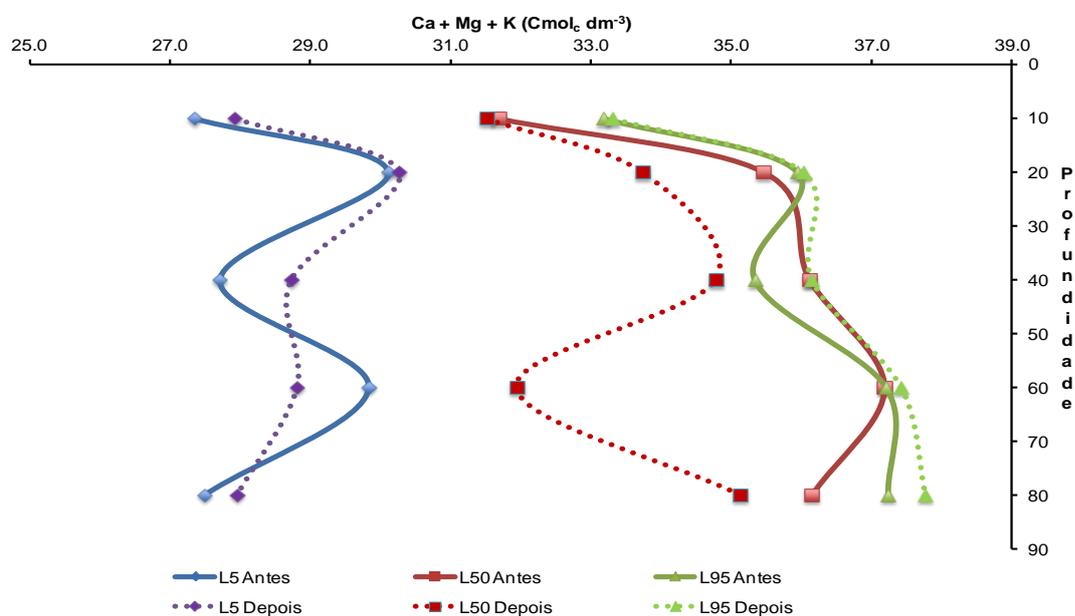


Figura 15. Valores médios da soma de Ca, Mg e K em três locais no sulco de irrigação (L₅, L₅₀ e L₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

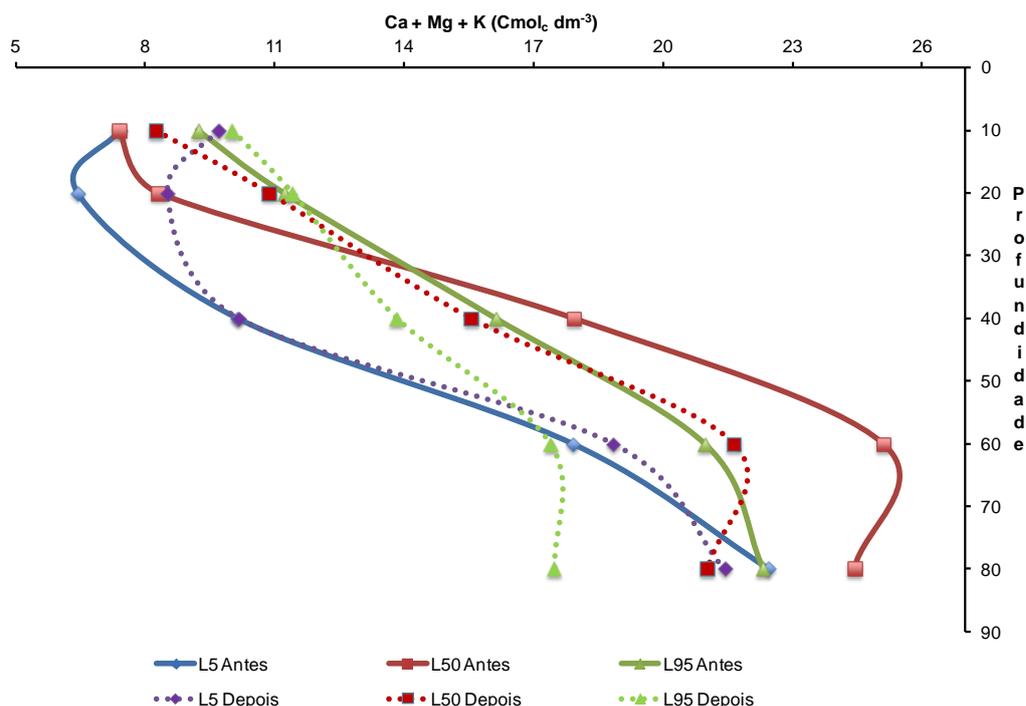


Figura 16. Valores médios da soma de Ca, Mg e K em três locais no sulco de irrigação (L₅, L₅₀ e L₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Os teores de sódio trocável (Na) variaram com a época, local e profundidade de amostragem, Tabela 9. O Na é um dos elementos mais móveis principalmente em solos com boa taxa de infiltração, como o Argissolo. No Vertissolo, a concentração de Na não variou com a profundidade de amostragem no local L₅, independente da época de amostragem. Entretanto, em L₅₀, que parece ser o local de maior infiltração para o Vertissolo, a concentração do elemento aumentou com a profundidade nas épocas 1, 2 e 4 e no local L₉₅ para a época 3, Tabela 9. Considerando-se as profundidades estudadas como parte da zona radicular da cana-de-açúcar, o acúmulo do íon Na⁺ pode representar limitação ao desenvolvimento das plantas (MEIRELES et al., 2003). Como tinha sido observado para o Ca, as concentrações de Na parecem ter sido afetadas mais pelo local de amostragem (Figura 17 e 18) do que pela profundidade de amostragem, principalmente para as épocas de amostragem 1, 2 e 4, Tabela 9.

Para o Argissolo, o comportamento do Na⁺ foi o oposto do observado para o Vertissolo. A movimentação do sódio com a profundidade foi maior do que com o

local que as amostras foram tomadas na linha de irrigação, independente da época de amostragem. Ou seja, aumentando a capacidade de infiltração do solo maior será o teor do elemento com a profundidade.

O aumento da concentração de sódio (Na^+) nos solos pode promover a dispersão do mesmo e redução, com o concomitante aumento da microporosidade e redução da infiltração. As chances desses processos ocorrerem, é quando a percentagem de saturação de Na^+ no solo se aproxima de 15%. No presente estudo, valores de saturação de Na^+ maior do que 15% foram encontrados ou se aproximaram para L_5 e para $P > P_{20}$, para o Argissolo, Figura 17. Ou seja, o atual manejo de água está conduzindo a sodificação do Argissolo.

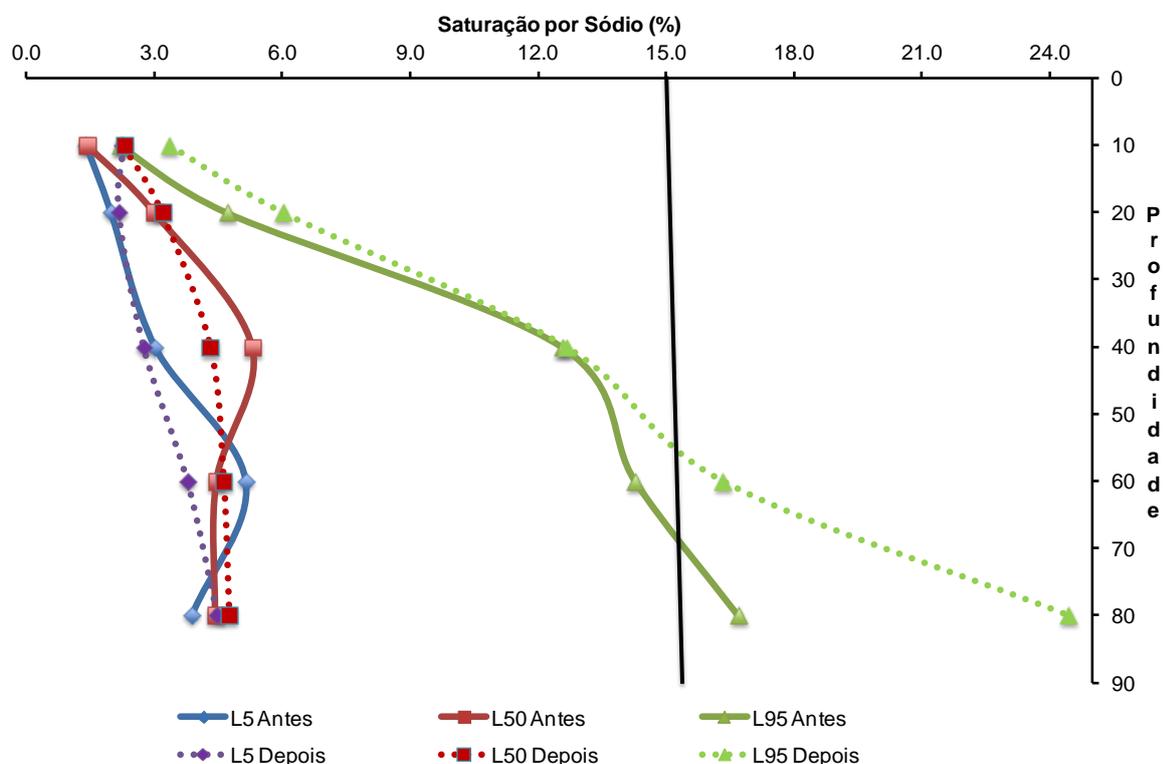


Figura 17. Valores médios de saturação por sódio (%) em três locais no sulco de irrigação (L_5 , L_{50} e L_{95}) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

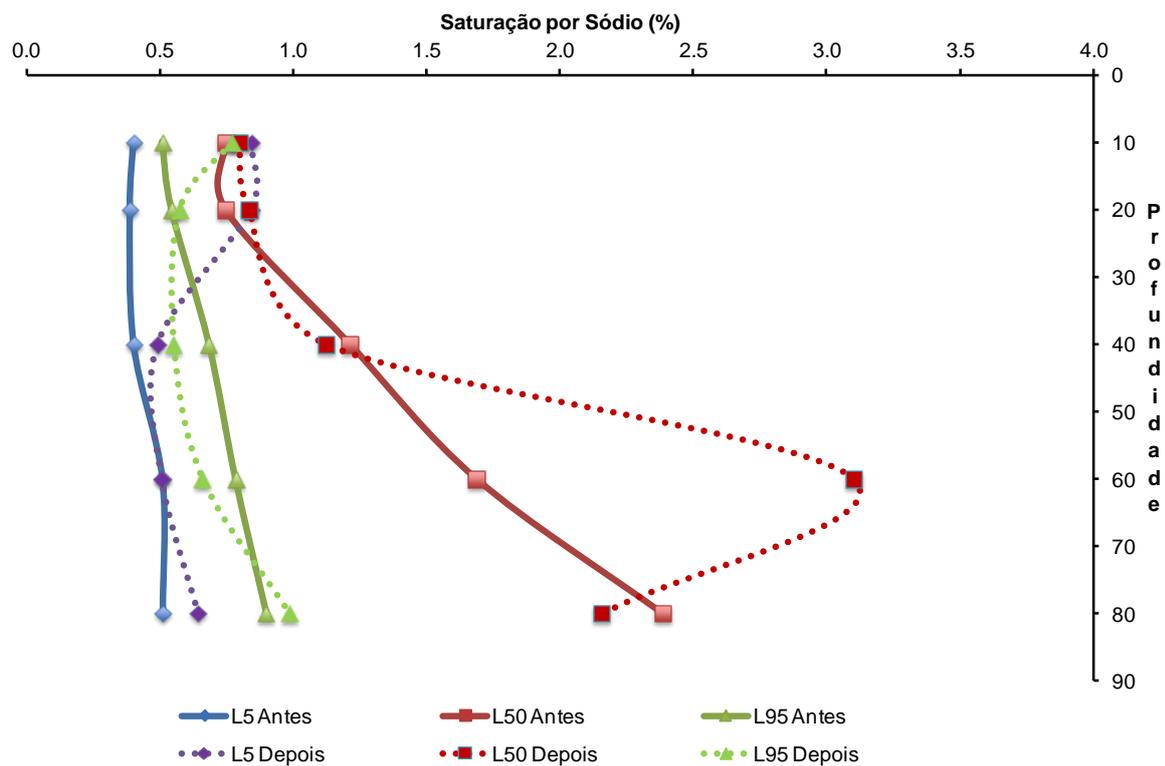


Figura 18. Valores médios de saturação por sódio (%) em três locais no sulco de irrigação (L₅, L₅₀ e L₉₅) para épocas antes da adubação e irrigação e depois da adubação e irrigação, em VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Tabela 9. Valores médios de **sódio** ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (Época 1 – antes da adubação; Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; Época 3 – após a segunda irrigação e Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Sódio - Na^+ ($\text{Cmol}_c \text{dm}^{-3}$)												
Profundidade (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}
Vertissolo												
P₁₀	0,12 aB	0,25 dA	0,17 aAB	0,36 aA	0,24 bA	0,33 aA	0,25 aA	0,25 aA	0,33 abA	0,14 aB	0,29 cA	0,16 aB
P₂₀	0,12 aB	0,27 dB	0,20 aAB	0,15 aA	0,27 bA	0,25 aA	0,23 aA	0,32 aA	0,23 bA	0,12 aB	0,25 cA	0,16 aAB
P₄₀	0,12 aB	0,45 cA	0,25 aAB	0,12 aB	0,45 bA	0,17 aB	0,20 aB	0,43 aA	0,27 abAB	0,11 aA	0,30 cA	0,17 aA
P₆₀	0,16 aB	0,66 bA	0,30 aAB	0,13 aB	0,76 aA	0,29 aB	0,19 aB	0,83 aA	0,24 abB	0,12 aB	0,50 bA	0,21 aAB
P₈₀	0,14 aB	0,89 aA	0,34 aB	0,13 aC	0,98 aA	0,43 aB	0,20 aA	0,57 aA	0,38 aA	0,23 aB	0,79 aA	0,32 aAB
Média	0,13	0,50	0,25	0,18	0,54	0,29	0,22	0,48	0,29	0,14	0,43	0,20
Argissolo												
P₁₀	0,13 cA	0,17 bA	0,25 cA	0,41 bA	0,37 bA	0,41 bA	0,14 bC	0,20 bB	0,49 bA	0,19 bA	0,13 cA	0,40 cA
P₂₀	0,17 cB	0,35 bAB	0,62 cA	0,22 bC	0,36 bB	0,86 abA	0,27 bB	0,23 bB	0,69 bA	0,19 bC	0,61 bB	1,00 bcA
P₄₀	0,39 bC	1,13 aB	2,33 bA	0,41 bA	1,02 aA	1,86 abA	0,23 bB	0,42 bB	2,52 abA	0,32 bB	0,91 aAB	1,92 abA
P₆₀	1,02 aB	1,22 aB	3,48 abA	0,67 abB	1,13 aB	4,23 abA	0,71 aA	1,13 aA	2,49 abA	1,00 aA	1,12 aA	2,93 aA
P₈₀	1,04 aB	1,31 aB	4,36 aA	1,07 aB	1,01 aB	7,52 aA	1,02 aB	1,19 aB	4,40 aA	1,05 aB	1,08 aB	3,22 aA
Média	0,55	0,84	2,21	0,56	0,78	2,98	0,47	0,64	2,12	0,55	0,77	1,89

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

3.1.2 Matéria orgânica e fósforo

Os teores de matéria orgânica (MO) e fósforo (P) foram dependentes da interação entre os solos, das épocas de avaliação, dos locais na linha de irrigação e das profundidades de amostragem do solo.

A distribuição de P no perfil do solo em anos de cultivo com cana-de-açúcar, em função da época de avaliação e local na linha de irrigação por sulco são apresentadas na Tabela 10.

A distribuição dos teores de P nas diferentes épocas de amostragem, nos diferentes locais na linha de irrigação e profundidades, indicam que a distribuição do nutriente apresenta características semelhantes para os dois solos. A concentração referência de P no Vertissolo, época 1, determinada antes do início da adubação e irrigação indica que os teores de P variaram de P_{80} a P_{10} em: 1,03 mg kg⁻¹ a 31,30 mg kg⁻¹; 1,55 mg kg⁻¹ a 31,20 mg kg⁻¹; e 2,40 mg kg⁻¹ a 8,14 mg kg⁻¹ para os locais L_5 , L_{50} e L_{95} , respectivamente, Tabela 10. A concentração referência de P para o Argissolo variou de P_{80} a P_{10} em: 1,89 mg kg⁻¹ a 3,64 mg kg⁻¹; 0,85 mg kg⁻¹ a 24,19 mg kg⁻¹; e 3,09 mg kg⁻¹ a 18,58 mg kg⁻¹ para os locais L_5 , L_{50} e L_{95} , respectivamente, Tabela 10. Ou seja, as concentrações de P são maiores na camada superficial do que nas camadas subsuperficiais. Os valores apresentados para época 2 indicam as novas concentrações de P após a fertilização do solo e início da irrigação e nas épocas 3 e 4 os teores do elemento no solo ao longo do cultivo da cultura.

As maiores concentrações de P foram encontradas na P_{10} , seguido da profundidade P_{20} . Os teores de P foram menores nas demais profundidades. A maior concentração de P na P_{10} deve-se a diferentes fatores. Entre os macronutrientes, o fósforo é o nutriente menos solúvel em água; o fosfato apresenta diversas interações possíveis com cátions na solução e com a fração sólida do solo, como consequência, a maior parte do P-inorgânico presente no solo ou aplicado como fertilizante, apresenta baixa mobilidade (BARBER, 1984) e tende a se concentrar nas camadas superficiais; e, o monofosfato de amônia foi aplicado, na época 2, na superfície do solo.

Falcão e Escosteguy (2013) avaliaram a variação química de um Latossolo Vermelho aluminoférrico em função da profundidade e relataram redução do teor de

P-inorgânico com a profundidade de amostragem, resultado semelhante ao encontrado nesse trabalho. Corá et al. (2004), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos, nas profundidades P_{10} , P_{20} e P_{60} de Latossolos em áreas de intenso cultivo com cana-de-açúcar, verificaram que a média dos valores de P na camada superficial foi de $25,7 \text{ mg dm}^{-3}$ e na camada subsuperficial e $11,9 \text{ mg dm}^{-3}$, redução de 53,69%.

