

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VÁCUO, MOMENTO DE COLETA
E POSICIONAMENTO DE EXTRATORES DE CÁPSULAS POROSAS
EM SOLO ARENOSO**

LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Junho - 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VÁCUO, MOMENTO DE COLETA
E POSICIONAMENTO DE EXTRATORES DE CÁPSULAS POROSAS
EM SOLO ARENOSO**

LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Junho - 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Salomão, Leandro Caixeta, 1982-
S173d Determinação do tempo de vácuo, momento de coleta e posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso / Leandro Caixeta Salomão. - Botucatu : [s.n.], 2009.
x, 79f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009
Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas
Inclui bibliografia

1. Extratores de solução. 2. Solução do solo. 3. Fertilização. 4. Tempo de vácuo. I. Villas Bôas, Roberto Lyra. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

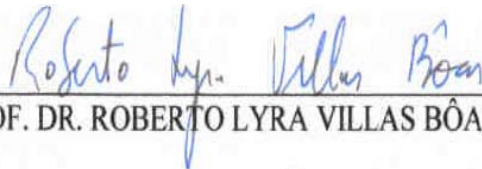
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VÁCUO, MOMENTO DE COLETA E
POSICIONAMENTO DE EXTRATORES DE CÁPSULAS POROSAS EM
SOLO ARENOSO".**

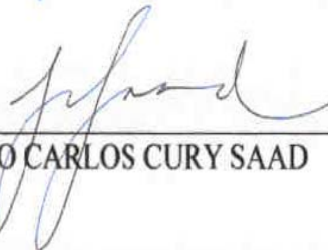
ALUNO: LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. DÁLCIO RICARDO BOTELHO ALVES

Data da Realização: 19 de junho de 2009.

Dedico

Aos meus queridos pais por todo amor e carinho ao longo desta jornada.

À minha irmã e ao meu irmão pelo incentivo e respeito.

À minha pequena sobrinha Isadora, fonte de alegria, luz e paz.

Ao grande Luciano, pelo apoio constante.

À minha noiva Priscilla e Paollinha, por todo amor, carinho, apoio e compreensão aos momentos ausentes.

Ao meu tio Jorge Jacob Netto pelo estímulo e apoio em todos os momentos de minha carreira profissional.

A toda minha família pela compreensão aos momentos que não estive presente.

Ofereço

À memória do meu
avô, Elias Jorge Salomão.
Muitas saudades...

Água que nasce na fonte
Serena do mundo
E que abre um
Profundo grotão
Água que inocente
Riacho e deságua
Na corrente do ribeirão...
Águas escuras dos rios
Que levam
A fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias
E matam a sede da população...
Água que caem das pedras
No véu das cascatas
Ronco de trovão
E depois dormem tranqüilas
No leito dos lagos
No leito dos lagos...
Água dos igarapés
Onde Iara, a mãe d'água
É misteriosa canção
Água que o sol evapora
Pro céu vai embora
Virar nuvens de algodão...
Gotas de água da chuva
Alegre arco-íris
Sobre a plantação
Gotas de água da chuva
Tão tristes, são lágrimas
Na inundação...
Águas que movem moinhos
São as mesmas água
Que encharcam o chão
E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra
Pro fundo da terra...
Terra ! Planeta Água
Terra ! Planeta Água

(Guilherme Arantes)

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte inesgotável de amor, paz e sabedoria, pela saúde, disposição e persistência durante esta jornada.

À empresa Citrovita e todos seus funcionários que se dedicaram ao desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão do auxílio financeiro para a realização da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, pela oportunidade da realização do curso, especialmente ao Departamento de Engenharia Rural e Departamento de Recursos Naturais/Ciência do solo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, pelo início da formação acadêmica.

Ao Professor e orientador Roberto Lyra Villas Bôas, pela confiança, incentivo, amizade e ensinamentos.

Aos professores João Calos Cury Saad, Dirceu Maximino Fernandes, Raimundo Leite Cruz, Antonio Evaldo Klar, Antonio de Pádua e Sousa, pelos quais tenho carinho e admiração, é a todos os professores da FCA.

Aos Professores Dalcio Ricardo Botelho Alves e Gilson Dourado da Silva, pela amizade e disposição de participar deste trabalho.

Aos amigos José Joaquim, Augusto, Érika, Clóvis, Luiz, Clarice, Alexandro, Talita, Francilene, Livia Sancinetti, Jayme, Ringleia, Roberta, Lívia Creste, Aline, Ricardo, Gilberto, Silvia, Gustavo, Enio, Daniel, João Carlos. Em especial aos amigos Thais Regina de Souza, Letícia Cecília Forato e Thomas Fiore de Andrade pela participação direta neste trabalho.

Enfim, a todos que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Irrigação localizada por gotejamento na cultura dos citros	8
2.2 Fertirrigação.....	10
2.3 Mobilidade dos íons	12
2.4 Tempo de aplicação do vácuo e coleta da solução do solo.	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Localização e característica da área experimental.....	18
3.2 Tratamentos e delineamento estatístico.....	19
3.3 Dose e parcelamento de N, P e K na fertirrigação.....	20
3.4 Condução do ensaio e análises realizadas	21
3.5 Manejo da fertirrigação	24
3.6 Obtenção da curva de retenção de água no solo.....	25
3.7 Manejo de irrigação	26
3.7.1 Uniformidade do sistema de irrigação localizada.....	26
3.7.2 Manejo de irrigação com base no solo	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Precipitação pluviométrica	31
4.2 Dinâmica de água no solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo.....	32
4.3 Dinâmica de NO_3^- na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo.....	35

4.4 Dinâmica de fósforo na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo.....	38
4.5 Dinâmica de potássio na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo.....	41
4.6 Comportamento do pH na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo.....	44
4.7 Condutividade elétrica na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo.....	46
4.8 Dinâmica de água no solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo.....	48
4.9 Dinâmica de NO_3^- na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo.....	51
4.10 Dinâmica de fósforo na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo.....	54
4.11 Dinâmica de potássio na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo.....	57
4.12 Comportamento do pH na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo.....	59
4.13 Condutividade elétrica na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo.....	61
4.14 Posicionamento dos extratores de solução ao longo do bulbo molhado	63
5. CONCLUSÕES	68
6. REFERÊNCIAS	69

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Arranjo dos extratores no ensaio compreendendo quatro distâncias (5, 15, 25 e 35 cm) do emissor em diferentes profundidades (15, 30, 60 e 90 cm).	20
2 Extratores de solução no ensaio.	22
3 Bomba elétrica utilizada no ensaio para aplicação do vácuo aos extratores.	22
4 Medidores de íons específicos K^+ e NO_3^- da marca Horiba (Cardy).....	23
5 Curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0-20 (A), 21-40 (B), 41-60 (C) e 61-80 (D) cm de profundidade.....	26
6 Esquema da metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento (adaptado de Silva et al., 2005).	27
7 Tensiômetro de punção.....	28
8 Valores mensais provenientes da precipitação pluviométrica.....	31
9 Distribuição espacial da tensão (kPa) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.	34
10 Distribuição espacial de NO_3^- ($mg\ L^{-1}$) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.	37
11 Distribuição espacial de fósforo ($mg\ dm^{-3}$) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.	40
12 Distribuição espacial do potássio ($mg\ L^{-1}$) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.	43

- 13 Distribuição espacial do pH na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....45
- 14 Distribuição espacial da condutividade elétrica (dS m^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....47
- 15 Distribuição espacial da tensão (kPa) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....50
- 16 Distribuição espacial de NO_3^- (mg L^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....53
- 17 Distribuição espacial de fósforo (mg dm^{-3}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....56
- 18 Distribuição espacial do potássio (mg L^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....58
- 19 Distribuição espacial do pH na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....60
- 20 Distribuição espacial da condutividade elétrica (dS m^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a

fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação:
 Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.....62

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Resultado da análise de textura do solo.....	19
2 Datas da fertirrigações e adubações realizadas no período do experimento.	21
3 Média das concentrações de NO_3^- para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade	64
4 Média das concentrações de fósforo para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade	65
5 Média das concentrações de potássio para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade	66
6 Média das concentrações de condutividade elétrica para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade	67

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de monitorar a concentração dos nutrientes N, P e K, a partir de variações no posicionamento dos extratores de solução tanto na vertical como na horizontal ao longo do bulbo molhado, e o tempo de vácuo e coleta da solução do solo em relação à fertirrigação, para cultura da laranja. O experimento foi conduzido na fazenda Emu, pertencente à empresa Citrovida, localizada na cidade de Reginópolis, estado de São Paulo. Adotou-se o delineamento experimental em blocos. O arranjo dos tratamentos constitui um fatorial 4 x 4 com cinco repetições, compreendendo quatro distâncias do emissor 5, 15, 25 e 35 cm, e quatro profundidades 15, 30, 60 e 90 cm. Foram instalados 16 extratores de solução do solo por bloco, totalizando 80 extratores no projeto. O vácuo aplicado aos extratores de solução foi realizado sob diferentes momentos 0, 2, 4, 6 e 12 horas após a irrigação e dois momentos distintos de coleta após a aplicação do vácuo, 2 e 12 horas. O monitoramento da concentração dos íons no solo foi realizado por meio da retirada da solução do solo com extratores de cápsulas porosas. Durante o período de condução do experimento foi avaliado o pH, CE, nitrato, potássio e fósforo na solução do solo e umidade do solo com auxílio de tensiômetros de punção. Os resultados indicam que não há necessidade de maiores tempos para aplicação de vácuo aos extratores e coleta da solução, sendo o tempo de vácuo e coleta 4-2 suficiente para realização do procedimento de extração da

solução do solo. Baseado na mobilidade dos íons no perfil do solo, recomenda-se um extrator de solução para determinar na solução do solo P e K, localizado a 15 cm de distância do emissor na horizontal e 30 cm de profundidade e para NO_3^- um outro extrator localizado a 25 cm de distância do emissor na horizontal e 30 cm de profundidade.

Palavras-chave: extratores de solução, solução do solo, posicionamento, tempo de vácuo e coleta.

DETERMINATION OF THE VACUUM TIME, PERIOD OF COLLECTION AND POSITIONING OF THE POROUS EXTRACTANTS CAPSULES IN SANDY SOIL. Botucatu, 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Author: LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

Adviser: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

SUMMARY

The aim of this study was to monitor the concentration of nutrients N, P and K on citrus orchard through extractors positioned vertically and horizontally along with the wet bulb in the soil. The vacuum applied to the solution extractors and the soil solution extracting time of fertigation were measured. This research was conducted at Emu farm, which belongs to Citrovita Company, located in Reginópolis city, at São Paulo state, Brazil. Was used in the experimental design blocks, the arrangement of the treatments is a 4 x 4 factorial with five replications, including four distances from the transmitter 5, 15, 25 and 35 cm, and four depths 15, 30, 60 and 90 cm. 16 extractors have been installed in the soil solution per block, totaling 80 extractors in the project. The vacuum was applied to the solution extractors at different times as 0, 2, 4, 6 and 12 hours after the irrigation occurrence. The soil solution was collected 2 and 12 hours later the vacuum had been applied. The soil ions concentration was determined extracting the soil solution through porous ceramic cup extractors. During the research period, pH, CE, soil moisture, nitrate, potassium and phosphorus content were measured in the soil solution by tensiômetros de punção (tensiometric batteries). The results indicated that it is not necessary to wait a long time after the irrigation to apply the vacuum and to collect the soil solution. Respectively, 4 and 2 hours to apply the vacuum and to obtain the soil solution are enough to the extraction soil solution procedure. Based on ions mobility in the soil profile to determine P and K nutrients in the soil solution is recommended to place the soil solution

extractor 15 cm horizontally and 30 cm deep away from emitter. To determine NO₃ another extractor is needed placed 25cm horizontally and 30 cm deep far from the emitter.

Keywords: extractors solution, soil solution, positionig, vacuming time collecting.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem ganhando espaço na citricultura mundial, tornando-se líder na produção de laranja e de suco concentrado. Aproximadamente 15% da área de citros em São Paulo é irrigada atualmente, o que corresponde a aproximadamente 80 mil hectares (FNP, 2007).

Atualmente tem-se dado preferência ao sistema de irrigação localizada, entre outros motivos, pela economia de água, mas também, pela facilidade de aplicação de nutrientes via sistema de irrigação, ou seja, fertirrigação. Esta técnica apresenta uma série de vantagens, pois quando os nutrientes são fornecidos juntamente com a água de irrigação, aumenta-se a eficiência da adubação, devido a melhor uniformidade de distribuição e maior possibilidade de parcelamento das adubações e, portanto, mais ajustadas às demandas das plantas. Há ainda a vantagem de poder reajustar a quantidade de nutrientes aplicada, desde que feito um adequado monitoramento, dentre outros, o da solução do solo.

A solução do solo compreende a fase aquosa do solo, da qual as raízes das plantas retiram os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento e produção. O conhecimento da concentração de nutrientes na solução do solo é desejável para o manejo racional da adubação e, mais recentemente, da fertirrigação, técnica que permite grande flexibilidade no parcelamento da adubação ao longo do ciclo das culturas.

Décadas atrás, acreditava-se que o equilíbrio químico da solução do solo requeria a precipitação dos sais adicionados, com a finalidade de manter a composição da solução constante, a qual era governada principalmente pelos minerais de origem do solo (CAMAREON, 1911). Posteriormente Hoagland et al. (1920) demonstraram que a concentração química da solução do solo poderia ser elevada pela adição de sais solúveis e que os elementos adicionados seriam os mesmos a apresentar aumento na concentração, demonstrando que a concentração de nutrientes na solução é proporcional à quantidade de fertilizantes aplicada. Assim, o manejo da adubação pode ser fundamentado no conhecimento da composição química da solução do solo, devendo-se aplicar fertilizantes sempre que a concentração do nutriente na solução apresentar-se abaixo do nível desejado. De modo inverso, a adubação poderá ser diminuída quando as concentrações atingirem valores que podem causar efeitos negativos às plantas.

Recentemente, o extrator de solução tem sido considerado uma ferramenta importante para o monitoramento da concentração iônica da solução, principalmente por seu custo relativamente baixo e por ser um instrumento simples e de fácil manuseio.