Pelos teores de referência de P nos dois solos, época 1, os teores de P no Vertissolo tendem a ser maiores do que no Argissolo, Tabela 10. A adubação fosfatada, entretanto, resultou em concentrações de fosfato muito menores no Argissolo do que no Vertissolo. A diferença de P nos dois solos pode ser atribuída à diferença dos teores de matéria orgânica (Figura 19) nos dois solos e a possível explicação para esse resultado pode ser a mineralogia dos solos. Em sistemas de manejo, nos quais a aplicação de fertilizantes é em superfície, ocorre acúmulo de fósforo nos primeiros centímetros de profundidade devido à mínima mobilização do solo e da ciclagem dos resíduos da superfície (MUZILLI, 1983). O conteúdo de matéria orgânica, a umidade e a mineralogia são alguns dos fatores que afetam a disponibilidade de fósforo no solo (ROMERO, 2009).

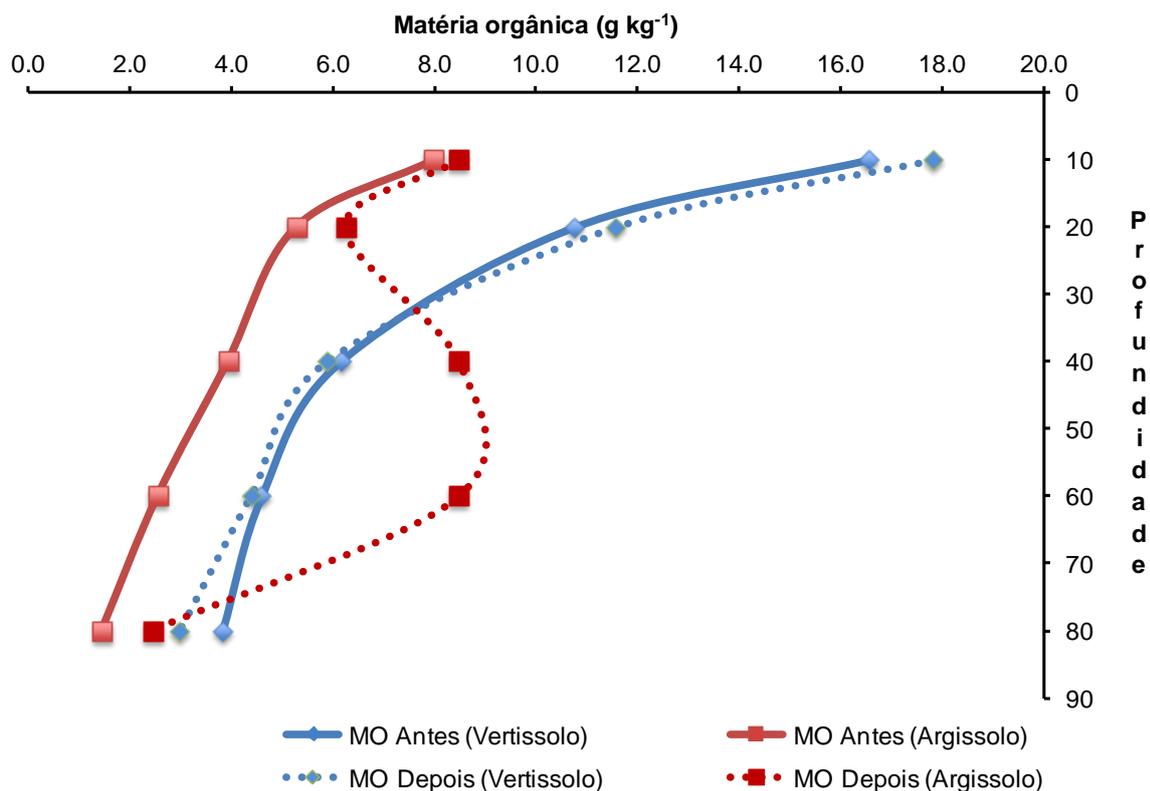


Figura 19. Valores médios de **matéria orgânica** (mg kg^{-1}) em função da profundidade (cm) para épocas antes da adubação e irrigação (E1) e depois da adubação e irrigação (E2), em Vertissolo e Argissolo, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

A baixa mobilidade do P no solo, a distribuição irregular do fertilizante na área experimental ao longo dos anos e a variabilidade espacial natural do elemento na área tem contribuído para uma grande variabilidade nos dados obtidos nas diferentes épocas. Por exemplo, após aplicação do fertilizante e irrigação (Época 2) os valores de P deveriam aumentar proporcionalmente, já que os pontos de amostragem foram os mesmos, mas isso não aconteceu. Verificou-se que na camada superficial, os valores de P variaram, aproximadamente, 66,0 %, 31,86 % e 84,55 % respectivamente para (L_5 , L_{50} e L_{95}), da época 1 (antes da adubação) a época 2 (depois da adubação e irrigação), Tabela 10. Isso evidencia a desuniformidade de distribuição do fertilizante ao longo da linha de irrigação por sulco independente da época de avaliação.

A amplitude da diferença de valores dos dados revela que a dose recomendada de fertilizante fosfatado estará subdimensionada, adequada ou aplicada de forma excessiva na área experimental. Prejuízos econômicos podem

advir nessa área devido à aplicação desnecessária e ao desequilíbrio nutricional que poderá ocorrer pela quantidade de nutrientes que serão disponibilizados às plantas.

Esse fato foi confirmado no presente estudo, onde a presença de MO e P na profundidade P_{20} com valor expressivo é atribuído à incorporação de resíduos pelas operações de aração e gradagem realizadas no manejo do solo antes da implantação da cultura. Resultados semelhantes foram encontrados por De Bona et al. (2006), que avaliaram o efeito da irrigação por aspersão na dinâmica da MO e nos estoques de C orgânico de um Argissolo Vermelho manejado em plantio direto e preparo convencional. Concluíram que a taxa de decomposição dos resíduos de aveia preta aumentou com a suplementação hídrica no solo, e os resultados corroboram com o efeito da irrigação no aumento da taxa de decomposição da MO no solo.

O P apresentou teores que variaram desde 0,80 até 92 mg dm^{-3} , isto é, verificou-se que, em determinados locais, os teores de P foram considerados baixos, em outros médios e em outros altos. Na Tabela 10, é possível verificar na profundidade P_{20} , antes da adubação fosfatada (Época 1) uma redução de 73,99 % do teor de P encontrado no início (31,30 mg dm^{-3}) para o final do sulco (8,14 mg dm^{-3}).

Em todas as épocas de avaliação houve diferença nos teores de MO entre os locais, que variava em profundidade. Por exemplo, na época 1, essa diferença se encontra nas duas primeiras profundidades; na época 2, na superfície do solo; na época 3, essa diferença se apresenta na profundidade de P_{20} . E na época 4, foi possível observar variação nos teores de MO entre locais ao longo do sulco na última profundidade (P_{80}), Tabela 11. Este último resultado pode ser atribuído à mineralização da matéria orgânica com o aumento da umidade do solo, após três irrigações.

De Bona et al. (2006) afirmaram que a irrigação pode intensificar a decomposição microbiana da MO por aumentar o conteúdo de água no solo, e evidências do efeito favorável da suplementação hídrica na atividade da microbiota foram obtidas por Andrén et al. (1992), os quais verificaram maior taxa de decomposição da palha de cevada em sistema irrigado (0,843 $\% \text{ dia}^{-1}$), em comparação ao não irrigado (0,537 $\% \text{ dia}^{-1}$). Esses resultados evidenciam que condições de umidade mais favoráveis à atividade dos microrganismos do solo

refletem também em aumento da taxa de decomposição da MO. Além da umidade outros fatores intensificam o processo de mineralização da MO, como temperatura e características físicas e mineralógicas do solo.

A irrigação tem efeito sobre a adição de resíduos vegetais e pode afetar a taxa de decomposição da matéria orgânica (MO), sendo a influência dessa prática nos estoques de C orgânico do solo resultante da magnitude de ambos os efeitos (DE BONA, et al., 2006).

Tabela 10. Valores médios de **fósforo** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (Época 1 – antes da adubação; Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; Época 3 – após a segunda irrigação e Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Fósforo – P (mg dm^{-3})												
Profundidade (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}
Vertissolo												
P₁₀	31,30 aA	31,20 aA	8,14 aB	92,67 aA	45,79 aC	52,70 aB	45,30 aA	31,66 aB	43,75 aAB	37,30 aA	11,04 aC	21,59 aB
P₂₀	28,10 aA	11,79 bB	5,99 abB	34,98 bA	8,56 bB	7,63 bB	42,25 aA	7,67 bC	15,40 bB	24,86 bA	7,80 bB	13,18 bB
P₄₀	3,48 bA	2,28 cB	3,90 bA	5,85 cA	3,69 cA	5,98 bcA	4,15 bA	3,72 bcA	4,63 cA	2,69 cB	4,10 cAB	5,74 cA
P₆₀	2,35 bA	1,82 cA	3,25 bcA	5,70 cA	1,90 cdA	4,65 bcA	4,72 bA	2,30 cB	4,76 cA	2,29 cB	1,48 dB	5,15 cA
P₈₀	1,03 bB	1,55 cAB	2,40 cA	4,80 cA	1,50 dA	2,23 cA	3,75 bA	1,95 cA	2,73 cA	0,62 cB	1,00 dB	2,23 cA
Média	13,25	9,73	4,74	28,80	12,29	14,64	20,03	9,46	14,25	13,55	5,08	9,58
Argissolo												
P₁₀	3,64 aB	24,19 aA	18,58 aA	5,18 aC	47,04 aA	22,03 aB	6,05 aB	10,95 aB	26,68 aA	13,63 aA	5,66 aB	4,68 aB
P₂₀	2,68 bB	3,02 bB	7,48 bA	3,45 bC	38,64 bA	10,63 bB	3,83 bA	4,48 bB	16,58 bA	7,57 bA	2,85 bB	2,03 bB
P₄₀	2,43 bB	1,70 bcB	5,70 bcA	2,38 bcB	3,89 cA	4,61 cdA	2,35 bcA	3,35 bA	4,75 cdA	4,38 cA	2,25 bcB	1,59 bB
P₆₀	2,20 bB	0,98 cC	4,23 bcA	2,15 bcA	3,19 cA	4,98 cA	1,85 cA	1,98 bA	4,78 cA	1,64 dA	1,43 cA	1,78 bA
P₈₀	1,89 bB	0,85 cC	3,09 cA	1,88 cA	1,69 cA	3,06 cA	0,80 cB	1,00 bB	2,20 dA	1,38 dB	1,20 cB	1,82 bA
Média	2,57	6,15	7,81	3,01	18,89	9,06	2,98	4,35	11,00	5,72	2,68	2,38

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11. Valores médios de **matéria orgânica** (g kg^{-1}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (Época 1 – antes da adubação; Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; Época 3 – após a segunda irrigação e Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Matéria orgânica – MO (g kg^{-1})												
Profundidade (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}
Vertissolo												
P₁₀	12,33 aC	23,79 aA	13,55 aB	14,56 aB	40,09 aA	13,27 aB	15,03 aA	22,47 aA	13,62 aA	12,73 aA	14,41 aA	14,32 aA
P₂₀	10,75 bAB	8,66 bB	12,87 aA	10,41 bA	10,69 bA	9,17 bA	14,37 aA	10,75 abA	12,27 aA	11,66 aA	12,58 aA	12,31 bA
P₄₀	6,52 cA	5,59 cA	6,34 bA	6,07 cA	4,55 cA	6,07 bcA	7,08 bAB	4,79 bB	7,83 bA	4,28 bA	5,14 bA	7,14 cA
P₆₀	4,62 dA	3,76 cA	5,41 bcA	5,04 cA	3,59 cdA	5,07 cA	5,69 bA	4,03 bA	5,31 cA	2,90 bA	3,19 bcA	4,65 dA
P₈₀	3,69 dA	3,41 cA	4,38 cA	3,10 cA	2,55 dA	4,35 cA	3,10 bA	3,27 bA	3,45 cA	1,69 bB	2,17 cAB	3,17 eA
Média	7,58	9,04	8,51	7,84	12,29	7,59	9,05	9,06	8,49	6,65	7,50	8,32
Argissolo												
P₁₀	7,97 aA	7,97 aA	23,97 aA	7,29 aA	7,24 aA	7,55 aA	11,80 aA	8,23 aAB	7,57 aB	11,85 aA	7,86 aA	6,93 aA
P₂₀	5,27 bA	5,09 bA	7,24 bA	4,03 bA	6,65 abA	5,86 abA	7,17 bA	5,76 bA	7,04 aA	7,17 bA	7,03 abA	5,45 abA
P₄₀	3,93 bcA	4,17 bA	3,86 bcA	3,42 bcA	5,17 bcA	4,58 abcA	5,10 cA	4,76 bcA	4,00 bA	4,55 bcA	6,17 bA	4,31 bcA
P₆₀	2,55 cA	2,93 bA	2,21 cA	2,80 bcA	4,31 cdA	2,79 bcA	3,38 cdA	3,69 cdA	2,72 bcA	3,73 cA	3,79 cA	3,31 bcA
P₈₀	1,45 cA	2,14 bA	1,62 cA	2,00 cA	2,62 dA	1,65 cA	2,83 dA	3,07 dA	1,69 cA	2,92 cA	3,03 cA	2,25 cA
Média	4,23	4,46	7,78	3,91	5,20	4,49	6,06	5,10	4,60	6,04	5,58	4,45

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

3.1.3 Micronutrientes

A distribuição de zinco nos solos foi influenciada pela época e local de avaliação, isto é, posição da linha de irrigação e profundidade do solo, Tabela 12. O teor referencial de zinco (Época 1) no Vertissolo, em L₅, variou de 5,64 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,54 mg dm⁻³ (P₆₀). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de zinco aumentou para 15,77 mg dm⁻³ na P₁₀ e 2,70 mg dm⁻³ na P₈₀, ou seja, houve um incremento significativo na profundidade inicial. Os teores de Zn avaliados na época 3 variaram de 4,23 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,68 mg dm⁻³ (P₄₀) e na época 4, de 3,3 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,80 mg dm⁻³ (P₆₀), valores esses semelhantes às concentrações de referência, Tabela 12. Houve uma redução na concentração de Zn com a profundidade, exceto para as épocas 2 e 4, Figura 20A. Sobre a distribuição irregular do Zn com a profundidade, segundo Horowitz e Dantas (1976), a adsorção do Zn, ao longo do perfil, é função do teor e qualidade da argila.

Na metade do sulco (L₅₀), a concentração de referência variou de 6,93 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,74 mg dm⁻³ (P₄₀), sendo a concentração de Zn na primeira profundidade superior às demais. Após a aplicação de fertilizante, a concentração de Zn variou de 1,73 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,20 mg dm⁻³ (P₂₀ e P₄₀) na época 2; de 1,37 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,73 mg dm⁻¹ (P₆₀), na época 3; e de 1,58 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,43 mg dm⁻¹ (P₆₀), na época 4 (Tabela 12). De forma geral, o teor do micronutriente reduziu com a profundidade. O teor de Zn após a fertilização seguidas de irrigações, época 3, foi menor do que o valor de referência, Figura 20B. A redução no teor de Zn, principalmente em superfície pode ser relacionado com diversos fatores, absorção pela planta, carreamento do elemento pela água de irrigação e a retenção do elemento na fase sólida do solo, que, atuando isolados ou em conjunto, proporcionaram a distribuição do elemento.

A concentração de referência de Zn, em L₉₅, variou de 1,61 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,75 mg dm⁻³ (P₆₀). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Zn aumentou para 3,27 mg dm⁻³ (P₁₀) variando a 0,80 mg dm⁻³ em P₄₀. Na época 3, variou de 4,00 mg dm⁻³ (P₈₀) a 0,67 mg dm⁻³ (P₆₀); e de 1,65 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,20 mg dm⁻³ (P₄₀), na época 4, Tabela 12. Na época 3 e 4 há

um acúmulo de Zn na profundidade P₈₀ respectivamente, cerca de 2,67 e 1,09 vezes maior que na profundidade inicial, Figura 20C. O aumento da concentração do Zn com a profundidade nessa distância de avaliação pode ser atribuído a pouca drenagem no final dos sulcos de irrigação, com isso é possível que o nutriente tenha sido lixiviado para profundidades abaixo da linha de distribuição do sistema radicular.

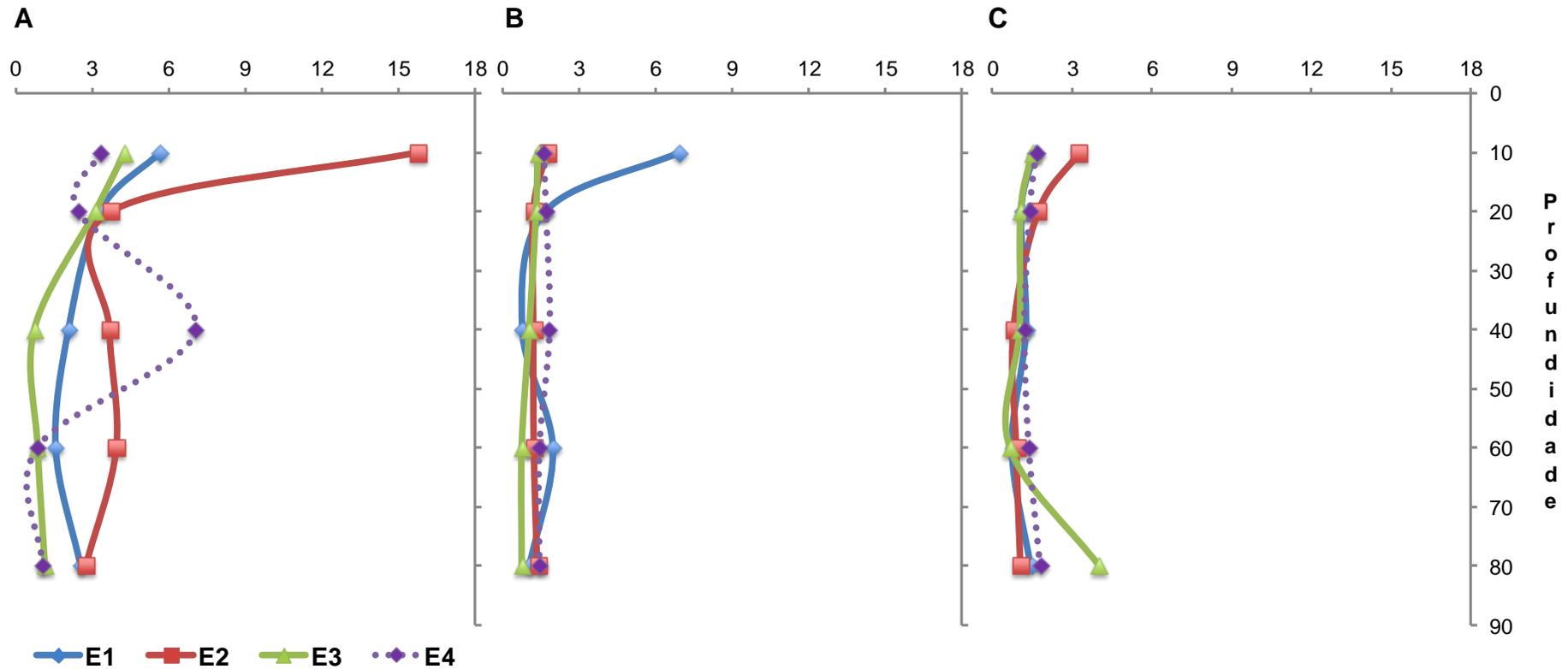


Figura 20. Distribuição de **zinco** (mg dm⁻³) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Apesar do resultado semelhante em relação à distribuição do adubo na superfície do solo, as concentrações de Zn no perfil do Argissolo foram mais consistentes considerando sua distribuição no perfil, Figura 21. Os valores de referência (Época 1), em L₅, variaram de 6,07 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,40 mg dm⁻³ (P₈₀), observando-se uma tendência de redução da concentração de Zn com a profundidade. Após a adição do fertilizante, época 2, o teor de zinco na L₅, variou de 6,47 mg dm⁻³ (P₁₀) a 2,30 mg dm⁻³ (P₈₀), ou seja, não houve incremento de Zn na profundidade inicial porém a concentração de Zn aumentou de 575,0 % em P₈₀ comparando com a concentração de referência. Os teores de Zn, avaliados na época 3, variaram de 5,00 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,96 mg dm⁻³ (P₄₀) e na época 4, 4,73 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,30 mg dm⁻³ (P₆₀), Tabela 12. A redução dos teores de Zn após a segunda irrigação (Época 3), pode ser atribuído, ou à utilização do nutriente pelas plantas, ou à transformações químicas no solo, pela formação de óxido pouco solúvel. Quanto à distribuição no perfil do solo, apenas na profundidade P₈₀ houve diferença entre as épocas de avaliação, Figura 21A.

Na metade do sulco (L₅₀), a concentração de referência variou de 5,00 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,47 mg dm⁻³ (P₆₀). Após a aplicação de fertilizante e irrigação (Época 2) a concentração de Zn variou 2,83 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,97 mg dm⁻³ (P₈₀), de 7,41 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,71 mg dm⁻³ (P₈₀), na época 3; e de 3,80 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,47 mg dm⁻³ (P₈₀), na época 4, Tabela 12. De forma geral o teor do micronutriente reduziu com a profundidade. O teor de Zn após a fertilização, para P₁₀, foi menor do que o valor de referência. Isso se deve à deposição de cinzas com a queima da palhada, ou pode indicar desuniformidade de distribuição do micronutriente no sulco de irrigação. No entanto, houve um aumento da concentração na época 3 para as três profundidades iniciais (P₁₀, P₂₀ e P₄₀) e a distribuição a partir dessas foi regular, Figura 21B.

A concentração de referência de Zn, em L₉₅, variou de 4,83 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,73 mg dm⁻³ (P₈₀). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Zn aumentou para 7,31 mg dm⁻³ em P₁₀ variando a 0,98 mg dm⁻³ em P₈₀. Na época 3, variou de 7,31 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,76 mg dm⁻³ (P₈₀); e de 2,43 mg dm⁻³ (P₄₀) a 1,10 mg dm⁻³ (P₈₀), na época 4, Tabela 12. A partir da profundidade P₂₀ o valor de Zn apresenta distribuição semelhante em todas as

épocas de avaliação, exceto na época 2, onde houve, possivelmente, lixiviação de Zn pela água de irrigação para P₆₀, Figura 21C.

A variação nos teores de Zn, no Vertissolo e no Argissolo, ao longo da linha de irrigação e entre as épocas de coleta de solo, indicam uma possível desuniformidade na distribuição do adubo, proporcionado pela forma de aplicação e/ou um possível carreamento deste nutriente no sulco pela água de irrigação. Este fator pode estar relacionado também pela não determinação do Zn ligado a hidróxidos e carbonatos. Nascimento et al. (2002), verificaram que a solução extratora Mehlich-1, que é o extrator ácido utilizado, é menos indicada para avaliar a disponibilidade de Zn, pois extrai formas pouco disponíveis às plantas ligadas a sítios de adsorção específica, como Zn ligado a hidróxidos e carbonatos.

Segundo Horowitz e Dantas (1976), o Zn permanece vários anos na superfície do solo e que o movimento lateral é bastante reduzido. Neste contexto, os maiores teores de Zn nos primeiros 10 cm dos solos podem ser explicados pela maior quantidade de matéria orgânica na referida camada (Tabela 11), uma vez que a matéria orgânica é uma das principais fontes destes nutrientes no solo. Devemos considerar também que existe uma reposição de nutrientes para os solos proporcionado pelas cinzas da palhada de cana-de-açúcar, queimada para realização da colheita pouco tempo antes da realização das amostragens de solo; e também pelo fato da adubação ter sido realizada na superfície do solo.

Relacionado à fertilidade do solo, Carrijo et al. (2004) citam que, para os nutrientes com forte interação com a matriz do solo e que, predominantemente, se movimentam por difusão, como é o caso do zinco, o aumento da umidade do solo, com a utilização de irrigação, resulta em incremento na eficiência da adubação, especialmente, em solos arenosos. Segundo os autores, isso ocorre quando o fertilizante se concentra na região de maior umidade e maior concentração das raízes; a umidade favorece uma maior disponibilidade do nutriente para a planta e melhora sua movimentação no solo.

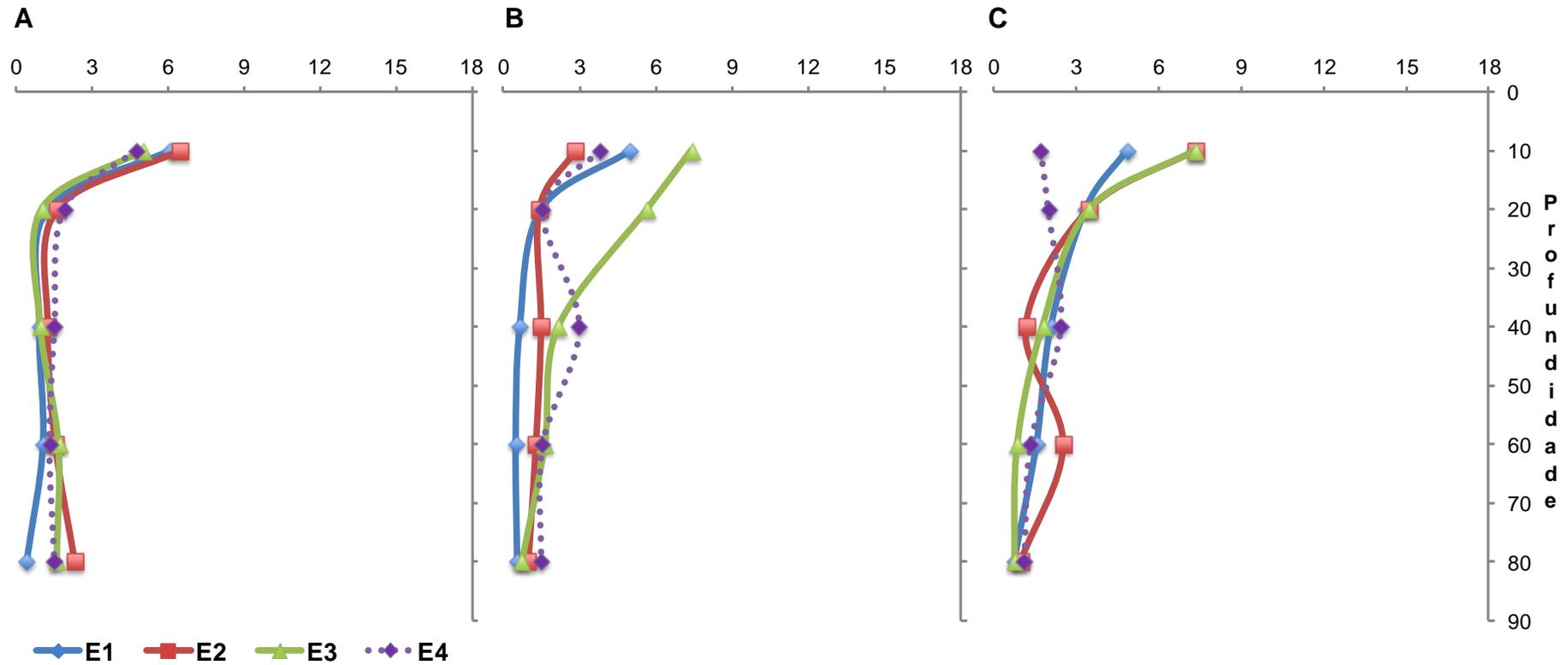


Figura 21. Distribuição de **zinco** (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Tabela 12. Valores médios de **zinco** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Zinco - Zn (mg dm^{-3})												
Profundidade (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}									
Vertissolo												
P₁₀	5,64 aA	6,93 aA	1,61 aB	15,77 aA	1,73 aB	3,27 aB	4,23 aA	1,37 aB	1,50 bB	3,30 bA	1,58 Ab	1,65 abB
P₂₀	3,27 bA	1,65 bAB	1,10 abB	3,70 Bb	1,20 bA	1,73 bA	3,07 bA	1,31 aB	1,07 bcB	2,40 bA	1,67 Aa	1,40 bcA
P₄₀	2,04 cA	0,74 bC	1,28 abB	3,63 bA	1,20 bA	0,80 cA	0,68 cA	1,03 abA	1,03 cA	7,03 aA	1,80 Ab	1,20 cB
P₆₀	1,54 cA	1,94 bA	0,75 bA	3,90 bA	1,22 bA	0,90 cA	0,82 cA	0,73 bA	0,67 cA	0,80 bB	1,43 aA	1,37 bcA
P₈₀	2,52 bcA	1,02 bB	1,45 aB	2,70 bA	1,35 abA	1,06 bcA	1,10 cB	0,73 bB	4,00 aA	1,02 bB	1,43 aAB	1,80 aA
Média	3,00	2,46	1,24	5,94	1,34	1,55	1,98	1,03	1,65	3,23	1,58	1,48
Argissolo												
P₁₀	6,07 aA	5,00 aAB	4,83 aB	6,47 aA	2,83 aA	7,31 aA	5,00 aA	7,41 aA	7,31 aA	4,73 aA	3,80 aA	1,70 abB
P₂₀	1,23 bB	1,47 bB	3,33 abA	1,60 bA	1,40 abA	3,46 bA	1,00 bB	5,66 abA	3,46 bAB	1,87 bA	1,53 bA	1,97 abA
P₄₀	0,90 bB	0,63 cB	2,07 bcA	1,23 bA	1,47 bcA	1,17 bcA	0,96 bA	2,15 bcA	1,77 bcA	1,50 bcB	2,97 abA	2,43 aAB
P₆₀	1,05 bB	0,47 cC	1,55 cA	1,53 bA	1,27 cA	2,53 bcA	1,67 bA	1,62 cA	0,86 bcA	1,30 cA	1,53 bA	1,33 abA
P₈₀	0,40 bA	0,53 cA	0,73 cA	2,30 bA	0,97 cA	0,98 cA	1,60 bA	0,71 cB	0,76 cB	1,50 bcA	1,47 bA	1,10 bA
Média	1,93	1,62	2,50	2,63	1,59	2,39	2,04	3,51	2,83	2,18	2,26	1,71

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

A distribuição de cobre nos solos foi influenciada pela época e local amostrado na linha de irrigação e profundidade do solo, Tabela 13. O teor referencial de cobre (Época 1) no Vertissolo, em L₅, variou de 1,83 mg dm⁻³ (P₂₀) a 0,85 mg dm⁻³ (P₈₀). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de cobre aumentou para 10,20 mg dm⁻³ na P₁₀ a 1,26 mg dm⁻³ na P₈₀, ou seja, houve um incremento da concentração na profundidade inicial. Os teores de Cu avaliados na época 3 variaram de 2,36 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,64 mg dm⁻³ (P₆₀) e na época 4 de 1,87 mg dm⁻³ (P₁₀) a 0,67 mg dm⁻³ (P₈₀), Tabela 13. Não houve diferença no perfil do solo para as épocas estudadas, exceto para a época logo após a fertilização e irrigação (Época 2), na profundidade inicial (P₁₀), onde observou-se um aumento de 7,9 vezes na concentração de Cu, Figura 22A. A redução do teor de Cu com o tempo de amostragem foi atribuído à utilização do nutriente pela planta, redistribuição do Cu pela água de irrigação e principalmente a complexação do elemento pela matéria orgânica (CAMARGO, 2006)

Na metade do sulco de irrigação (L₅₀), a concentração de referência de cobre foi em média de 1,41 mg dm⁻³. Após a aplicação de fertilizante e irrigação, época 2, a média de Cu foi de 1,59 mg dm⁻³; na época 3, foi de 1,01 mg dm⁻³; e na época 4, 1,47 mg dm⁻³, Tabela 13. A concentração de Cu nesse local não apresentou diferença quanto à sua distribuição no perfil. Os valores de referência foram muito próximos dos valores de Cu em outras épocas, indicando nesse ponto (L₅₀) o efeito da irrigação no carreamento desse nutriente, ou ainda a desuniformidade da aplicação do adubo no sulco de irrigação, Figura 22B. Além disso, a disponibilidade e mobilidade de Cu no solo podem estar associados a fatores tais como, natureza mineral e orgânica, composição da solução, textura, conteúdo de CaCO₃, e pH do solo (XIAORONG et al., 2007).

A concentração de referência de cobre, em L₉₅, teve média de 1,59 mg dm⁻³. Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, a média de Cu aumentou para 2,05 mg dm⁻³. Na época 3, foi de 1,62 mg dm⁻³ e na época 4, 1,63 mg dm⁻³, Tabela 13. É possível observar, nas épocas 2 e 3, que na profundidade P₈₀ há uma tendência em aumentar a concentração de Cu por este estar sendo lixiviado pela água da irrigação, já que em solos com alta CTC

a transformação de Cu imóveis em formas móveis é favorecida (XIAORONG et al., 2007), Figura 22C.

A concentração de Cu no perfil do Vertissolo ao longo do sulco variou pouco, exceto para a profundidade inicial (P_{10}), no início do sulco (L_5) e no final do sulco de irrigação (L_{95}) logo após fertilização e irrigação (Época 2), Figura 22. Comparando a concentração de referência (Época 1), há um aumento de 7,9; 1,0 e 1,7 vezes a concentração de Cu após fertilização, respectivamente para L_5 , L_{50} e L_{95} , o que pode evidenciar o efeito da desuniformidade de distribuição do adubo na linha de irrigação. Ainda existe a possibilidade desse micronutriente estar sendo afetado pelo pH elevado desse solo ($pH > 7,0$), Tabela 1 e 8, já que em pH alto a disponibilidade de micronutrientes, como Cu, diminui.

No Argissolo, a concentração média de cobre foi maior que no Vertissolo. A concentração de referência de cobre no Argissolo, em L_5 , variou de $13,37 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $2,23 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de cobre diminuiu para $6,93 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{10} variando a $3,43 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{40} , ou seja, houve um decréscimo na profundidade inicial de 48 %. Essa redução tão alta na concentração de Cu deve-se ao efeito da irrigação na lixiviação e carreamento desse micronutriente, já que logo após a fertilização do solo foi realizada irrigação; outra justificativa é que o Argissolo possui textura mais arenosa, o que reduz o poder desses solos em reter elementos. Camargo (2006) afirma que, como o Cu se acha complexado a radicais orgânicos, pode ser facilmente lixiviado, principalmente em solos arenosos. Na época 3, os teores de Cu, variaram de $6,52 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $2,69 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}); e na época 4, de $4,23 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $1,77 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}), Tabela 13. De maneira geral, o teor do micronutriente reduziu com o tempo de avaliação e com a profundidade. Na época 1, a maior concentração de Cu se deve a maior disponibilidade do mesmo em pH abaixo de 6,0 (Tabela 1), ou a deposição de cinzas com a queima da palhada, Figura 23A.

Na metade do sulco de irrigação (L_{50}), a concentração de referência variou de $6,17 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $2,07 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}). Após a aplicação de fertilizante e irrigação a concentração de Cu variou $5,87 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $1,87 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}); houve redução de 4,8 % de Cu em P_{10} . Nas épocas 3 e 4, não houve diferença entre profundidade, as médias foram respectivamente, 4,30 e

2,26 mg dm⁻³, Tabela 13. Nas profundidades P₁₀ e P₂₀ os valores de referência de Cu são similares aos valores da época 2, no entanto, na época 3, ou seja, após a segunda irrigação, os valores de Cu aumentaram, indicando um possível carreamento desse micronutriente de L₅ para L₅₀. Na terceira irrigação, época 4 os valores de Cu diminuíram significativamente, podendo ter sido carreado para L₉₅, Figura 23B.

A concentração de referência de Cu em L₉₅ variou de 10,67 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,27 mg dm⁻³ (P₄₀). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, variou de 13,30 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,45 mg dm⁻³ (P₆₀), houve um incremento de Cu na profundidade inicial de 25%, aproximadamente. Na época 3, variou de 7,19 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,39 mg dm⁻³ (P₈₀); e de 3,97 mg dm⁻³ (P₁₀) a 1,23 mg dm⁻³ (P₈₀), na época 4, Tabela 13. Neste local do sulco (L₉₅), as concentrações de Cu variaram em todas as épocas para as profundidades P₁₀, P₂₀ e P₄₀, a partir daí essa diferença não é tão evidente, Figura 23C. Após a fertilização e irrigação, época 1, observa-se redução na concentração de Cu com o tempo de avaliação, sendo este fator possivelmente proporcionado pela assimilação das plantas ou por estar sendo carreados e lixiviado pela água da irrigação para locais fora da área em estudo.