O extrator de solução do solo é composto de um tubo de PVC conectado a uma cápsula de cerâmica porosa, a qual é enterrada até a profundidade em que se deseja obter a solução do solo. A solução é obtida pela aplicação de vácuo no extrator, forçando a entrada da solução pela cápsula porosa. Wolt (1994) cita como fatores interferentes na amostragem da solução do solo, o tempo da extração, a zona de influência da cápsula e a tensão aplicada. De acordo com Morrison & Lowery (1990) a zona de influência de uma cápsula de cerâmica é resultado das características físico-hídricas do solo e da taxa de vácuo aplicada. Segundo Riga & Charpentier (1998) o tempo que o extrator é submetido ao vácuo, influencia no equilíbrio iônico da solução do solo.

Tanto o adequado posicionamento dos extratores de solução do solo no campo, quanto o seu correto manejo, em relação ao tempo de aplicação do vácuo e coleta da solução do solo após a irrigação, vem sendo temas de questionamento de vários pesquisadores. Segundo Silva (2002) a obtenção da solução do solo, por meio de cápsula porosa é complexa, tornando-se necessários estudos visando avaliar a precisão e a possibilidade da utilização desta metodologia no auxílio ao manejo da fertirrigação, para diferentes cultivos.

Assim, o objetivo do trabalho foi monitorar a concentração dos nutrientes N, P e K, utilizando extratores de cápsula porosa, estudando o seu posicionamento no bulbo molhado, tanto na vertical como na horizontal, o tempo de vácuo e coleta da solução do solo após a fertirrigação, para a cultura da laranja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Irrigação localizada por gotejamento na cultura dos citros

O emprego da irrigação em pomares de citros do Estado de São Paulo vem aumentando expressivamente nos últimos anos, em virtude dos resultados promissores, como: elevação da produtividade, melhoria da qualidade dos frutos e a possibilidade de produção fora de época (ZANINI et al., 1998).

A irrigação localizada, que engloba o gotejamento e a microaspersão, apesar de disponível no Brasil a partir de 1973, somente nos últimos dez anos tem revelado crescimento expressivo na citricultura paulista, o que em parte, é explicado pelas crescentes vantagens obtidas pelos produtores, como redução do consumo de água e energia, além da redução da mão-de-obra exigida (FAVETTA, 1998).

O uso de irrigação em pomares cítricos proporciona aumento da produção de frutos da ordem de 35 a 75%, gerando ganho econômico significativo ao produtor por assegurar boa florada, fixação de frutos jovens e produção de melhor qualidade (COELHO et al., 2000).

De acordo com Vieira (1988) os benefícios da irrigação para a citricultura são indiscutíveis, entretanto, os rendimentos econômicos da citricultura irrigada comparada à de sequeiro devem ser quantitativos a médio e longo prazo: 5 a 10 anos.

Segundo Pizarro (1984) a localização da aplicação de água, consiste em umedecer apenas parte do volume de solo explorado pelas raízes, pretendendo que as raízes obtenham desse volume a água e os nutrientes que necessitam.

De acordo com Zanini (1991), a irrigação localizada é realizada tendo como meta molhar apenas parte do volume de solo explorado pelas raízes. Assim, com este método de irrigação, somente parte de área total cultivada destina-se a reservatório de água para as plantas, tornando-se importante o conhecimento da quantidade de água armazenada, sua tensão e sua distribuição espacial e temporal no solo.

No sistema de irrigação localizada por gotejamento o emissor responsável pela aplicação de água é o gotejador, que de acordo com Gomes (1997), aplica água ao solo em gotas, em um ponto e diretamente sobre a zona radicular da planta, com pequenas vazões. Os gotejadores segundo Bernardo et al. (2005) são as peças principais do sistema de irrigação por gotejamento, sua função é dissipar a pressão disponível na linha lateral e aplicar vazões pequenas e constantes.

Algumas vantagens e desvantagens da irrigação localizada são descritas por Mantovani et al. (2007). Vantagens: possibilidade de controle rigoroso da quantidade de água fornecida às plantas; grande economia de água e energia; os sistemas são usualmente semi-automatizados ou automatizados, necessitando de menos mão-de-obra para o manejo do sistema; redução da incidência de pragas e doenças e do desenvolvimento de plantas daninhas; permite a quimigação (aplicação de produtos químicos via água de irrigação); otimização do uso de fertilizantes; possibilidade de uso de água com maior salinidade; possibilidade de cultivo em áreas com afloramentos rochosos e, ou, com declividades acentuadas; excelente uniformidade de aplicação de água. Desvantagens: alto custo inicial; elevado potencial de entupimento dos emissores; necessidade de sistema de filtragem; inviáveis em águas com altos níveis de ferro e carbonato; manutenção com maior frequência.

De acordo com Oliveira et al., (1996) o sistema de irrigação por gotejamento é a melhor opção de irrigação para cultivos em solos arenosos, que normalmente apresentam baixa retenção de água e alta capacidade de lixiviação dos nutrientes, o que normalmente leva à falta da água e de nutrientes para as plantas.

O grande interesse pelo método de irrigação localizada por gotejo foi despertado principalmente pelos resultados de economia de água, aliados ao aumento da produtividade das culturas. O gotejo como sistema de irrigação foi inicialmente desenvolvido em Israel, com trabalhos na década de 1930, utilizando canalizações de aço perfuradas. O advento do material de plástico, mais econômico, proporcionou maior flexibilidade ao sistema, impulsionando as pesquisas nesse sentido.

A partir do ano 2000, o grande desenvolvimento do setor de irrigação localizada e a maior competitividade do agronegócio brasileiro tornaram esse tipo de irrigação viável em diversas culturas e sistemas de cultivos antes impensados. Destaca-se que os maiores fabricantes mundiais vêm dedicando atenção especial ao mercado brasileiro, com políticas de implantação de fábricas no Brasil, que permite disponibilizar equipamentos a custos mais competitivos (BERNARDO et al., 2005).

Os métodos de irrigação localizada são os que vêm experimentando o maior número de inovações em todo mundo. Suas características de uniformidade de aplicação e redução no consumo de água os tornam extremamente atraentes, principalmente nos dias atuais, em que o mundo discute o tema relacionado ao melhor aproveitamento de água (VILELLA, 2001).

2.2 Fertirrigação

Entende-se por fertirrigação a aplicação dos fertilizantes e, mais concretamente, dos nutrientes necessários aos cultivos, juntamente com a água de irrigação. Trata-se, portanto, de aproveitar os sistemas de irrigação como meio de distribuição destes elementos nutritivos (VIVANCOS, 1993).

A técnica de fertirrigação é hoje o método mais racional de realização de uma fertilização otimizada, respeitando o meio ambiente dentro da chamada agricultura sustentável (LOPES, 1998). Com um planejamento inadequado, a ameaça de dano ambiental é inevitável, mas um manejo ajustado pode aumentar o rendimento, melhorar a qualidade, além de representar o melhor método de aplicação de fertilizantes para prática agrícola intensa e sustentável (PAPADOPOULOS, 1999).