Em geral, os teores de Zn e Cu decresceram com a profundidade nos solos, sendo os maiores valores verificados na profundidade P₁₀. Esses resultados corroboram com os obtidos por Castro et al. (1992), Teixeira et al. (2003) e Richter et al. (2011), que encontraram diferenças nos teores desses micronutrientes entre a camada superficial e a subsuperficial.

Xiaorong et al., (2007) realizaram estudo em campo para determinar a distribuição e transporte de Cu em perfis de solo após a aplicação de fertilizantes a base de cobre por 17 anos. Mostraram que a aplicação a longo prazo causou a acumulação de Cu na superfície do solo. Cálculos indicaram que pequena quantidade de Cu foi removida pelas plantas, o que significa que cerca de 40% de fertilizantes foi lixiviado para profundidade do solo abaixo de 60 cm, concordando com Yu et al. (1991), que informaram que na área Planalto de Loess, o conteúdo total de Cu no solo foi maior na superfície do que nas camadas subsuperficiais.

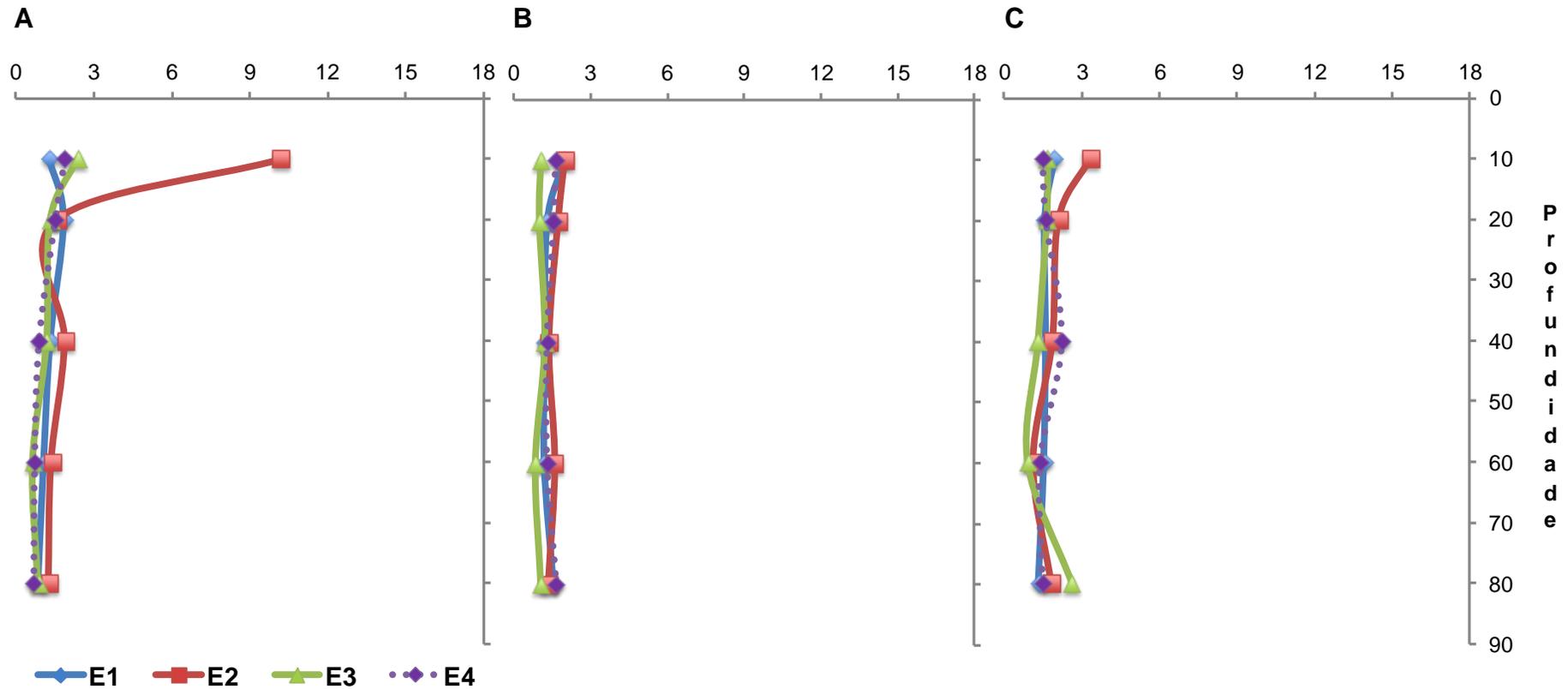


Figura 22. Distribuição de **cobre** (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

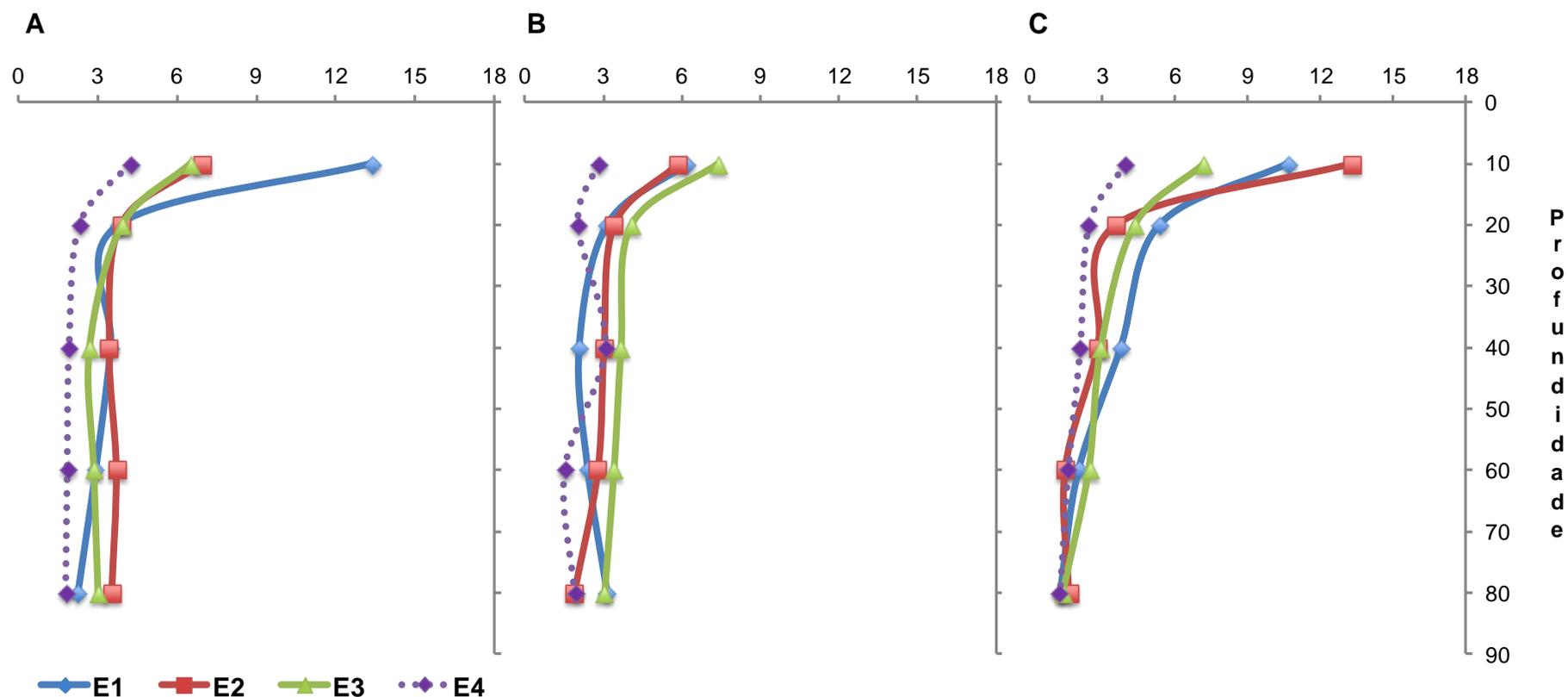


Figura 23. Distribuição de **cobre** (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Tabela 13. Valores médios de **cobre** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Cobre – Cu (mg dm^{-3})												
Profundidade (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}									
Vertissolo												
P₁₀	1,29 aA	1,96 aA	1,93 aA	10,20 aA	1,97 aB	3,30 aB	2,36 aA	1,03 aA	1,67 aA	1,87 aA	1,60 aA	1,47 aA
P₂₀	1,83 aA	1,27 aA	1,57 aA	1,57 bA	1,72 aA	2,10 aA	1,32 bA	0,97 aA	1,63 aA	1,50 abA	1,53 aA	1,60 aA
P₄₀	1,32 aA	1,17 aA	1,60 aA	1,88 bA	1,36 aA	1,87 aA	1,18 bA	1,20 aA	1,30 aA	0,87 abA	1,30 aA	2,23 aA
P₆₀	1,07 aA	1,15 aA	1,53 aA	1,36 bA	1,59 aA	1,13 aA	0,64 bA	0,80 aA	0,90 aA	0,70 abB	1,30 aA	1,37 aA
P₈₀	0,85 aA	1,52 aA	1,33 aA	1,26 bA	1,33 aA	1,83 aA	0,84 bA	1,03 aA	2,60 aA	0,67 bB	1,63 aA	1,47 aA
Média	1,27	1,41	1,59	3,25	1,59	2,05	1,27	1,01	1,62	1,12	1,47	1,63
Argissolo												
P₁₀	13,37 aA	6,17 aA	10,67 aA	6,93 aA	5,87 aA	13,30 aA	6,52 aA	7,39 aA	7,19 aA	4,23 aA	2,79 aA	3,97 aA
P₂₀	3,77 abAB	3,13 bB	5,37 bA	3,87 bA	3,40 bA	3,57 bA	3,93 abA	4,05 aA	4,34 abA	2,30 bA	2,03 aA	2,43 abA
P₄₀	3,47 abA	2,07 bA	3,77 cA	3,43 bA	3,00 bA	2,80 bA	2,69 bA	3,65 aA	2,95 bA	1,90 bA	3,07 aA	2,07 abA
P₆₀	2,90 abA	2,40 bAB	2,03 cdB	3,70 bA	2,77 bAB	1,45 bB	2,85 bA	3,38 aA	2,45 bA	1,83 bA	1,53 aA	1,57 bA
P₈₀	2,23 Ba	3,13 bA	1,27 dA	3,53 Ba	1,87 bB	1,60 bB	3,01 bA	3,02 aA	1,39 bA	1,77 bA	1,90 aA	1,23 bA
Média	5,14	3,38	4,62	4,29	3,38	4,54	3,80	4,30	3,66	2,41	2,26	2,25

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Para as variáveis ferro (Fe) e manganês (Mn), nos dois solos avaliados, os valores observados foram significativamente diferentes entre a época de avaliação, o local na linha de irrigação e as profundidades de amostragem do solo.

A concentração referencial de Fe para o Vertissolo, em L₅, variou 22,40 mg dm⁻³ (P₄₀) a 3,18 mg dm⁻³ (P₈₀). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, observou-se um aumento nos teores de ferro, variando de 35,93 mg dm⁻³ (P₁₀) a 8,20 mg dm⁻³ (P₈₀). Na época 3, de 47,53 mg dm⁻³ (P₂₀) a 9,47 mg dm⁻³ (P₆₀) e na época 4 de 43,33 mg dm⁻³ (P₁₀) a 12,00 mg dm⁻³ (P₆₀), Tabela 14. Neste contexto, a concentração de Fe nesse local do sulco de irrigação apresentou diferença quanto sua à distribuição no perfil para todas as épocas, sendo que os valores de referência foram superiores a partir da profundidade P₄₀ para as épocas 2 e 3. Entretanto, observa-se um aumento de Fe na profundidade inicial (P₁₀) após as irrigações, provavelmente proporcionado pelo carreamento do elemento pela água e devido a redução de Fe⁺² para Fe⁺³ em ambientes com baixa oxigenação, Figura 24A.

Na metade do sulco de irrigação (L₅₀), a concentração de referência variou de 63,23 mg dm⁻³ (P₁₀) a 32,43 mg dm⁻³ (P₈₀). Após a aplicação de fertilizante e irrigação, época 2, a concentração de Fe variou 75,33 mg dm⁻³ (P₁₀) a 39,27 mg dm⁻³ (P₆₀); na época 3, de 46,13 mg dm⁻³ (P₆₀) a 35,33 mg dm⁻³ (P₈₀); e na época 4, a média foi de 66,73 mg dm⁻³, Tabela 14. A concentração de Fe nesse local foi maior em comparação ao local anterior (L₅), para todas as épocas, evidenciando o efeito do carreamento do elemento pela irrigação. Nas épocas 1 e 2 o teor de Fe diminui até P₆₀, o que pode ser atribuído ao carreamento de Fe pela água de irrigação para o próximo local (L₉₅) ou para fora da área em estudo. No entanto, após a terceira irrigação (Época 4) os valores de Fe são maiores e/ou igual às avaliações anteriores, para todo o perfil do solo, Figura 24B. Esse fato pode estar associado à baixa oxigenação do solo com a irrigação, onde o Fe pode ter sido reduzido.

A concentração de referência de Fe, em L₉₅, variou de 34,97 mg dm⁻³ (P₁₀) a 17,73 mg dm⁻³ (P₆₀). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Fe variou de 50,27 mg dm⁻³ (P₁₀) a 16,53 mg dm⁻³ em P₈₀. Na época 3, variou de 28,07 mg dm⁻³ (P₁₀) a 15,77 mg dm⁻³ (P₈₀); e na época 4, de 60,67 mg dm⁻³ (P₁₀) a 36,00 mg dm⁻³ (P₆₀), Tabela 14. Observa-se a partir

da profundidade P_{40} que os valores de Fe tiveram a mesma tendência de distribuição para as épocas 1, 2 e 3, diferindo entre si nas profundidades iniciais (P_{10} e P_{20}), Figura 24C. Em contato com oxigênio, o Fe^{+2} passa a Fe^{+3} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, portanto diminuindo sua mobilidade no solo. Entretanto, o mesmo não foi observado na Época 4. Em se tratando de um solo de textura argilosa à muito argilosa, este possui permeabilidade à água muito lenta, com $VIB = 0,40$ mm/h, além do local na linha de irrigação (L_{95}), onde a água demora mais a chegar e infiltra menos, como evidencia a Figura 10, no trecho 60 a 80 m. Assim, os valores de Fe nessa época são maiores devido ao carreamento dos elementos com o tempo e a menor oxigenação do solo, levando em consideração que nessa época o solo estava mais úmido.

É evidente a variação da concentração de Fe na área em estudo. Em geral, na linha de irrigação por sulco do Vertissolo houve muita variação na concentração de Fe, tanto no perfil, como nos locais de amostragem na linha, para todas as épocas de avaliação, Figura 25.

No Argissolo, a concentração de ferro foi maior que no Vertissolo. A concentração referencial de ferro no Argissolo, em L_5 , variou de $185,00$ mg dm^{-3} (P_{10}) a $32,43$ mg dm^{-3} (P_{80}). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de ferro aumentou para $793,33$ mg dm^{-3} em P_{10} , variando a $480,00$ mg dm^{-3} em P_{80} . Na época 3, variou de $388,33$ mg dm^{-3} (P_{10}) a $247,00$ mg dm^{-3} (P_{40}); e na época 4, diminuiu, variando de $330,00$ mg dm^{-3} em P_{10} a $156,80$ mg dm^{-3} em P_{80} , Tabela 14. As variações na concentração de Fe no perfil do solo das diferentes épocas de avaliação se devem ao efeito da irrigação, seja por diminuir a oxigenação do solo, e em ambientes anaeróbicos o Fe sofre redução (MARTINS e SPERLING, 2013) e/ou por lixiviação e carreamento do elemento. Há tendência em diminuir o teor de Fe na época 1 nas profundidades P_{60} e P_{80} , que pode ser atribuída à textura franco-argilo-arenosa desse solo, que permite maior infiltração da água de irrigação, lixiviando o micronutriente, Figura 26A.

Na metade do sulco de irrigação (L_{50}), a concentração de referência de Fe variou de $103,37$ mg dm^{-3} (P_{10}) a $28,93$ mg dm^{-3} (P_{40}). Após a aplicação de fertilizante e irrigação, época 2, a concentração de Fe aumentou para $473,00$ mg dm^{-3} em P_{40} variando a $230,00$ mg dm^{-3} em P_{80} . Na época 3 o teor de Fe

variou de 358,67 mg dm⁻³ (P₁₀) a 125,40 mg dm⁻³ (P₈₀); e na época 4, variou de 253,00 mg dm⁻³ (P₁₀) a 143,33 mg dm⁻³ (P₈₀), Tabela 14. A distribuição de Fe no perfil do solo nesse local da linha de irrigação foi semelhante à tendência de distribuição das épocas de avaliação do local anterior (L₅), com valores de Fe significativamente menores, Figura 26B.

A concentração de referência de Fe, em L₉₅, variou de 173,33 mg dm⁻³ (P₂₀) a 59,17 mg dm⁻³ (P₈₀). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Fe aumentou para 326,33 mg dm⁻³ em P₁₀, variando a 76,50 mg dm⁻³ em P₈₀. Na época 3, variou de 243,33 mg dm⁻³ (P₂₀) a 10,47 mg dm⁻³ (P₆₀); e na época 4, de 161,33 mg dm⁻³ (P₁₀) a 31,83 mg dm⁻³ (P₈₀), Tabela 14. Os valores de Fe aumentam no perfil do solo, exceto em P₄₀, após a fertilização seguida da primeira irrigação (Época 2). Com o tempo de avaliação os valores de Fe diminuem, chegando a ser menores que o valor de referência a partir de P₄₀ na época 3, e P₂₀ na época 4. Possivelmente o elemento foi carregado para fora da área em estudo e/ou lixiviado para profundidades abaixo de 80 cm, Figura 26C.

A distribuição de Fe tanto para o Vertissolo como para o Argissolo diminuiu em profundidade, de P₁₀ para P₈₀, e entre os locais de amostragem na linha de irrigação, de L₅ a L₉₅, evidenciando o efeito da irrigação na lixiviação e no carregamento do elemento.