De acordo com Andriolo et al., (1999) a fertirrigação é o método mais econômico e eficiente de aplicação de fertilizantes, especialmente quando feito através do sistema de irrigação por gotejamento, assegurando a colocação dos fertilizantes nas raízes das plantas.

De acordo com Goto et al., (2001) a fertirrigação por gotejamento é a forma de aplicação que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e nutrientes pela planta.

Os nutrientes devem ser aplicados às plantas em doses e tempo apropriados para o estágio específico de crescimento das plantas. A dose poderá ser aplicada levando-se em conta o estágio de crescimento da planta, evitando eventuais problemas com deficiência ou toxidez. Devido à eficiência de aproveitamento das plantas, é preferível adotar o sistema de gotejamento ou de microaspersão (VILLAS BÔAS et al., 1999).

O princípio de aplicação da fertirrigação preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com a água de irrigação (SOUSA & SOUSA, 1992; SOUSA & SOUSA, 1993).

A fertirrigação oferece a oportunidade de aplicação precisa de fertilizantes e traz uma série de vantagens para a agricultura, entretanto, é um caso típico em que a prática antecedeu à pesquisa, pois pode contribuir para alterar o estado de equilíbrio do solo e, como consequência, promover alterações nas propriedades do solo, influenciando a drenagem normal da água e o crescimento adequado das raízes das plantas (MORAES, 2001).

De acordo com Vieira (1998) e Frizzone et al. (1994), a fertirrigação apresenta as seguintes vantagens: melhor distribuição do fertilizante no campo; possibilidade de maior parcelamento das adubações, aumentando a eficiência na utilização dos adubos pelas plantas; economia de mão-de-obra utilizada na adubação, isto porque o próprio operador do equipamento de irrigação pode proceder à injeção do adubo na água de irrigação.

Entre as vantagens do sistema de irrigação por gotejamento na aplicação de fertilizantes, pode-se destacar que a solução é aplicada na zona ativa das raízes, onde a água está sendo absorvida; a perda de fertilizantes por lixiviação é menor, e a aplicação localizada não favorece a ocorrência de doenças foliares (VILLAS BÔAS et al., 2002).

De acordo com Salomão (2008), as irrigações e fertirrigações devem ser conduzidas de maneira eficiente, buscando a otimização dos recursos envolvidos no processo, tais como, eficiência na injeção de fertilizantes, economia de água e energia e manutenção preventiva no sistema de irrigação.

Segundo Oliveira et al. (2005) a possibilidade de retorno do fluxo de solução à fonte de água, podendo provocar contaminação, juntamente com a possibilidade de entupimento e corrosão dos tubos e emissores (microaspersores e gotejadores), podem ser consideradas as principais desvantagens da fertirrigação.

Lopes (2000) afirma que a fertirrigação bem planejada possibilita o uso mais eficiente da água e dos nutrientes por ela carregados, proporcionando assim a redução no acúmulo de sais no solo e de desequilíbrios hídricos e nutricionais, bem como a lixiviação de nutrientes capazes de atingir o lençol freático eutrofizando os cursos d'água.

De acordo com Villas Bôas et al., (2001), embora o emprego da fertirrigação no Brasil já esteja consolidado em diversas regiões e em um grande número de espécies, seu principal problema está associado ao manejo incorreto desta técnica, devido à falta de informações adequadas e/ou utilização de forma empírica. A adoção rápida desta técnica em muitas regiões, fez com que a prática se adiantasse à investigação, o que resultou no surgimento de problemas.

2.3 Mobilidade dos íons

A mobilidade dos íons no solo é dependente de vários fatores, tais como textura do solo, quantidade de nutriente aplicada, intensidade de chuva ou lâmina de água aplicada na irrigação, forma química do nutriente aplicado, entre outros. Para Sousa (2000), o movimento de íons no solo está relacionado com a intensidade de percolação da água e com o comportamento de cada um em relação às condições de fixação, adsorção e lixiviação, que é função de cada íon e do tipo de solo em que se encontra.

A lixiviação dos íons através do perfil do solo, segundo Reichardt (1990), é uma das principais causas de perdas de nutrientes, contribuindo sensivelmente para a acidificação do solo. Isto indica a necessidade de adotar manejo de água e nutrientes com critério.

O manejo da água e de fertilizantes em solos arenosos é bem mais complexo. Portanto as irrigações e fertirrigações devem ser conduzidas de maneira eficiente. Assim, lâminas e vazões adequadas favorecem a uniformidade de aplicação e distribuição de água e nutrientes no perfil do solo. De acordo com Kafkafi & Bar-Yosef (1980) para a introdução e desenvolvimento da agricultura em solos arenosos, é preciso estabelecer novas tecnologias sobre irrigação e fertirrigação, uma vez que o controle das concentrações de nutrientes na solução do solo é bem mais difícil.

Em condições naturais as plantas retiram seus nutrientes de uma mistura heterogênea de íons, a solução do solo. O objetivo da adubação é aumentar a concentração de um ou mais nutrientes na solução do solo. Tanto a adubação quanto à correção da acidez visam suprir a necessidade das culturas em relação à macro e micronutrientes, proporcionando máxima produção econômica, se não houver outros fatores limitantes (DUENHAS, 2001).

Segundo Mmolawa & Or (2000), os produtos químicos aplicados por meio da água de irrigação sofrem mudanças espacial e temporal no solo, variando sua distribuição no perfil, o que resulta em diferentes padrões de distribuição.

O nutriente de maior mobilidade no solo é o nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-). Segundo Burt et al. (1998), seu movimento no solo é, aproximadamente, proporcional ao da água que percola no solo.

Goldberg et al., (1971) verificaram que o nitrato movimentou-se no solo junto com a água aplicada pelos gotejadores.

Segundo Villas Bôas et al. (1999) o nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento e a concentração desse íon logo abaixo do emissor é pequena. Embora as plantas absorvam prontamente NO_3^- , NH_4^+ e uréia, respostas para NO_3^- são normalmente mais rápidas porque o nitrato é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa. Portanto, se o manejo da irrigação for inadequado, por exemplo, excesso de água, o nitrato será lixiviado abaixo da zona das raízes. A molécula de uréia antes de se hidrolisar no solo não apresenta carga o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação de NH_4^+ o movimento do N torna-se restrito. Segundo os mesmos autores, o cátion amônio, aplicado em baixa concentração, irá adsorver-se aos colóides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação a concentração dos íons

amônio pode ser alta e, neste caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade.

Souza (2006) em um ensaio com citros estudou a dinâmica de nutrientes na solução do solo, em sistemas de adubação sólida e fertirrigação e observou alto teor de NH_4^+ no tratamento fertirrigado, sugerindo que a nitrificação foi prejudicada no bulbo úmido, provavelmente por limitação de arejamento, pois este é um processo estritamente aeróbico. A nitrificação também pode ter sido afetada pela acidificação do solo, observada neste tratamento, pois os microrganismos responsáveis pela nitrificação são sensíveis a valores baixos de pH e requerem este na faixa neutralidade para atingirem seu crescimento ideal.

A taxa de fixação de fósforo no solo é alta e, conseqüentemente, o seu movimento é limitado, com isto, várias fontes e métodos de aplicação de fósforo vem sendo testados para evitar, pelo menos parcialmente, os problemas de distribuição desse elemento no solo. Embora o movimento do fósforo dependa de muitos fatores químicos e físicos do solo, a textura, a taxa de aplicação e a quantidade de água aplicada são as variáveis que mais afetam seu movimento (VILLAS BÔAS et al., 2002).

Lopes (1998) relata que o fósforo movimenta-se muito pouco na maioria dos solos, permanecendo, geralmente, onde é colocado. Assim, pouco fósforo é lixiviado e suas perdas são causadas pela erosão do solo e remoção das culturas.

O fósforo pode ser aplicado através da irrigação localizada, tanto em solos arenosos como argilosos. Sendo que há aumento na sua mobilidade, devido à saturação dos sítios de adsorção próximos ao ponto de saída da solução (COELHO, 1994).

Souza (2006) observou que a movimentação de P para camadas mais profundas do perfil do solo foi facilitada quando aplicado via técnica de fertirrigação por gotejo, em comparação a adubação sólida convencional. Segundo Villas Bôas et al. (1999) a irrigação por gotejo pode aumentar o movimento de P no solo de 5 a 10 vezes se comparado à aplicação convencional.

O fósforo aplicado via fertirrigação pode atingir até 20 cm de raio em relação ao gotejador (ROLSTON et al., 1986).

Estudando o movimento do fósforo no solo, Vivancos (1993) observou que o nutriente alcançou 50 cm de profundidade, sendo que na faixa de 20 cm a 30 cm o movimento foi mais facilmente percebido, tanto na vertical, quanto na horizontal.

O ácido fosfórico aplicado via fertirrigação aumentou os teores de fósforo do bulbo molhado, atingindo até 30 cm de profundidade e 30 cm de expansão lateral (FORATTO, 2006).

De acordo com O'Neill & Roth, (1979) o caminhamento do fósforo é, também, variável com a fonte utilizada. Uma maior movimentação do fósforo foi observada com aplicação via ácido fosfórico em relação ao superfosfato triplo. O ácido fosfórico é uma fonte que vem sendo utilizada amplamente nos últimos anos, principalmente na fertirrigação por microaspersão e por gotejamento (PAPADOPOULOS, 1999).

A movimentação de fósforo (orto e polifosfato) e de potássio no solo aplicado via água de irrigação por gotejamento, foi objeto de estudo de Zanini (1991), que constatou que estes nutrientes moveram-se à profundidade de 60 cm a 90 cm, contudo, seu movimento horizontal foi muito limitado, em torno de 50 cm. Segundo o autor a concentração de potássio é maior no centro do bulbo, cerca de 30 a 40 cm de profundidade, sendo possível determinar um aumento da concentração de potássio até 80 cm de profundidade logo após a fertirrigação. O autor relata que as irrigações subseqüentes promoveram uma melhor distribuição do íon no bulbo molhado, entretanto os locais de maiores concentrações do íon coincidem com os locais de maiores valores de umidade, evidenciando seu caminhamento por fluxo de massa.

Zanini (1991) verificou que a distribuição do potássio correlacionou-se com a distribuição de água no solo e assim, pode-se ter um controle da movimentação do íon K em função da irrigação, que segundo Malavolta et al., (1989) o caminhamento do íon junto com a água pode ser responsável por 25% do movimento do K no solo.

A amostragem e a realização de análise periódica do solo com a finalidade de acompanhar as concentrações dos íons na solução, durante as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura, são inviáveis economicamente em uma atividade agrícola comercial, além de não ser uma metodologia instantânea, que possibilita tomada de decisões imediatas. Entretanto a amostragem da solução do solo com o auxílio de extratores da cápsula porosa é uma alternativa capaz de solucionar o problema de forma eficaz e a um baixo custo, principalmente se associado a determinações rápidas no campo (SILVA et al., 2000).

2.4 Tempo de aplicação do vácuo e coleta da solução do solo

O tempo de aplicação do vácuo após a fertirrigação tem sido descrito nos trabalhos envolvendo uso de extratores de solução, de forma bastante variada, chegando a encontrar valores de 4 até 48 horas após a fertirrigação. Este tempo deve ser suficiente para que haja equilíbrio entre a solução aplicada e a do solo, além disso, deve-se considerar que existe um tempo diferenciado no avanço da frente de molhamento em relação ao posicionamento do extrator. Um tempo muito longo após a injeção do fertilizante pode levar a diminuição de água no solo (principalmente em solos arenosos) e conseqüente dificuldade de extrair solução.

A qualidade da solução do solo obtida com os extratores de cápsulas porosa tem sido tema de questionamento, principalmente com relação à intensidade do vácuo e o tempo em que a solução do solo entra em equilíbrio (BLANCO, 2004). A sucção promovida pelo vácuo gera um gradiente de potencial no solo em torno da cápsula e, como resultado, quanto maior o vácuo maior será a zona de influencia da cápsula (GROSSMANN & UDLUFT.,1991).

A concentração iônica da solução do solo pode ser influenciada pelos procedimentos realizados durante a extração. De acordo com Morrison & Lowery (1990), o tamanho da cápsula e o tempo que a mesma é submetida ao vácuo são fatores que influenciam no equilíbrio iônico da solução do solo, ainda relatam que existe um tempo de equilíbrio variável entre a solução interna e externa nos sistemas sob tensão zero.

Dias et al., (2005) utilizando extratores de solução do solo no manejo da fertirrigação e no controle da salinidade do solo, criavam uma sucção interna no extrator de solução, com o auxílio de uma bomba de vácuo, de aproximadamente 80 kPa. A aplicação do vácuo aos extratores se dava 12 horas após a irrigação, no momento em que era verificada a umidade do solo por meio de tensiômetros. Porém Sousa (2000) aplicava um vácuo de 70 kPa nos extratores, logo após a fertirrigação, e as amostras de solução do solo eram coletadas seis dias após o vácuo.

Em um trabalho em que foi avaliada a dinâmica de nutrientes no perfil do solo através da coleta de solução do solo, sob sistema de fertirrigação, na citricultura, Souza (2006) aplicava o vácuo, com uma seringa, nos extratores de solução, aproximadamente

12 horas após a fertirrigação, e cerca de 24 horas depois deste procedimento, era feita à coleta da solução.

No trabalho realizado por Blanco (2004) com o objetivo de estudar os efeitos de três doses de N e K na tolerância da cultura do tomateiro à salinidade, bem como avaliar a performance de medidores de íons específicos (MIE) na determinação de nutrientes na solução do solo e na seiva da planta, utilizou-se extratores de solução do solo. A coleta da solução do solo foi realizada em um intervalo de 15 dias após a aplicação do vácuo aos extratores. O vácuo aplicado aos extratores foi de aproximadamente 70 kPa entre 24 e 48 h após a irrigação.

Para determinar os teores de nitrato e potássio na solução do solo, Silva et al., (2003) utilizaram extratores de solução do solo, nestes a aplicação do vácuo era feita 12 horas após a irrigação, por meio de uma bomba de vácuo, promovendo uma tensão de aproximadamente 80 kPa. As soluções do solo eram retiradas das câmaras dos extratores aproximadamente 4 h após a aplicação do vácuo. O mesmo autor trabalhando com extratores de cápsula porosa para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução do solo, aplicava um vácuo de aproximadamente 72 kPa, e após um período de sete dias, eram coletadas as soluções (SILVA et al., 2000).