A concentração de referência de manganês no Vertissolo, em L₅, variou de 74,07 mg dm⁻³ (P₂₀) a 9,39 mg dm⁻³ (P₈₀). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de manganês variou de 75,23 mg dm⁻³ (P₁₀) a 13,87 mg dm⁻³ (P₈₀). Na época 3, aumentou para 97,07 mg dm⁻³ em P₂₀ variando a 10,37 mg dm⁻³ em P₆₀; e na época 4 diminuiu para 42,50 mg dm⁻³ em P₂₀ variando a 9,20 mg dm⁻³ em P₆₀, Tabela 15. A concentração de Mn no perfil do solo aumentou nas duas primeiras irrigações até P₂₀, possivelmente, devido à adubação na superfície do solo e à menor oxigenação do mesmo que, conseqüentemente, proporcionou uma maior solubilização do elemento; e diminuiu na terceira irrigação (Época 4) em todas as profundidades. A partir de P₂₀ a concentração de Mn é menor em todas as épocas em comparação com a concentração de referência. Isso se deve ao carregamento do elemento pela água de irrigação, incluindo os elementos que foram incrementados na Época 1 pela queima da palhada, Figura 27A.

Na metade do sulco de irrigação (L_{50}), a concentração de referência variou de $106,00 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $31,73 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}). Após a aplicação de fertilizante e irrigação, época 2 a concentração de Mn diminuiu para $79,13 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{10} variando a $40,33 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{60} . Na época 3, variou de $71,40 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $43,10 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}); e na época 4, de $55,40 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $37,23 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}), Tabela 15. A concentração de Mn nesse local foi significativamente superior nas duas primeiras profundidades, independentemente da época. No entanto, os maiores valores de Mn encontrado nessas profundidades foram para época 1, evidenciando o incremento de nutrientes pela queima da palhada e o efeito da irrigação no carreamento do elemento, Figura 27B.

A concentração de referência de Mn, em L_{95} , variou de $41,40 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $22,07 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Mn aumentou para $91,23 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{10} variando a $41,03 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{60} . Na época 3, variou de $89,83 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}) a $31,67 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}); e na época 4, de $60,33 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $28,10 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}), Tabela 15. É possível observar aumento na concentração de Mn na primeira irrigação (Época 2), ou porque há deposição do elemento carregado de L_5 e L_{50} ou porque o Mn sofreu redução em ambiente anaeróbico, ou ainda devido à fonte dos adubos aplicados. Observou-se também diminuição da concentração de Mn com o tempo de avaliação (Época 3 e 4) para todas as profundidades, pelo carreamento e lixiviação desse micronutriente para fora da linha de irrigação ou para profundidade superior a 80 cm, exceto em P_{80} da época 3, onde houve aumento significativo na concentração de Mn, esse pode ter sido lixiviado pela água de irrigação para tal profundidade, Figura 27C.

O teor referencial de manganês no Argissolo, em L_5 , variou de $80,13 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $65,37 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}). Após a adição do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Mn aumentou para $163,67 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{10} variando a $76,80 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{40} . Na época 3, variou de $155,00 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $124,00 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{20}); e na época 4, de $170,00 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}) a $100,00 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}), Tabela 15. Após aplicação de fertilizante seguida de irrigação, o teor de Mn aumenta, principalmente em P_{10} e P_{20} , com o tempo de avaliação ou com as irrigações seguintes, os teores tendem a diminuir pelo efeito da água de irrigação no carreamento do elemento até P_{20} . A partir de P_{40} as concentrações de Mn nas

épocas 3 e 4 são maiores que na época logo após fertilização. É possível associar esse resultado à lixiviação do elemento pela água da segunda e terceira irrigação, Figura 28A.

Na metade do sulco de irrigação (L_{50}), a concentração de referência variou de $79,70 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}) a $24,00 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}). Após a aplicação de fertilizante e irrigação, época 2, a concentração de Mn variou $140,93 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $100,73 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}), de $79,43 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{10}) a $55,40 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}), na época 3; e de $84,73 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}) a $47,43 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}), na época 4, Tabela 17. O teor referencial de Mn é menor a todas as épocas até P_{40} aumentando com a profundidade. Na primeira irrigação, época 2, observa-se aumento significativo na concentração de Mn possivelmente pelo carreamento do elemento do local anterior (L_5). Com a segunda irrigação, época 3, o teor diminui muito, conseqüentemente devido ao carreamento e lixiviação de Mn pela água de irrigação. Na terceira irrigação, época 4, é possível observar aumento de Mn na profundidade inicial e em P_{60} , respectivamente devido ao carreamento e lixiviação do elemento pela água de irrigação, Figura 28B.

A concentração de referência de Mn, em L_{95} , variou de $38,07 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}) a $2,47 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}). Após a aplicação do fertilizante e irrigação, época 2, o teor de Mn variou de $143,33 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}) a $125,00 \text{ mg dm}^{-3}$ em P_{10} . Na época 3, variou de $78,60 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{20}) a $52,10 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{40}); e na época 4, de $84,73 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{60}) a $47,43 \text{ mg dm}^{-3}$ (P_{80}), Tabela 15. Nesse local do sulco de irrigação, os valores de referência de Mn são menores que nos outros locais, com a primeira irrigação, época 1, os valores aumentam, em média, 4,75 vezes, comprovando o efeito da irrigação no carreamento do micronutriente. Com a segunda irrigação, época 3, a concentração de Mn diminui, e era de se esperar isso já que a água de irrigação tende a carrear e lixiviar o elemento. Já na terceira irrigação, época 4, há um aumento na concentração de Mn, pois esse pode ter sido carreado de outro local do sulco e depositado nesse, Figura 28C.

Segundo Carvalho Filho et al. (2011), a mobilidade e a precipitação de Mn podem ser alterados em ambientes que sofrem processos de oxidação e redução. Entretanto, as acumulações de Mn no solo não indicam, necessariamente, um ambiente redox atual, pois podem ser condições de umidade anteriores (KÄMPF et al., 2009).

Os valores de Fe e Mn foram, em média, menores no Vertissolo. O fator mais importante que controla a disponibilidade do Mn para as plantas é a reação do solo, decrescendo com a elevação do pH. BORKET (1991) afirma que a deficiência de Mn ocorre quando os valores de pH em água são superiores a 6,2, sendo os valores de pH no Vertissolo superiores a este valor (Tabela 1).

Rhoton (2000), trabalhando com solo tipo Grenada silte-argiloso, relatou que a maior quantidade de matéria orgânica do solo reduziu a disponibilidade de Fe pela formação de complexos Fe-ácido fúlvico, o que pode ter acontecido com o Vertissolo desse experimento, considerando os maiores valores de matéria orgânica encontrados nesse. No caso dos micronutrientes, sabe-se que eles têm solubilidade aumentada em pH menores que 6,0, isso pode justificar a maior concentração de Fe e Mn no Argissolo.

Martins e Sperling (2013), afirmaram que em situações com baixa oxigenação do solo, Fe e Mn podem ser reduzidos, entretanto, Souza (2006), objetivando avaliar a dinâmica de íons no perfil de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, quantificar as perdas de nutrientes por lixiviação e seus efeitos sobre a acidificação do solo em diferentes sistemas de manejo como adubação sólida e fertirrigação, verificou que não houve aumento na concentração de Mn e Fe nos tratamentos irrigados até a profundidade de 60 cm. Portanto, nem sempre esses micronutrientes em ambientes anaeróbicos, sofrem redução e aumentam sua solubilidade.

Em geral, os teores de Mn e Zn decresceram em profundidade no Vertissolo, sendo os maiores valores encontrados na profundidade P₁₀ e P₂₀, o que se atribui aos maiores teores de matéria orgânica nessas profundidades (Tabela 1). Esses resultados corroboram com os obtidos por Teixeira et al. (2003), Zanão Júnior et al. (2007) e Zanão Júnior et al. (2010), os quais obtiveram teores mais altos de Mn e Zn na camada superficial do solo.

A distribuição de metais no solo está relacionada com as propriedades do metal, composições e propriedades do solo (CHEN et al., 2008) e atividades humanas tais como água de irrigação e aplicação de fertilizantes (YANG et al., 2013).

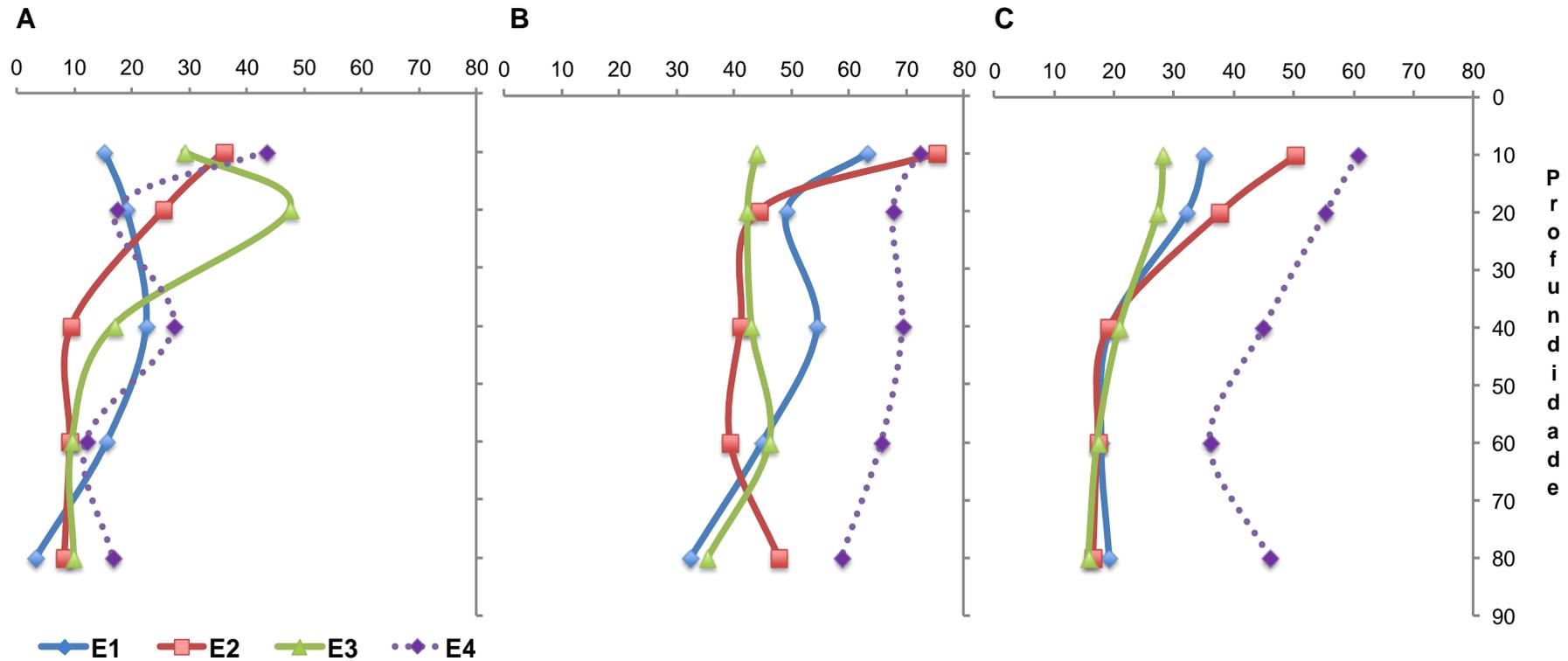


Figura 24. Distribuição de ferro (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A-L₅ – 5 m do início da linha; B-L₅₀ – 50 m do início da linha e C-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

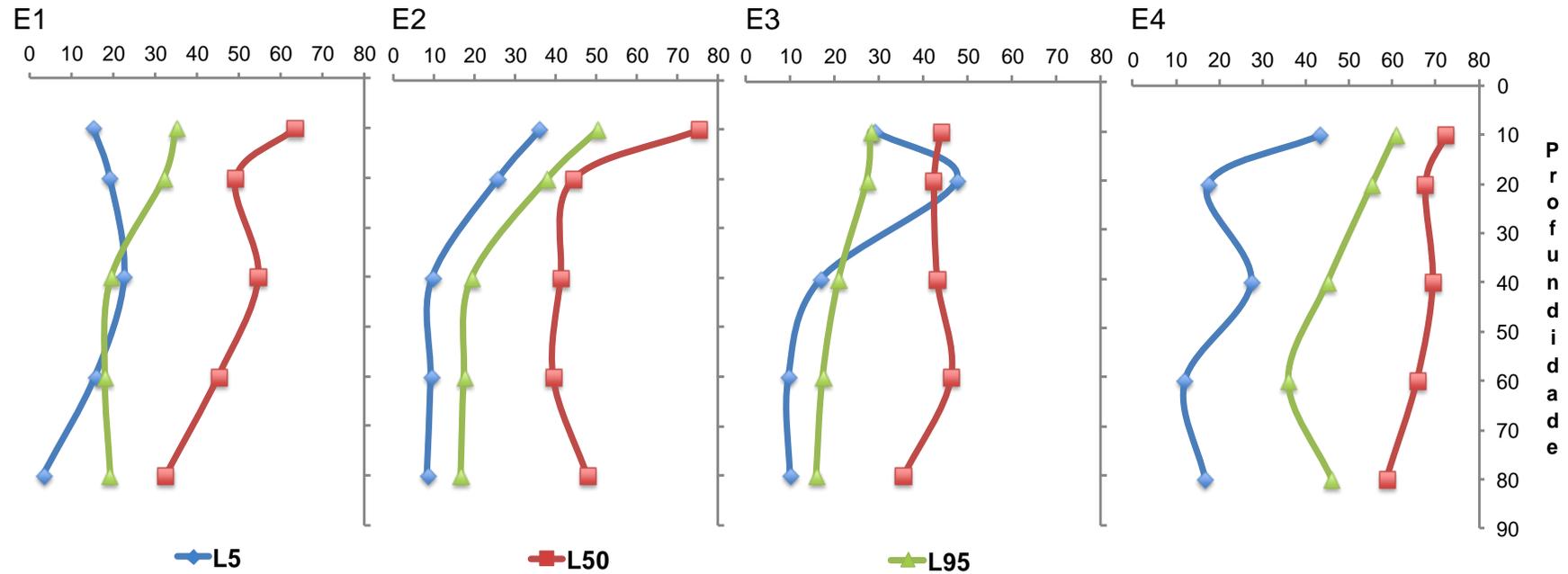


Figura 25. Distribuição de ferro (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L₅ – 5 m do início da linha; L₅₀ – 50 m do início da linha e L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

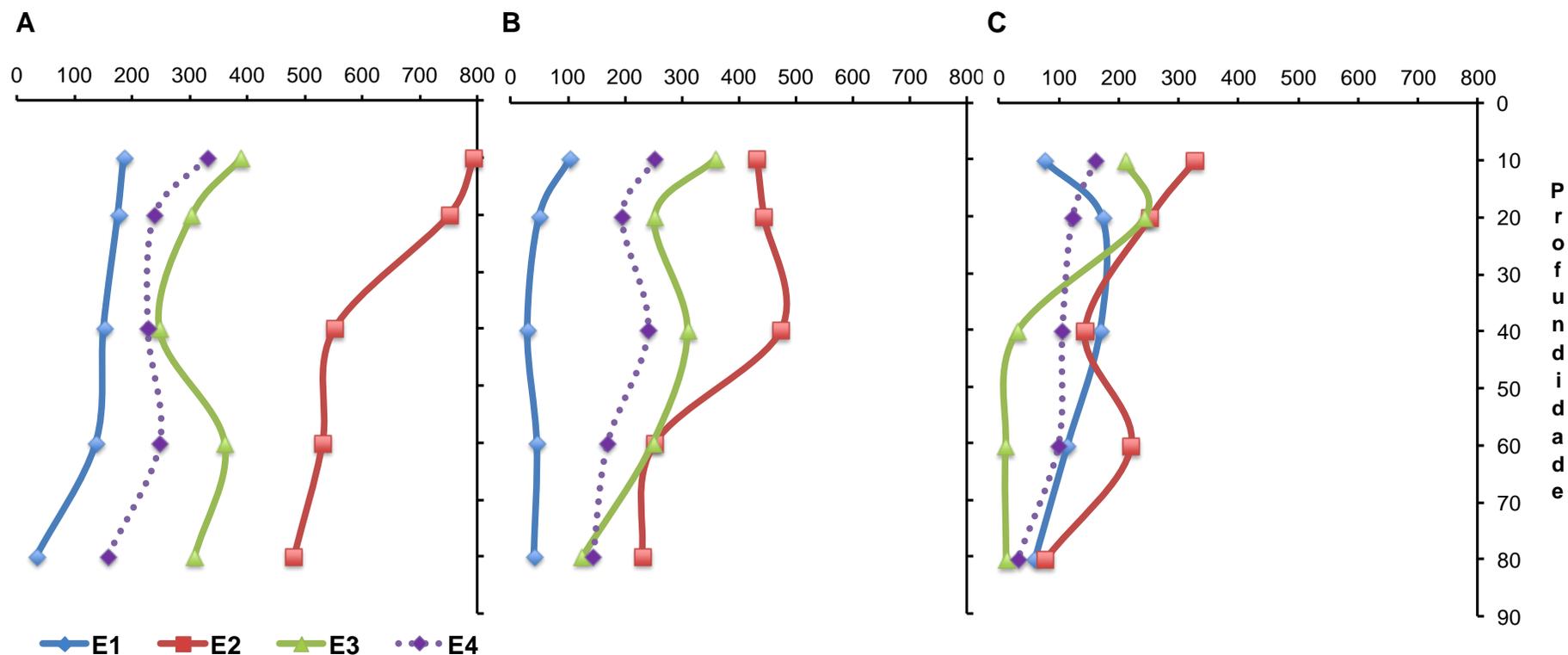


Figura 26. Distribuição de ferro (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Tabela 14. Valores médios de **ferro** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Ferro - Fe (mg dm^{-3})												
Profund. (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}
Vertissolo												
P₁₀	15,13 bC	63,23 aA	34,97 aB	35,93 aB	75,33 aA	50,27 aAB	29,03 bB	43,80 abA	28,07 aB	43,33 aB	72,33 aA	60,67 aAB
P₂₀	19,00 abC	49,07 bA	32,00 aB	25,53 aB	44,23 bA	37,63 aA	47,53 aA	42,30 abA	27,20 abA	17,33 cC	67,67 aA	55,33 abB
P₄₀	22,40 aB	54,43 abA	19,27 bB	9,43 bB	41,10 bA	19,13 bB	16,80 bcB	42,97 abA	20,87 bcB	27,33 bB	69,33 aA	45,00 bcB
P₆₀	15,53 bB	44,93 bA	17,73 bB	9,13 bB	39,27 bA	17,30 bB	9,47 cB	46,13 aA	17,23 cB	12,00 cC	65,67 aA	36,00 cB
P₈₀	3,17 cC	32,43 cA	19,07 bB	8,20 bC	47,70 bA	16,53 bB	9,83 cB	35,33 bA	15,77 cB	16,67 cB	58,67 aA	46,00 bcA
Média	15,05	48,82	24,61	17,64	52,09	28,17	22,53	42,11	21,83	23,33	66,73	48,60
Argissolo												
P₁₀	185,00 aA	103,37 aB	75,33 cC	793,33 aA	431,67 aB	326,33 aB	388,33 aA	358,67 aA	210,67 aB	330,00 aA	253,00 aA	161,33 aB
P₂₀	175,00 abA	49,93 bB	173,33 aA	750,00 aA	443,33 aB	251,00 abC	303,33 bcA	252,67 cAB	243,03 aB	238,67 bA	194,67 bB	122,67 bC
P₄₀	150,00 bcB	28,93 cC	169,33 aA	550,00 bA	473,33 aB	142,30 cdC	247,00 cB	310,70 bA	29,40 bC	227,33 bA	240,67 aA	106,00 cB
P₆₀	136,67 cA	45,90 bB	114,07 bA	529,67 bA	252,67 bB	219,80 bcB	360,00 abA	249,00 cB	10,47 bC	248,33 bA	169,00 bcB	99,33 cC
P₈₀	32,43 dB	40,50 bB	59,17 cA	480,00 bA	230,00 bB	76,50 dC	308,00 bcA	125,40 dB	11,23 bC	156,80 cA	143,33 cA	31,83 dB
Média	135,82	53,73	118,25	620,60	366,20	203,19	321,33	259,29	100,96	240,23	200,13	104,23