É possível notar pelos trabalhos anteriores relatados que o tempo entre o final da fertirrigação e da aplicação de vácuo no extrator é muito variável, não havendo testes comparativos entre momentos de coleta. O mesmo pode ser dito com relação do tempo de vácuo, visto que na literatura há trabalhos que consideram horas e outros dias.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e característica da área experimental

O experimento foi realizado na fazenda Emu, pertencente à empresa Citrovita, localizada na cidade de Reginópolis, estado de São Paulo, à latitude 21° 49' 45" sul, longitude 49° 08' 27" oeste, estando a uma altitude 460 m.

O talhão escolhido para a instalação do ensaio foi o da variedade de copa Valência sobre o porta-enxerto citrumelo Swingle, cujo espaçamento de plantio é de 7 x 4 m e as plantas possuíam cinco anos de idade.

Utilizou-se um sistema de irrigação localizada por gotejamento, cada linha de plantio recebeu uma linha de irrigação, com emissores autocompensantes espaçados entre si a 0,6 m, formando um diâmetro molhado, com largura máxima de 0,8 m. Os emissores fornecem uma vazão de 2,3 L h⁻¹ e trabalham com pressão de serviço entre 5 a 40 mca.

Para a obtenção da textura do solo foram coletadas cinco amostras de solo no talhão. Estas foram homogeneizadas, dando origem a uma amostra composta representativa, sendo este procedimento realizado nas profundidades de 0-20, 21-40, 41-60 e 61-80 cm. A análise granulométrica do solo seguiu a metodologia descrita por Camargo et al., (1986). Os resultados médios, para a obtenção da textura do solo na área do projeto, podem ser observados na (Tabela 1).

TABELA 1. Resultado da análise de textura do solo.

Profundidade cm	Areia Total	Argila	Silte	Textura do Solo
	g kg ⁻¹			
0-20	819	131	51	Arenosa
21-40	827	125	49	Arenosa
41-60	802	146	53	Arenosa
61-80	746	206	48	Média

Como o teor de argila do solo não ultrapassa os 15%, nas três primeiras profundidades amostradas, o solo de toda a área do projeto foi classificado como de textura arenosa/média. Também foi feita uma avaliação do perfil do solo em uma trincheira aberta próxima ao projeto, e o solo, segundo Embrapa (1999), foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo.

3.2 Tratamentos e delineamento estatístico

O experimento foi realizado nos meses de setembro, outubro e novembro de 2008. Para monitorar os valores de CE, pH e os nutrientes N, P e K no bulbo molhado, foram instalados extratores de solução do solo a 5, 15, 25 e 35 cm de distância de um emissor e nas profundidades de 15, 30, 60 e 90 cm, sob o diâmetro molhado (Figura 1). Também foram instaladas duas baterias de tensiômetros de punção nas mesmas posições dos extratores de solução do solo, para determinar a umidade do solo no momento da coleta da solução.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos, o arranjo dos tratamentos constituiu um fatorial 4 x 4 com cinco repetições, compreendendo quatro distâncias do emissor (5, 15, 25 e 35 cm), e quatro profundidades (15, 30, 60 e 90 cm). Foram instalados 16 extratores de solução do solo por bloco, totalizando 80 extratores no projeto. Utilizou-se diferentes momentos na aplicação de vácuo aos extratores 0, 2, 4, 6 e 12 horas, após a fertirrigação e dois momentos distintos de coleta após a aplicação do vácuo, 2 e 12 h.

No trabalho o tempo de aplicação do vácuo após a fertirrigação será representado pelo primeiro número seguido por um hífen e do momento de coleta após o vácuo, por exemplo 2-2 e 2-12.

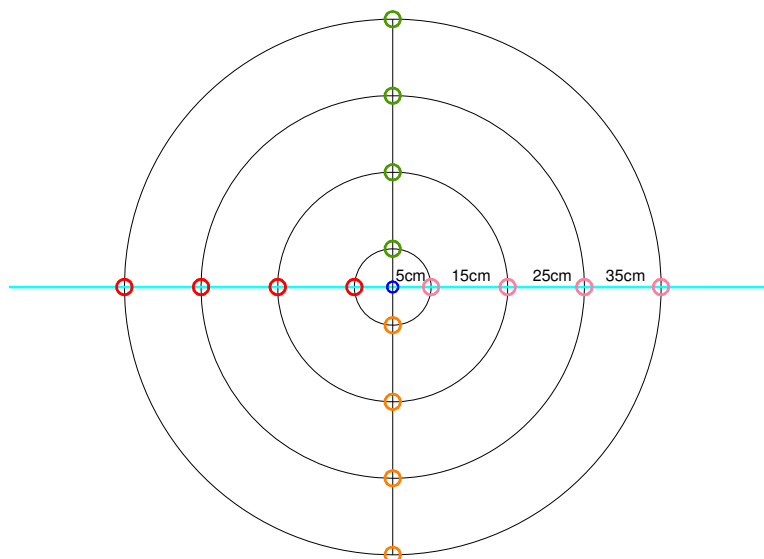


FIGURA 1. Arranjo dos extratores no ensaio compreendendo quatro distâncias (5, 15, 25 e 35 cm) do emissor em diferentes profundidades (15, 30, 60 e 90 cm).

- Linha Lateral
- - Emissor
- - 90cm de profundidade
- - 60cm de profundidade
- - 30cm de profundidade
- - 15cm de profundidade

3.3 Dose e parcelamento de N, P e K na fertirrigação

As doses de N, P_2O_5 e K_2O seguiram as mesmas utilizadas na fazenda Emu e foram aplicadas respectivamente nas formas de nitrato de amônio (33% de N), ácido fosfórico comercial (70% de P_2O_5) e cloreto de potássio branco (60% K_2O).

Na fertirrigação, as doses de N e K_2O foram aplicadas duas vezes por semana. Da dose total recomendada, 35% foi aplicada nos meses de setembro e

outubro (período de desenvolvimento do ensaio), em 7 semanas, totalizando 14 aplicações que foram realizadas pela fazenda Emu. Da dose total de P recomenda 80% foi aplicada nos meses setembro e outubro em 7 semanas, sendo feitas 14 aplicações. A injeção do fertilizante foi realizada com o auxílio de um injetor tipo venturi, seu acionamento foi realizado apenas com a energia de bombeamento do próprio sistema de irrigação.

TABELA 2. Datas das fertirrigações e adubações realizadas para coleta do experimento.

Data da fertirrigação	kg ha⁻¹ N P K	Tempo de vácuo e coleta	Precipitação (mm)
18/09/2008	20,8 – 10 – 19,2	2-2	
26/09/2008	20,8 – 10 – 19,2	2-12	
30/09/2008	20,8 – 10 – 19,2	4-12	
06/10/2008	15,6 – 6 – 14,4	4-2	18,2
18/10/2008	15,6 – 6 – 14,4	0-12	15,4 + 5,1
21/10/2008	15,6 – 6 – 14,4	6-12	
24/10/2008	15,6 – 6 – 14,4	6-2	
28/10/2008	15,6 – 6 – 14,4	12-12	
31/10/2008	15,6 – 6 – 14,4	12-2	

3.4 Condução do ensaio e análises realizadas

A concentração de íons na solução do solo foi monitorada por extratores de solução providos de cápsulas porosas em todos os blocos (Figura 2). Foram realizadas duas coletas de solução do solo por semana. Aos extratores foi aplicado um vácuo de aproximadamente 70 kPa, com o auxílio de uma bomba elétrica compressor e aspirador da marca Fanem (Figura 3).