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

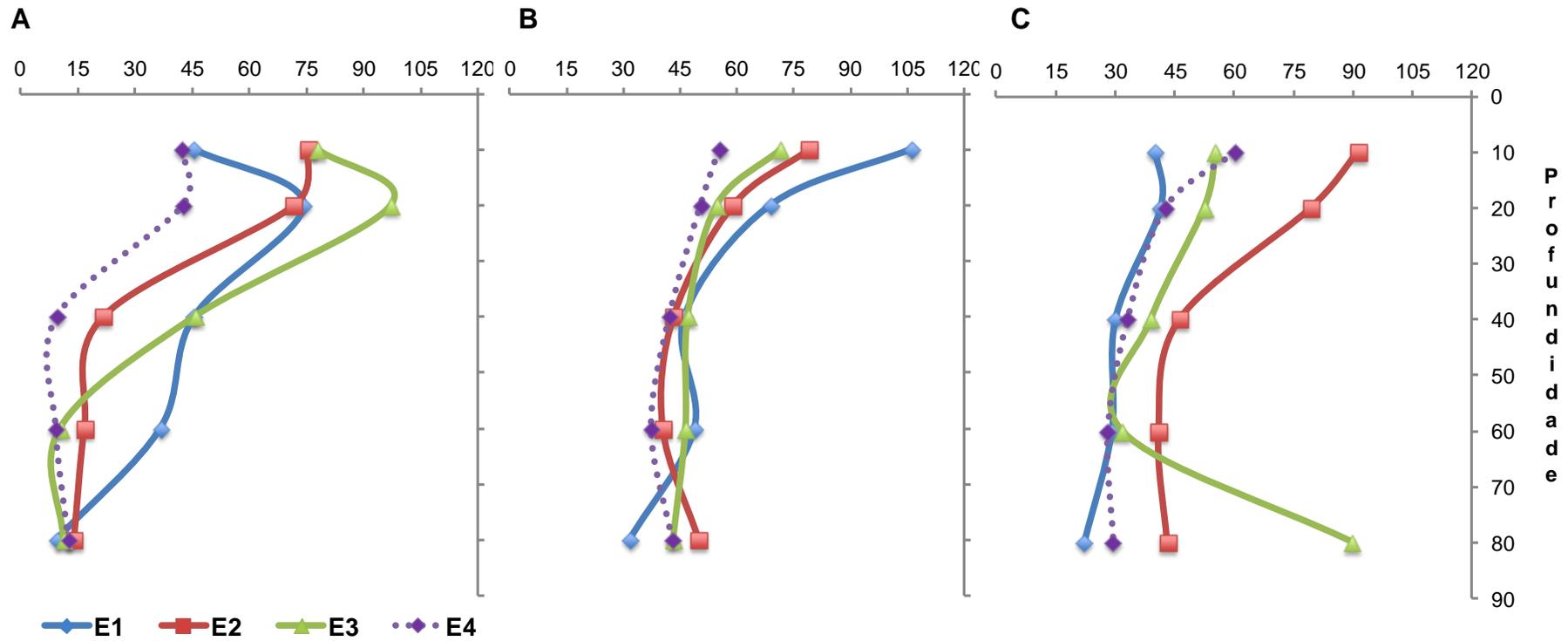


Figura 27. Distribuição de **manganês** (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (A-L₅ – 5 m do início da linha; B-L₅₀ – 50 m do início da linha e C-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para VERTISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

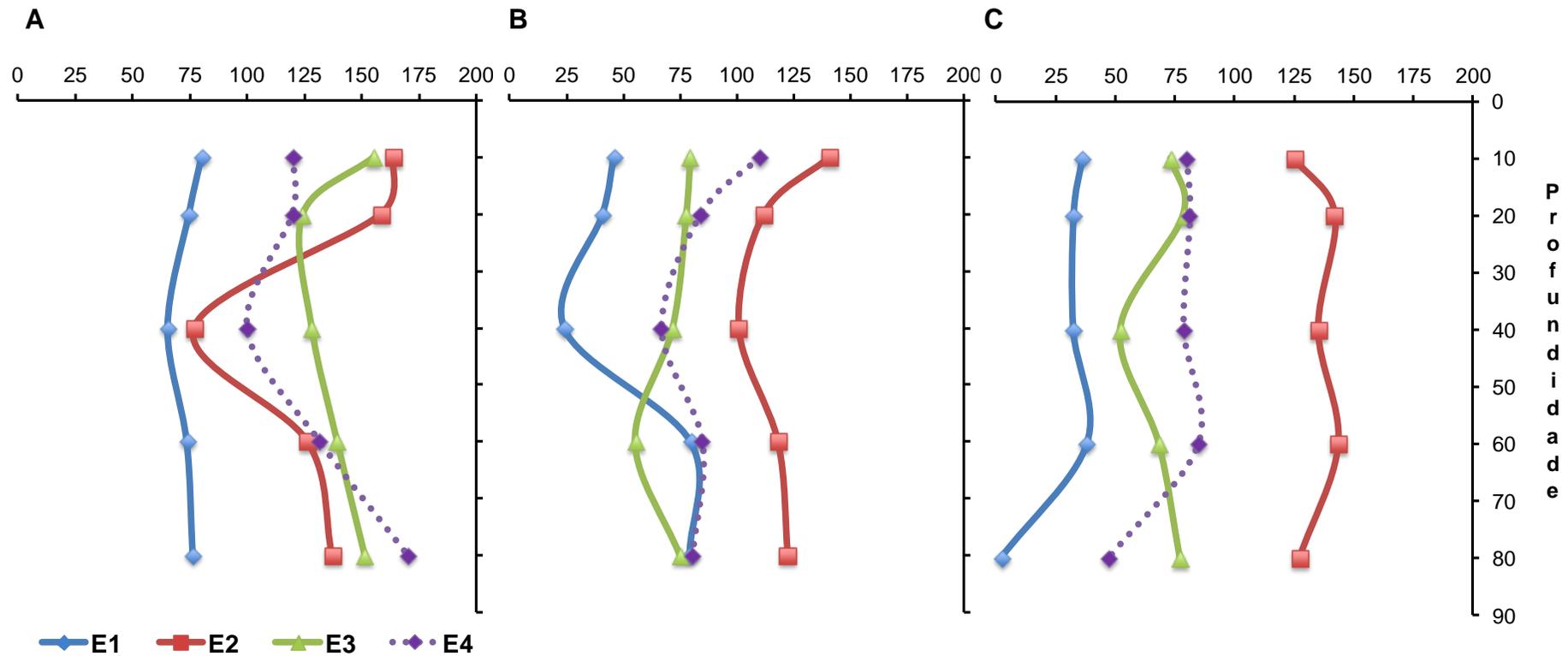


Figura 28. Distribuição de **manganês** (mg dm^{-3}) em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (**A**-L₅ – 5 m do início da linha; **B**-L₅₀ – 50 m do início da linha e **C**-L₉₅ – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades (P₁₀ – 0-10; P₂₀ – 10-20; P₄₀ – 20-40; P₆₀ – 40-60 e P₈₀ – 60-80 cm), para ARGISSOLO, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Tabela 15. Valores médios de **manganês** (mg dm^{-3}) para Vertissolo e Argissolo, em quatro épocas de avaliação (E1-Época 1 – antes da adubação; E2-Época 2 – após a primeira irrigação depois da adubação; E3-Época 3 – após a segunda irrigação e E4-Época 4 – após a terceira irrigação) três locais na linha de irrigação por sulco (L_5 – 5 m do início da linha; L_{50} – 50 m do início da linha e L_{95} – 95 m do início da linha) e em cinco profundidades distintas de 0 a 80 cm, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Manganês - Mn (mg dm^{-3})												
Profund. (cm)	Época 1			Época 2			Época 3			Época 4		
	Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco			Local no sulco		
	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}	L_5	L_{50}	L_{95}
Vertissolo												
P₁₀	45,33 bB	106,00 aA	40,13 abB	75,27 aA	79,13 aA	91,23 aA	77,80 bA	71,40 aAB	55,37 bB	42,30 aB	55,40 aAB	60,33 aA
P₂₀	74,07 aA	68,93 bA	41,40 aB	71,67 aA	58,97 bA	79,43 aA	97,07 aA	54,57 bB	52,40 bcB	42,50 aA	50,43 abA	42,60 bA
P₄₀	45,40 bA	46,20 cA	29,93 abcB	21,57 bB	43,20 cAB	46,33 bA	45,63 cA	46,93 bA	38,93 bcA	9,47 bB	42,07 bcA	33,07 bcA
P₆₀	36,60 bB	48,83 cA	29,03 bcB	16,60 bA	40,33 cA	41,03 bA	10,37 cC	46,37 bA	31,67 cB	9,20 bC	37,23 cA	28,10 cB
P₈₀	9,39 cC	31,73 cA	22,07 cB	13,87 bC	49,80 bcA	43,17 bB	11,23 cC	43,10 bB	89,83 aA	12,47 bC	42,83 bcA	29,50 cB
Média	42,16	60,34	35,12	39,80	54,29	60,24	48,42	52,47	53,64	23,19	45,59	38,72
Argissolo												
P₁₀	80,13 aA	45,90 bB	36,12 aB	163,67 aA	140,93 aA	125,00 cA	155,00 aA	79,43 aA	73,37 aA	120,00 bA	110,00 aB	79,83 aC
P₂₀	74,67 abA	41,00 bB	32,52 aB	158,33 aA	111,73 bcB	142,00 abA	124,00 aA	77,70 aA	78,60 aA	119,67 bB	84,00 bB	81,20 aB
P₄₀	65,37 bA	24,00 cB	32,33 aB	76,80 bA	100,73 cB	135,00 abcA	127,87 aA	71,73 aA	52,10 bB	100,00 bB	66,67 cA	78,53 aA
P₆₀	73,70 abA	79,70 aB	38,07 aC	126,33 aA	118,00 bcA	143,33 aA	139,00 aA	55,40 bB	68,37 abA	131,67 abA	84,63 bB	84,73 aB
P₈₀	76,30 abA	79,27 aB	2,47 bC	137,00 aA	122,33 abB	127,33 bcB	151,00 aA	74,97 aA	77,23 aA	170,00 aA	80,23 bB	47,43 bB
Média	74,03	53,97	28,30	132,43	118,74	134,53	139,37	71,85	69,93	128,27	85,11	74,34

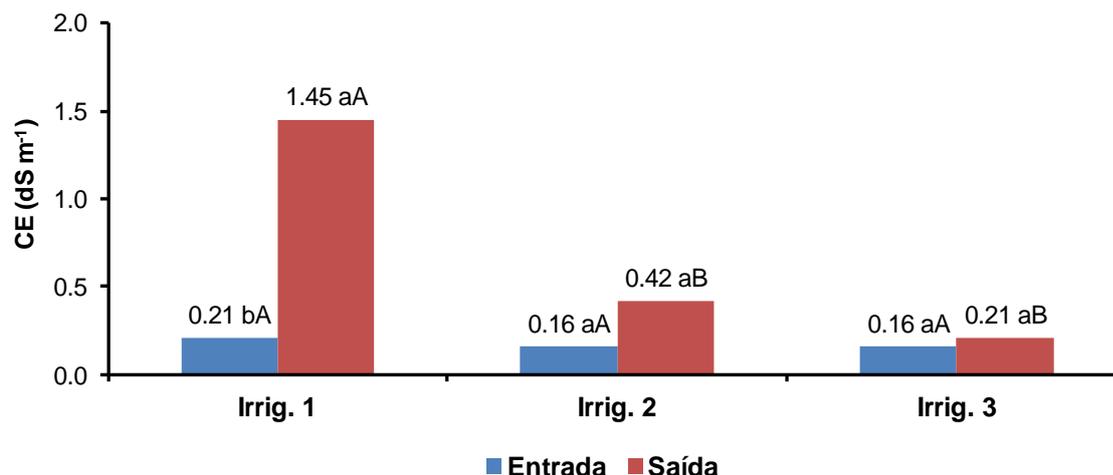
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

3.2 - Experimento II: Carreamento de nutrientes em solos do semiárido baiano irrigado por sulco e cultivado por cana-de-açúcar.

A condutividade elétrica da água de irrigação aplicada nos dois solos antes de entrar no sulco de irrigação variou de $0,12 \text{ dS m}^{-1}$ a $0,20 \text{ dS m}^{-1}$ para o Vertissolo e de $0,13 \text{ dS m}^{-1}$ a $0,28 \text{ dS m}^{-1}$ no Argissolo, Tabela 16. Cabe salientar que estes valores da água proveniente do rio São Francisco estão abaixo de $0,30 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , o que não apresenta risco de salinização do solo (AYRES e WESTCOT, 1999). Entretanto, os valores de CE na água de drenagem no final do sulco de irrigação variou de $0,24$ a $1,30 \text{ dS m}^{-1}$ para o Vertissolo e de $0,19$ a $1,61 \text{ dS m}^{-1}$ para o Argissolo (Tabela 16), havendo necessidade de monitoramento desse dado para não acarretar em salinização das áreas que recebem esta água de drenagem, já que esses mesmos autores consideram CE de $0,70$ a $3,00 \text{ dS m}^{-1}$ com grau de restrição para uso de ligeira a moderada. Para o Vertissolo, a diferença média da CE da água de entrada ($0,16 \text{ dS m}^{-1}$) e de saída ($0,71 \text{ dS m}^{-1}$) foi maior do que a do Argissolo que registrou CE da água de entrada de $0,21 \text{ dS m}^{-1}$ e de saída de $0,68 \text{ dS m}^{-1}$.

Estatisticamente não houve diferença entre solos para a variável CE como mostra a Figura 29. Na primeira irrigação, a CE na água do rio foi de $0,21 \text{ dS m}^{-1}$ e após passar pelo sulco de irrigação, aumentou para $1,45 \text{ dS m}^{-1}$, cerca de 6,9 vezes. Na segunda irrigação, o valor de CE na água de entrada foi de $0,16 \text{ dS m}^{-1}$ e de $0,42 \text{ dS m}^{-1}$ na de saída do sulco, com aumento estatisticamente não significativo de $0,26 \text{ dS m}^{-1}$. E na terceira irrigação, a CE variou de $0,16$ a $0,21 \text{ dS m}^{-1}$ da entrada à saída do sulco, não havendo também diferença significativa entre si, Figura 29.

Como também era esperado, a variação de CE na água de drenagem, foi mais elevada na primeira irrigação do que nas irrigações posteriores, e que os maiores valores encontrar-se-iam na água de drenagem no final do sulco de irrigação. O aumento da CE observado na água de drenagem deve ser resultado do carreamento de íons naturalmente presente nos solos e principalmente dos fertilizantes aplicados na adubação realizada dois dias antes da primeira irrigação.



*Médias seguidas de mesma letra minúscula, para comparar local de coleta no mesmo evento de irrigação, e maiúscula, para comparar local de coleta entre as irrigações, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 29. Valores médios de condutividade elétrica (CE) na água de irrigação antes de entrar no sulco (Entrada) e água de drenagem no final do sulco (Saída) para três eventos de irrigação de solos semiáridos cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Nos sistemas, normalmente cátions e ânions não são perdidos isoladamente, uma vez que na solução eles tendem a se combinar com diferentes níveis de complexidade e saírem da solução em conjunto. Considerando que a correlação parcial estabelece o grau de associação entre duas variáveis, eliminando o efeito dos tratamentos, o aumento da CE da água de drenagem deveu-se principalmente ao K^+ e à formação de bicarbonatos e cloretos, considerando a alta significância positiva da correlação entre essas variáveis e CE, variando de 0,83 a 0,91, com 1% de probabilidade de erro, Tabela 16.

Para os dados avaliados, poucas foram as variáveis que tiveram correlação. Potássio (K^+) tem uma relação negativa significativa a 5% de probabilidade de erro com sódio (Na^+) ($r = -0,67$); e positiva alta e significativa a 1% de probabilidade com bicarbonato (HCO_3^-) ($r = 0,84$). Os cloretos (Cl^-) tiveram associação com K^+ e HCO_3^- com correlação parcial de $r = 0,89$ a 1%, ou seja, altamente positiva e significativa. A CE possuiu correlação alta e positiva com K^+ , HCO_3^- e Cl^- , respectivamente de $r = 0,84$; $0,83$ e $0,91$ a 1% de probabilidade. A RAS tem relação positiva alta e significativa com Na^+ ($r = 0,97$); era de se esperar que a medida que Na aumenta, a RAS aumenta, entretanto, tem elevada correlação negativa com K^+ , HCO_3^- e CE com

significância de 1 a 5% de probabilidade de erro, Tabela 16. A falta de correlação entre as outras variáveis também pode ser um indicativo de pouco pontos amostrados.

Tabela 16. Coeficiente de correlação parcial para cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), bicarbonatos (HCO₃⁻), sulfatos (SO₄⁻²), cloretos (Cl⁻), em mmol_c L⁻¹; pH; condutividade elétrica, em dS m⁻¹ (CE) e relação de adsorção de sódio, em (mmol_c L⁻¹)^{1/2} (RAS).

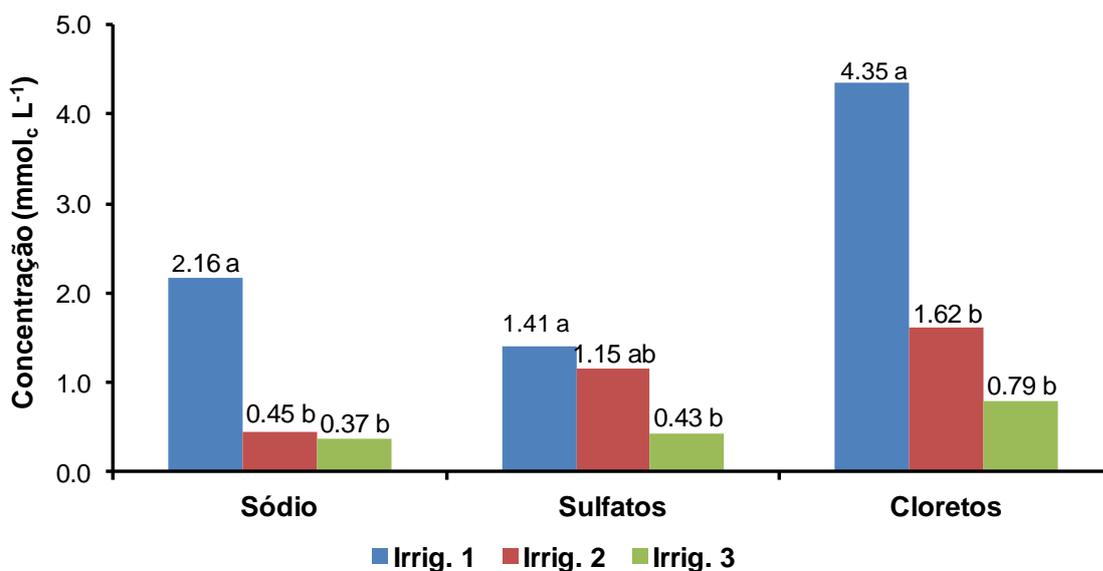
Variável	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	CL ⁻	pH	C_E	RAS
Ca ⁺²	-0,37 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,49 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
Mg ⁺²		0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Na ⁺			-0,67*	-0,44 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	0,97**
K ⁺				0,84**	0,40 ^{ns}	0,89**	0,55 ^{ns}	0,84**	-0,78**
HCO ₃ ⁻					0,38 ^{ns}	0,89**	0,39 ^{ns}	0,83**	-0,63*
SO ₄ ⁻²						0,29 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}
CL ⁻							0,54 ^{ns}	0,91**	-0,55 ^{ns}
Ph								0,50 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
C_E									-0,63*

** e * significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t. ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

A análise da variável sódio na água de irrigação aplicada nos dois solos antes de entrar no sulco de irrigação variou de 0,20 a 0,40 mmol_c L⁻¹ no Vertissolo, e de 0,42 a 1,67 mmol_c L⁻¹, no Argissolo. Após passar pelo sulco de irrigação, na água de drenagem, o Na⁺ variou de 0,42 a 1,67 mmol_c L⁻¹ no Vertissolo, e de 0,39 a 3,53 mmol_c L⁻¹ no Argissolo, Tabela 17. Os sulfatos (SO₄⁻²) presentes na água antes de entrar no sulco de irrigação variou de 0,40 a 0,70 mmol_c L⁻¹ no Vertissolo, e de 0,30 a 1,10 mmol_c L⁻¹, no Argissolo. Após passar pelo sulco de irrigação, variou de 0,50 a 1,90 mmol_c L⁻¹ no Vertissolo, e de 0,40 a 1,37 mmol_c L⁻¹ no Argissolo, Tabela 17. A concentração de cloretos na água de irrigação aplicada nos dois solos antes de entrar no sulco de irrigação variou de 0,50 a 0,70 mmol_c L⁻¹ no Vertissolo, e de 0,50 a 1,10 mmol_c L⁻¹, no Argissolo. Após passar pelo sulco de irrigação, na água de drenagem, o Cl⁻ variou de 0,90 a 4,37 mmol_c L⁻¹ no Vertissolo, e de 0,80 a 6,83

$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no Argissolo, Tabela 17. As concentrações de Na^+ e Cl^- foram maiores na água de drenagem do Argissolo e SO_4^{-2} na água de drenagem do Vertissolo.

Na análise de variância desses elementos, não houve diferença entre solos, observando-se apenas efeito das irrigações, Figura 30. As maiores concentrações ocorreram na água de drenagem da primeira irrigação, diferindo estatisticamente das demais, exceto para concentração de sulfato na segunda irrigação onde são estatisticamente iguais. Nas irrigações seguintes ocorrem acentuada redução nos valores de Na^+ , SO_4^{-2} e Cl^- . Esses valores indicam que a irrigação por sulco tem efeito no carreamento de elementos presentes na superfície do solo. Os resultados também mostram que este efeito ocorre de forma decrescente com relação aos eventos de irrigação. Isso é compreensível, considerando-se que a primeira irrigação foi realizada logo após a fertilização dos solos.



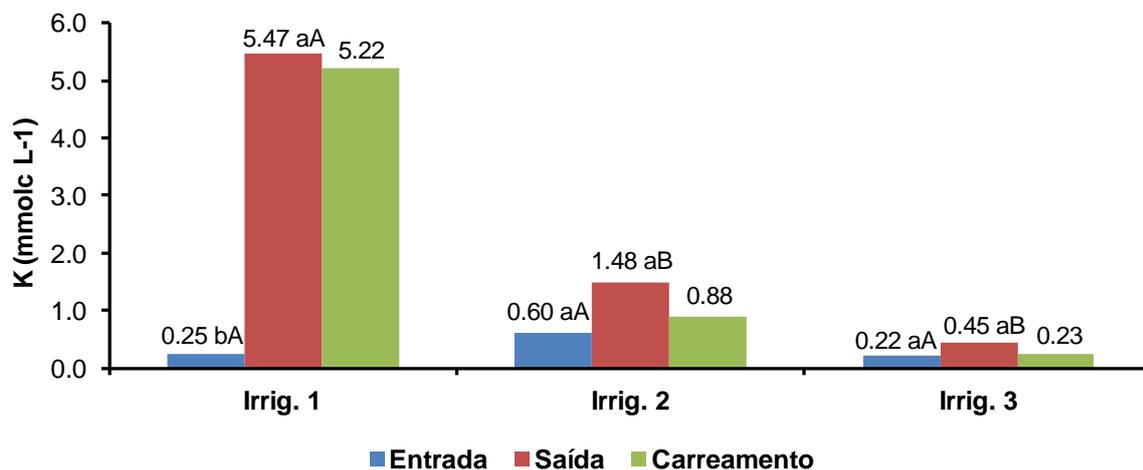
*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 30. Valores médios de sódio, sulfatos e cloretos ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) presentes na água de drenagem de solos semiáridos cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.

A concentração de potássio (K^+) na água de irrigação aplicada nos dois solos antes de entrar no sulco de irrigação variou de 0,20 a 0,30 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no Vertissolo, e de 0,14 a 1,00 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no Argissolo. Após passar pelo sulco de irrigação, na água de drenagem, o K^+ variou de 4,20 a 0,54 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no Vertissolo, e 6,73 a 0,30

$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no Argissolo, da primeira à terceira irrigação, Tabela 17. Destaca-se que a concentração de K^+ foi maior na água de drenagem do Argissolo.

Estatisticamente não houve diferença entre solos para K^+ , porém, uma interação significativa entre o local de coleta da água e a irrigação. Na primeira irrigação, a concentração de K^+ na água do rio (Entrada) foi de $0,25 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ e após passar pelo sulco de irrigação (Saída), a concentração de K^+ passou para $5,47 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$, havendo um carregamento de K^+ em $5,22 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$. Esse resultado foi esperado devido à aplicação de cloreto de potássio dois dias antes da primeira irrigação, evidenciando o efeito da irrigação no carregamento do elemento. Entretanto, na segunda irrigação, o valor de K^+ na água de entrada variou de $0,60$ e $1,48 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ na saída do sulco, com um carregamento de $0,88 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$; e na terceira irrigação a concentração de K^+ variou de $0,22$ a $0,45 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ da entrada do sulco à saída, com um carregamento de $0,23 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$, não havendo diferença estatística entre o local de coleta de água para as duas últimas irrigações, Figura 31. Similar aos elementos discutidos anteriormente, o carregamento de K^+ pela água de drenagem final foi mais elevada na primeira irrigação do que nas posteriores, devido à lixiviação do mesmo durante a infiltração das águas das irrigações no solo.

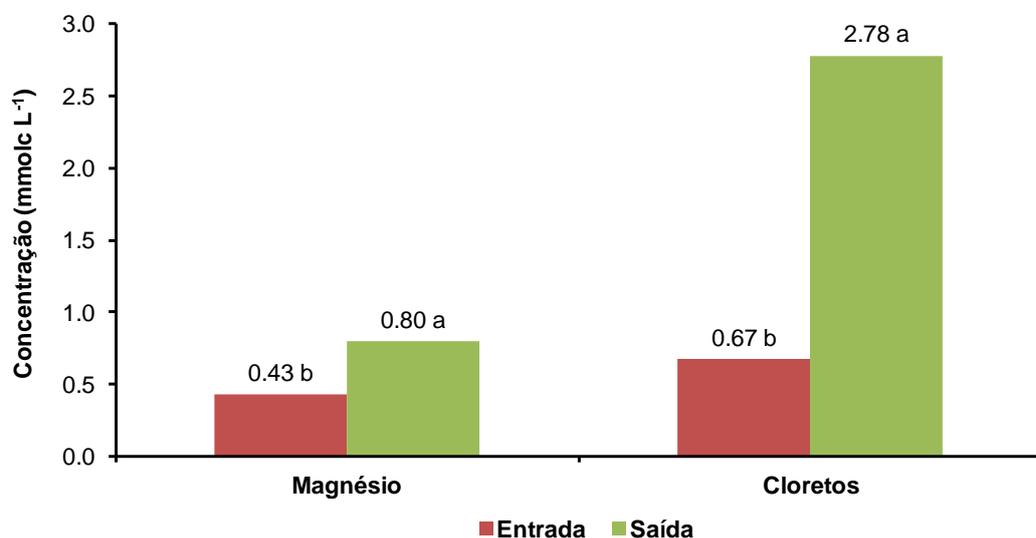


*Médias seguidas de mesma letra minúscula para irrigação e maiúscula entre irrigações não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 31. Valores médios potássio (K^+) em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ presentes na água de irrigação antes de entrar no sulco (Entrada) e na água de escoamento no final do sulco (Saída) para três eventos de irrigação em dois solos do semiárido, cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.

A concentração de magnésio (Mg^{+2}) na água de irrigação aplicada nos dois solos antes de entrar no sulco de irrigação foi de $0,40 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no Vertissolo e no Argissolo variou de $0,38$ a $0,60 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Após passar pelo sulco de irrigação, na água de drenagem, o Mg^{+2} variou de $0,58$ a $1,37 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no Vertissolo, e de $0,43$ a $0,73 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no Argissolo, Tabela 17. Para o cloreto a concentração na água de irrigação aplicada nos dois solos antes de entrar no sulco de irrigação variou de $0,50$ a $0,70 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no Vertissolo, e de $0,50$ a $1,10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, no Argissolo. Após passar pelo sulco de irrigação, na água de drenagem, o Cl^- variou de $0,90$ a $4,37 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no Vertissolo, e de $0,80$ a $6,83 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ no Argissolo, Tabela 17. A concentração de Mg^{+2} foi maior na água de drenagem do Vertissolo e o Cl^- na água de drenagem do Argissolo.

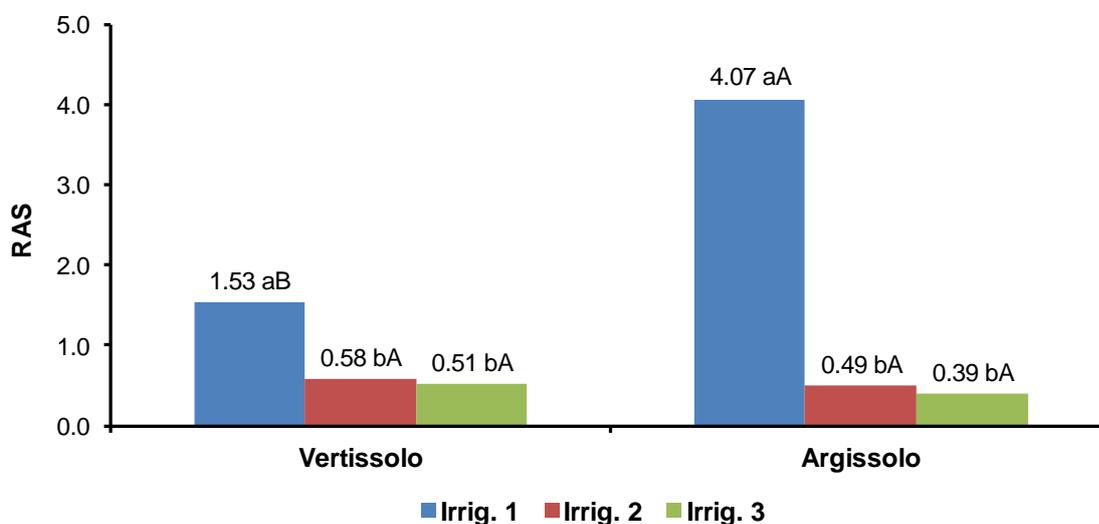
Não houve diferença estatística entre solos para as variáveis magnésio e cloretos. Essas diferiram estatisticamente entre local de coleta da água com variação, respectivamente, de 86% e 314 % da entrada à saída, Figura 32. Esses valores indicaram que houve carreamento desses elementos presentes na superfície do solo.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 32. Valores médios de magnésio e cloretos ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$) presentes na água de irrigação antes de entrar no sulco de irrigação (Entrada) e após passar pelo sulco (Saída) de solos semiáridos cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.

A relação de adsorção de sódio (RAS) foi influenciada significativamente pelo solo e pela irrigação. O aumento da RAS da água de drenagem do sulco da primeira irrigação deveu-se principalmente à formação de sulfatos e cloretos de Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ e Na^+ no Vertissolo e de sulfatos e cloretos de K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , e Na^+ no Argissolo. Ou seja, o tamponamento do solo influencia não apenas na quantidade de íons que sai do sistema por lixiviação, como também na qualidade dos íons carreados. Neste estudo, o Vertissolo proporcionou uma maior tendência de perda dos cátions bivalentes (Ca^{+2} e Mg^{+2}) por esses se encontrarem em maior quantidade no Vertissolo. Consequentemente, quanto maior concentração de Ca^{+2} e Mg^{+2} na solução de drenagem, maior é a RAS, que é proporcional a esses cátions. Entretanto, no Argissolo, a perda de cátions bivalentes apesar de ter sido menor, a RAS foi maior na primeira irrigação devido principalmente a perda Na^+ nesse solo bem como suas características físicas de não reter nutrientes. Nas irrigações seguintes, não foi observado diferença estatística entre elas e nem entre solos, Figura 33.

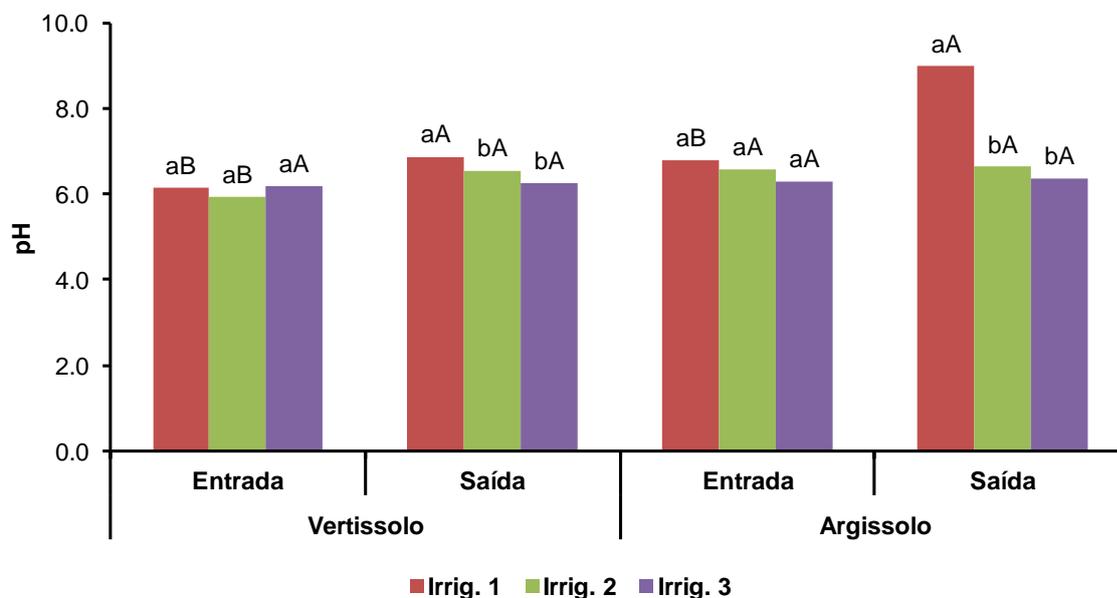


*Médias seguidas de mesma letra minúscula, para comparar as irrigação no solo, e maiúscula, para comparar irrigação entre solos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 33. Valores médios de Relação de Adsorção de Sódio (RAS) da água de drenagem para Vertissolo e Argissolo cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.