FIGURA 2. Extratores de solução no ensaio.



FIGURA 3. Bomba elétrica utilizada no ensaio para aplicação do vácuo aos extratores.

No momento da realização da coleta da solução, era verificada a umidade do solo por meio de tensiômetros de punção, as leituras nos tensiômetros se dava por meio de um Tensímetro analógico com escala de -0,01 a -1 bar.

Uma parte da solução extraída nas diferentes localizações foi acondicionada em frascos de plástico devidamente identificados, para posteriormente serem encaminhados ao laboratório. Os teores de fósforo na solução foram analisados em laboratório pelo método descrito por (Raij et al.,2001), utilizando para determinação o colorímetro.

A análise da solução do solo no próprio campo foi feita diretamente sem filtragem ou digestão logo após sua coleta utilizando equipamentos portáteis. Os teores de

N-NO_3^- , que correspondem a 50% do N aplicado como nitrato de amônio e K^+ , foram determinados através de medidores de íons específicos da marca Horiba (Cardy), (Figura 4), estes foram calibrados antes do início das análises de acordo com as recomendações do fabricante, e a cada dez amostras analisadas, passaram por uma recalibração para garantir a máxima precisão nos resultados.



FIGURA 4. Medidores de íons específicos K^+ e NO_3^- da marca Horiba (Cardy).

Para determinação dos valores de pH, foi utilizado um pHmetro portátil – PG 1400 da marca Gehaka.

Os valores de condutividade elétrica foram determinados utilizando o condutivímetro portátil Twin Cond da marca Horiba. A condutividade elétrica medida na solução foi corrigida para umidade padrão, ou seja, umidade correspondente a capacidade de campo, equivalente a tensão de 10 kPa (Equação 1).

$$CE_{es} = \frac{U_{cc} \cdot CE_e}{U_a} \quad (1)$$

em que:

CE_{es} = Condutividade elétrica estimada para umidade padrão, em dS m^{-1} ;

U_{cc} = Umidade correspondente à capacidade de campo, em porcentagem;

CE_e = Condutividade elétrica na solução do solo obtida com extrator de solução;

U_a = Umidade atual do solo no momento da coleta de solução, em porcentagem.

Utilizando dos resultados das análises foram gerados figuras de isolinhas em duas dimensões (2D), por meio da técnica da Krigagem, representativas da distribuição espacial de Potencial mátrico (-kPa), NO_3^- , P, K^+ , CE e pH, com o auxílio do programa Surfer versão 8.0.

3.5 Manejo da fertirrigação

O tempo necessário para injeção dos fertilizantes ao sistema de irrigação foi de 30 minutos. Ao iniciar a fertirrigação foi colocado um balde com capacidade de 30 litros ao final da linha de irrigação, ou seja, último emissor. Assim amostras da solução injetada foram coletadas para posteriormente serem analisadas. Este procedimento ocorreu para todos os momentos distintos de aplicação de vácuo e coleta da solução.

Para o êxito na aplicação de nutrientes via água de irrigação é necessário que o tempo de fertirrigação seja determinado e respeitado, garantido à distribuição uniforme da solução nutritiva para as plantas. Assim, o tempo de fertirrigação no experimento foi determinado pela soma de todos os tempos descritos a seguir, obtendo-se 1 hora e 27 minutos.

Tempo para estabilização do sistema: é o tempo necessário que a água gasta para percorrer todo o setor de irrigação até o ponto mais distante, ou seja, começa no acionamento do sistema de bombeamento e termina quando a água chegar ao extremo do sistema, ocorrendo assim, a estabilização da carga hidráulica. (27 min);

Tempo de operação do injetor de fertilizante: é o tempo gasto para que toda concentração seja injetada no sistema de irrigação (30 min);

Tempo de lavagem do sistema de irrigação: é o tempo gasto para lavagem do sistema de irrigação logo após a injeção de fertilizantes, para garantir a uniformidade de aplicação dos

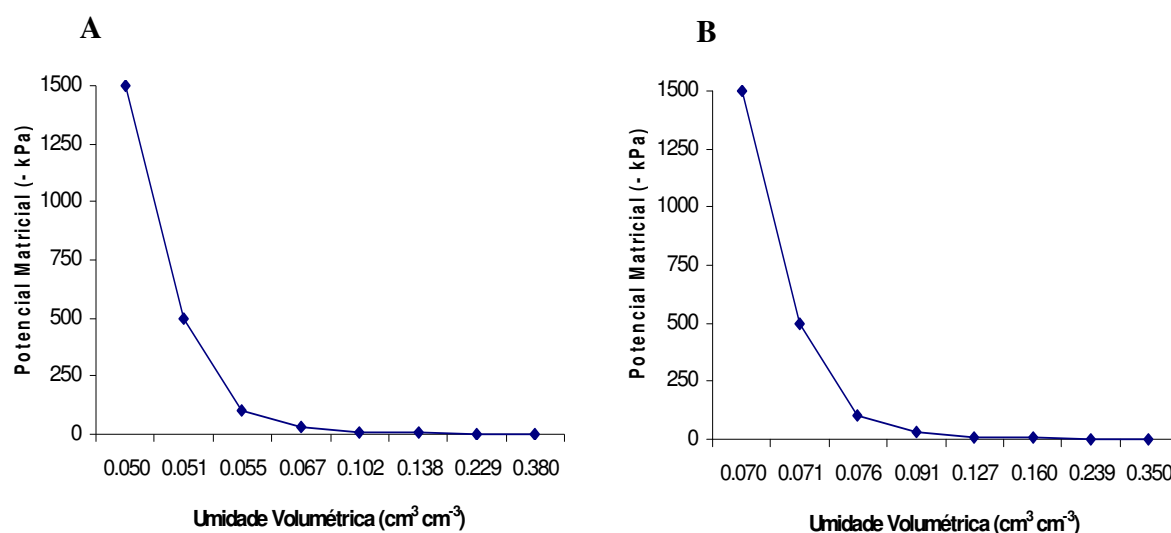
nutrientes via água de irrigação o tempo de lavagem, deverá ser igual ou maior que o tempo de operação do injetor de fertilizante (30 min).

O tempo médio das irrigações realizadas no período de desenvolvimento do experimento foi de 02 h 30 min.

3.6 Obtenção da curva de retenção de água no solo

Para a obtenção da curva de retenção da água no solo, foi feita uma coleta de solo indeformada, utilizando anéis volumétricos, nas profundidades de 0-20, 21-40, 41-60, 61-80 cm. A curva característica de retenção da água no solo foi determinada conforme o método descrito por Camargo et al. (1986) e ajustada pelo modelo proposto por Van Guenuchten (1980).