O pH foi influenciado significativamente pelo solo, pelo local de coleta da água e pela irrigação, Figura 34. Não houve diferença significativa entre os valores de pH

da água de irrigação antes de entrar no sulco, tanto para o Vertissolo como para o Argissolo. O aumento do pH da água após passar pelo sulco de irrigação deve-se aos maiores teores de íons presentes na água de drenagem, já que os íons foram carregados pela água de irrigação logo após a fertilização do solo na linha do sulco. No entanto, na terceira irrigação para o Vertissolo, essa diferença não foi significativa entre os locais de coleta da água (Entrada e Saída). No Argissolo, houve diferença entre local de coleta apenas para a primeira irrigação. A tendência é de que solos menos tamponados, como o Argissolo em estudo, perca mais íons e, portanto, maior o valor de pH da água de drenagem para a primeira irrigação nesse, diferindo do Vertissolo. Nas irrigações posteriores não houve diferença estatística entre si e entre solos.

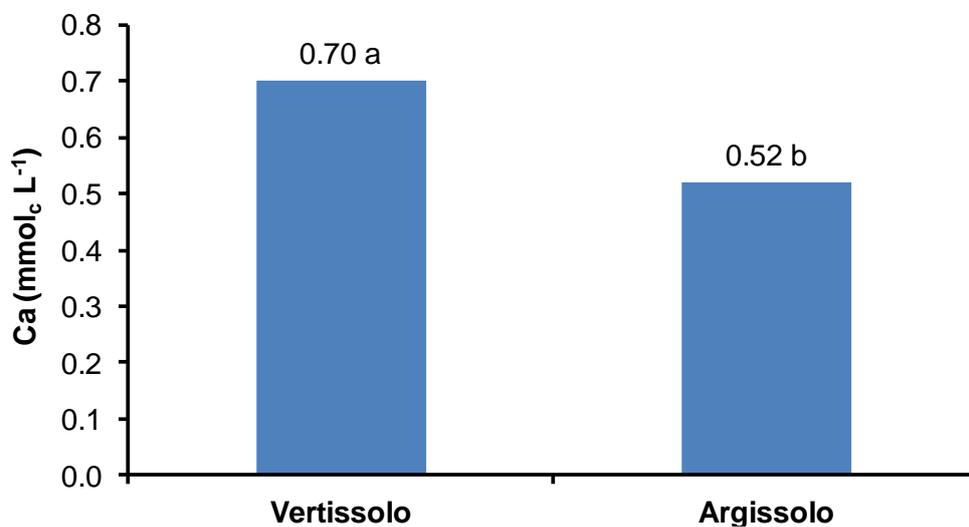


*Médias seguidas de mesma letra minúscula, para comparar as irrigações no local de coleta da água, e maiúscula, para comparar irrigação entre locais de coleta, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 34. Valores médios de pH antes de entrar no sulco de irrigação e na drenagem final do sulco para as três irrigações realizadas no Vertissolo e Argissolo, cultivado com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Os resultados da análise de variância mostraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável carbonato. O cálcio foi uma variável que teve interação com solo, Figura 35. No Vertissolo, a água de drenagem estava mais concentrada com cálcio, quando comparada com a água do Argissolo, isso se

deve a quantidade cálcio do solo, que em média foi de $30,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no Vertissolo e $3,36 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no Argissolo, Tabela 1.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Figura 35. Valores médios de cálcio (Ca) em $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ presentes na água de irrigação do Vertissolo e Argissolo cultivados com cana-de-açúcar e irrigados por sulco, Juazeiro, Bahia.

Tabela 17. Valores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), carbonatos (CO_3^{-2}), bicarbonatos (HCO_3^{-}), sulfatos (SO_4^{2-}), cloretos (Cl^{-}), pH, condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio (RAS) na água antes de entrar no sulco de irrigação (Entrada) e depois de passar pelo sulco (Saída) para três irrigações realizadas em Vertissolo e Argissolo, cultivados com cana-de-açúcar, Juazeiro, Bahia.

Solo	Variável	Ca	Mg	Na	K	CO_3^{-2}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	pH	C.E.	RAS
	Irrigação	mmolc/L									dS/m	
Vertissolo	Entrada 1 ^a	0,60	0,40	0,40	0,30	0,00	0,60	0,70	0,70	6,15	0,15	0,57
	Saída 1 ^a	0,67	0,93	1,67	4,20	0,00	1,53	1,90	4,37	6,88	1,30	1,86
	Entrada 2 ^a	0,60	0,40	0,20	0,20	0,00	0,50	0,50	0,50	5,93	0,12	0,28
	Saída 2 ^a	0,23	1,37	0,60	1,87	0,00	0,67	1,47	2,17	6,56	0,61	0,67
	Entrada 3 ^a	0,60	0,40	0,30	0,30	0,00	0,60	0,40	0,70	6,20	0,20	0,42
	Saída 3 ^a	0,60	0,58	0,42	0,57	0,00	0,72	0,50	0,90	6,27	0,24	0,54
Argissolo	Entrada 1 ^a	0,60	0,40	1,30	0,20	0,00	0,60	0,80	0,50	6,80	0,28	1,84
	Saída 1 ^a	0,67	0,43	3,53	6,73	0,00	1,60	1,37	6,83	8,99	1,61	4,76
	Entrada 2 ^a	0,60	0,60	0,40	1,00	0,00	0,6	1,10	1,10	6,59	0,21	0,52
	Saída 2 ^a	0,70	0,73	0,42	1,10	0,00	0,87	1,07	1,63	6,64	0,23	0,49
	Entrada 3 ^a	0,72	0,38	0,24	0,14	0,00	0,50	0,30	0,50	6,31	0,13	0,32
	Saída 3 ^a	0,81	0,78	0,39	0,30	0,00	0,70	0,40	0,80	6,38	0,19	0,43

Estes resultados indicam que são necessários mais estudos sobre a fertilização na superfície dos solos estudados, quando irrigados por sulco, para evitar perdas de fertilizantes pelo carreamento. Muitos são os trabalhos que apresentam modelos numéricos para simular gestão de fertirrigação de superfície e perda por lixiviação de nutrientes, entretanto poucos são os trabalhos que avaliam perdas de nutrientes por carreamento.

Abbasi et al. (2012) objetivando avaliar a uniformidade de aplicação de fertilizantes de nitrato em diferentes texturas de solo irrigados por sulco e avaliar as perdas por escoamento superficial e percolação profunda, verificaram que experimentos em solos de textura leve resultaram em maior perda de água e de fertilizantes nitrogenado através de escoamento.

Jaynes et al. (1992) conduziram um experimento de fertirrigação e compararam o comportamento de lixiviação de dois rastreadores móveis. Eles estudaram o destino de brometo aplicado na água de irrigação e do ácido benzóico o-trifluorometil pulverizado sobre a superfície do solo antes da irrigação por sulco. Seus resultados indicaram que fertilizantes aplicados na água de irrigação poderiam potencialmente aumentar a profundidade de lixiviação de produtos químicos agrícolas.

O problema com as práticas de fertilização para campos irrigados por superfície é que a mistura não é sempre distribuída de maneira uniforme, e o escoamento da água para fora do campo pode transportar adubo com ele, (ABBASI, et al., 2012). Por conseguinte, estratégias de fertilizar o solo e irrigar em seguida, podem levar à perda de fertilizantes, resultando em poluição ambiental. Assim, isto exige o desenvolvimento de estratégias de aplicação de água e fertilizantes adequados, para maximizar sua eficiência de aplicação e minimizar as perdas de fertilizantes através do carreamento.

4. CONCLUSÕES

As variações da distribuição dos nutrientes no perfil e nas linhas de irrigação por sulco ocorreram principalmente pelo efeito da lixiviação e do carreamento dos mesmos, com destaque maior para o Argissolo.

A quantidade de íons carregados pela água de drenagem foi inversamente proporcional à capacidade tampão dos solos, sendo a maior perda de nutrientes na primeira irrigação após a adubação.

5. REFERÊNCIAS

ABBASI, F.; REZAEI, H. T.; JOLAINI, M.; LI ALIZADEH, H. A. Evaluation of fertigation in different soils and furrow irrigation regimes. **Irrigation and Drainage**, v.61, p.533–541, 2012.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for predicting crop water requirements, Roma: FAO, 1988, 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de. **Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta**. Recife, PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. (Tese de Mestrado).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. USA: APHA, 22^o ed, 2011.

ANDRADE, D.V.; BOTREL, T.A.; PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A. Modelo matemático para simulação da fase de avanço na irrigação por sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.56-62, 1998.

ANDRÉN, O.; STEEN, E. e RAJKAI, K. Modelling the effects of moisture on barley straw and root decomposition in the field. **Soil Biol. Biochem.**, v. 24, p. 727-736, 1992.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999, 153 p. (estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1 2^a edição).

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. New York, John Wiley e Sons, 1984. 398p.

BARBER, S. A.; WALKER, J. M.; VASEY, E. H. Mecanismos para a circulação de nutrientes do solo e de fertilizantes para a raiz da planta. **J Agric Food Chem**, v.11, p.204 - 207, 1963.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2008. 657 p.

BERENGUER, P.; CELA, S.; SANTIVERI, F.; BOIXADER, J.; LLOVERAS, J. Copper and zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilized with liquid swine manure. **Agron. J.**, v.100, p.1056-1061, 2008.

BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O.J.; RIZZI, N.E. Mobilidade de P, Cu e Zn nos colunas de solo de solução sistema de semeadura direta submetido como adubações mineral e orgânica . **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.34, n.6, p.1841-1850, 2010.

BERTOL, I.; ENGEL, F.L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J.; RITTER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.94, n.1, p.142-150, 2007a.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. e ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:781-792, 2007b.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, 485-494, 2004.

BEZERRA, A; CANTALICE, J.R.B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, Sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.565-573, 2006

BJORNEBERG, D. Irrigation Erosion. **Northwest Irrigation and Soils Research**, 2011.

BORKET, C.M. Manganês. In: FERREIRA, M. E; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: Potafos, p.173-88, 1991.

BOTREL, T. A.; MARQUES, P. A. A. Software para dimensionamento de irrigação por sulcos . **Scientia Agricola** v.57, n.4, p.803-811, 2000.

BURGUETE, J.; ZAPATA, N.; GARCÍA-NAVARRO, P.; M. MAÏKAKA; PLAYÁN, E.; MURILLO, J. Fertigation in furrows and level furrow systems. ii: field experiments, model calibration, and practical applications. **J. Irrig. Drain Eng.** v.135, p.413-420, 2009.

CAMARGO de, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm>. Acesso em: 8 de agosto de 2013.

CARRIJO, O. A.; SOUSA, R. B.; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE R. J. Circular Técnica 32: **Fertirrigação de hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 13p.

CARVALHO, D. F; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da Chuva e perdas POR erosão soluço Diferentes Práticas de Manejo fazer solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.3-9, 2009.

CARVALHO FILHO, Amaury de et al. Óxidos de manganês em solos do quadrilátero ferrífero (MG). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.35, n.3, p. 793-804, 2011.

CHEN, M.; Li, X.M.; YANG, Q.; ZENG, G.M.; ZHANG, Y.; LIAO, D.X.; LIU, J.J.; HU, J.M.; GUO, L. Total concentrations and speciation of metals in municipal

sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in middle-south region of China. **J. Hazard. Mater.**, v.160, n. 2, p. 324-329, 2008.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB 2012: **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2011/2013, levantamento dezembro de 2012.** Brasília: Companhia Nacional do Abastecimento, 2012.

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p. 1013-1021, 2004.

DARLI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, C.J.B. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.1-11, 2008.

DE BONA, F. D; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** vol.30 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2006.

EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W. Rainfall erosion in the tropics: a state of art. In: FAVARETTO, N. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition. **West Lafayette, Purdue University**, 2002. 150p. (Tese de Doutorado)

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A.; CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.393-402, 2007.

FALCÃO, F. V.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Variação de matéria orgânica, fósforo, potássio e enxofre, em função da profundidade de amostragem e do relevo, de um Latossolo com sistema plantio direto consolidado. Disponível em: <<http://www.sementesfalcao.agr.br/xdown/ARQPDF0004.pdf>> Acesso em: 14 de maio de 2013.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Sci. Agríc.**, v.58, p.627-646, 2001.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E.M. Uso da centrífuga para a determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.19, p.1423-1428, 1984.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por superfície**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Engenharia Rural, 1993. 183p. (Série Didática, 5).

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.145-154, 1999.

HE, Z. L.; YANG, X. E.; STOFFELLA, P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.19, p.125-140, 2005.

HOODA, P.S.; EDWARDSB, A.C.; ANDERSONB, H.A.; MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **Sci. Total Environ.**, v.250, p.143-167, 2000.

HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona Litoral-Mata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira: Série Agronômica**, Rio de Janeiro, v.11, n.12, p.27-35, 1976.

JAYNES, D. B.; RICE, R. C.; HUNSAKER, D. J. Solute transport during chemigation of a level basin. **Transactions of ASAE**, v.35, n.6, p.1809-1815, 1992.

KÄMPF, N.; CURI, N. & MARQUES, J.J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p.573-610, 2009.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros**. Piracicaba: POTAFOS, 153p. 1989.

MARTINS FILHOS, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.8-18, 2009.

MARTINS, M. L de N.; SPERLING, E. V. Dinâmica do ferro e do manganês no hipolímnio do Reservatório serra azul em minas gerais. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/hipolimnio.pdf>> Acesso em: 14 de maio de 2013.

MCDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N. Phosphorus losses in subsurface flow before and after manure application to intensively farmed land. **Sci. Total Environ.** 278:113–125, 2001.

MEIRELES. A. C. M.; ANDRADE, E. M.; CRUZ, M. G. M. da.; LEMOS FILHO, L. C. A. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, n.2, p.207-212, 2003.

MELLO, E.L. **Erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo sob chuva simulada**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2002. 88p. (Tese de Mestrado).

MOSTAFAZADEH-FARD, B.; KAVEI-DEYLAMI, R.; SAGHAIAN-NEJAD, S. H.; JALALIAN, A. The comparison of erosion of meandering and standard furrow irrigation under different field slopes. **Australian Journal of Agricultural Engeneering**, vol. 1, n. 2, p. 29-37, 2010.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.7, p. 317-322, 1983.

NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L. & MELÍCIO, A.C.F.D. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, p.599-606, 2002.

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

PELES, D. Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquidos de suínos. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. 84p. (**Tese de Mestrado**)

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois latossolos do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p.665-674, 2003.

PIOVESAN, R.P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V.; REISSMANN, C.B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.757-766, 2009..

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa – MG: Editora UFV, Cap. 1, p.13-23. 2006.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, APTA e IAC, p.284, 2001.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim Técnico 81).

REZENDE, F.C.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A. Otimização dos parâmetros de projeto de um sistema de irrigação por sulcos: II. análise da sensibilidade ao custo da água, da mão de obra e das estruturas hidráulicas. **Engenharia Rural**, v.3,p.32-49, 1992.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.2, p.700-709, 2000.

RICHTER, R. L.; AMADO, T. J C.; FERREIRA, A. de O.; ALBA, P. J.; HANSE, F. D. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e Profundidade de amostragem. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, GO, vol.7, N.13; p.: 1043-1059.; 2011.

ROMERO, N. C. de S. **Perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão em entressulcos em argissolo com resíduos de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, SP, 2009.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos Químicos fazer sozinho afetado Pelo Manejo da Água e do fertilizante potássico na Cultura de arroz irrigado . **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.6, n.1, p.12-16, 2002.

SANTOS, D. H. dos. **Adubação fosfatada no plantio da cana-de-açúcar a partir de torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. 2009. 35f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.

SAS Institute Inc. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.1.3, Cary, Statistical Analysis System Institute, USA, 2004. 846p.

SCALOPPI, E.J. Características dos principais sistemas de irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.25, p.22-27, 1986.

SCHICK, J. *et al.* Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 437-447, 2000.

SCHUMMAN, L.M. Phosphate and nitrate movement through simulated golf greens. **Water Air Soil Pollut.**, v.129, p.305-318, 2001.

SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. **Infiltration and seal formation processes**. In: AGASSI, M. Soil erosion, conservation, and rehabilitation. New York: Marcel Dekker, 1995. p.1-22.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L.I. Source-related transport of phosphorous in surface runoff. **J. Environ. Qual.**, v.35, p.2229-2235, 2006.

SILVA, A. S. **Movimentação de amônio, nitrato, potássio e fósforo aplicados por fertirrigação em Latossolos**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 58p. (Tese de Mestrado).

SILVA, E. de B.; FARNEZI, M. M. de M.; PINHO, P. J. de; RODRIGUES, M. G. V.; CARVALHO, J. G. de. Análise espacial da erosão hídrica em um latossolo vermelho Amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 335-342, 2007.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, p.32, n.2, p.213-20, 1997.

SISTANI, K.R.; MCLAUGHLIN, M.R.; BRINK, G.E. Soil nutrient evaluation from swine effluent application to five forage-system practices. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, v.82, p.265-271, 2008.

SMEWW. Standard methods for examination of water and wastewater. **Américan Públic Healf Association** – APHA. 20^a Edition. Washinton, 1998

SOUSA, G. B.; MARTINS FILHO, M. V.; MATIAS, S. S. R. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, 2012.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego, Academic Press, 1995. 267p.

TAKALSON, D.D.; LEYTEM, A.B. Phosphorus mobility in soil columns treated with dairy manures and commercial fertilizer. **Soil Sci.**, v.174, p.73-80, 2009.

TEIXEIRA, I.R. et al. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, Piracicaba, v.62, p.119-126, 2003.

VAREJÃO, S. Desafio da tecnologia para produção de biocombustíveis. **Revista Inovação em Pauta**, Finep (2009/2010)Disponível em: <http://www.finep.gov.br/imprensa/revista/edicao8/inovacaoempauta8biocombustiveis_0202.pdf> Acesso em: 13 de agosto de 2013.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 32, p.: 2297 - 2305, 2008.

XIAORONG, W.; MINGDE, H.; MINGAN, S. Copper fertilizer effects on copper distribution and vertical transport in soils. **Journal Elsevier**, v.138, p.213-220, 2007.

YANG, S.; ZHOU, D.; YU, H.; WEI, R.; PAN, B. Distribution and speciation of metals (Cu, Zn, Cd, and Pb) in agricultural and non-agricultural soils near a stream upriver from the Pearl River, China. **Journal Elsevier**, v.177, p. 64-70 2013.

YU, C.Z., PENG, L., LIU, Y.H., DAI, M.J., PENG, X.L. Content and distribution of trace elements and fertilizer efficiency in soils of Loessal region. **Acta Pedol. Sin**, v.28, p.317–326, 1991.

ZANAO JUNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANAO, M. P.; GUIMARAES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v.57, n.3, p.429-438, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q. e GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.1000-1007, 2007.