A Figura 5 apresenta as curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0 a 20, 21 a 40, 41 a 60, 61 a 80 cm de profundidade, em toda a área do experimento.



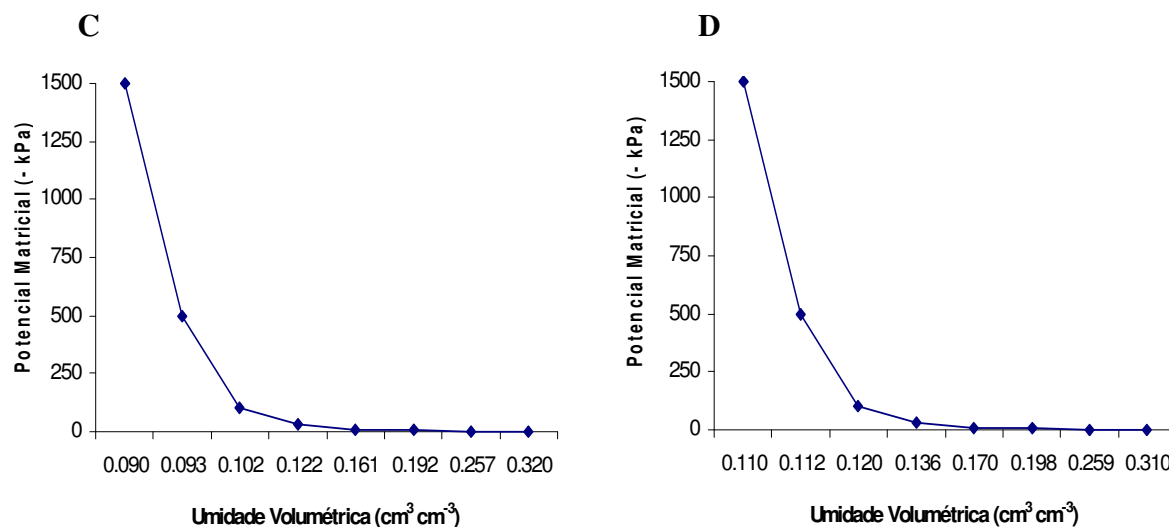


FIGURA 5. Curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0-20 (A), 21-40 (B), 41-60 (C) e 61-80 (D) cm de profundidade.

3.7 Manejo de irrigação

3.7.1 Uniformidade do sistema de irrigação localizada

Para determinar a uniformidade de aplicação de água foram medidas as vazões dos gotejadores ao longo das linhas laterais com o auxílio de um kit de precipitação, com coletores de 8 cm de diâmetro e altura de 10,2 cm. O tempo de coleta foi de 5 minutos determinado com auxílio de um cronômetro de precisão e de uma proveta graduada com precisão de 1,0 mL. A vazão foi determinada pelo método volumétrico, que segundo Salomão (2008) pode ser utilizada a seguinte (Equação 2).

É de fundamental importância que os gotejadores estejam trabalhando dentro da faixa de pressão determinada pelo fabricante, para isto medidores de pressão foram instalados.

$$Q = \frac{V \div 1000}{T \div 60} \quad (2)$$

em que:

Q = Vazão em L.h⁻¹;

V = Volume coletado em mL;

T = Tempo de coleta em min.

A uniformidade do sistema de irrigação foi determinada seguindo a metodologia proposta por Denículi et al., (1980). Os autores sugerem a coleta de vazão em oito gotejadores ao longo da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ e do último gotejador. As linhas laterais selecionadas, ao longo da linha de derivação devem ser a primeira, as situadas a $1/3$ a $2/3$ e a última linha lateral (Figura 6).

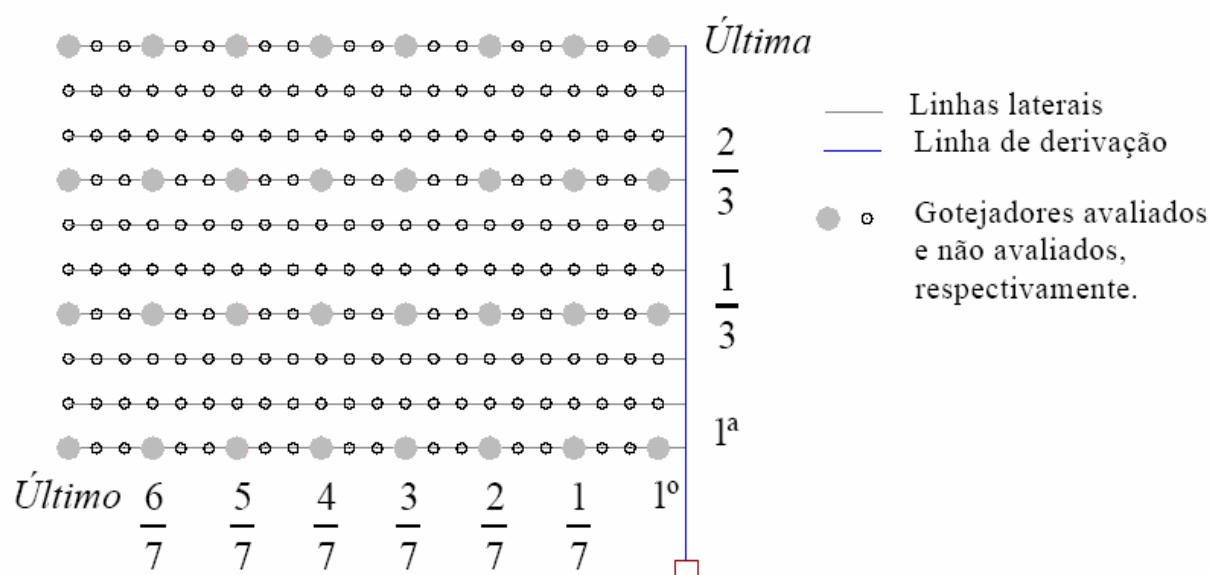


FIGURA 6. Esquema da metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento (adaptado de SILVA et al., 2005).

A uniformidade de aplicação de água foi avaliada pelo índice de uniformidade de distribuição que é dada pela divisão entre a média de 25% das menores vazões pela média de todas as vazões observadas (Equação 3). Obteve-se o valor de 89% de uniformidade de emissão no ensaio, que segundo critérios apresentados por Bralts (1986) o sistema encontra-se em bom estado de aplicação de água.

$$UD = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (3)$$

em que:

UD = Uniformidade de distribuição, em percentagem;

$q_{25\%}$ = Média de 25% dos menores valores de vazão observados, em $L.h^{-1}$;

$\bar{q}$ = Média de todos os valores de vazão observados, em $L.h^{-1}$.

3.7.2 Manejo de irrigação com base no solo

O manejo de irrigação no experimento foi realizado com o auxílio da curva de retenção de água no solo. Duas baterias de tensiômetros de punção, nas mesmas posições dos extratores de solução, foram instaladas, porém, para determinação da lâmina de irrigação com o auxílio da curva de retenção, foram escolhidos os tensiômetros instalados a 15 cm de distância do emissor e 30 cm de profundidade (Profundidade intermediária do sistema radicular da cultura 60 cm). O tensiômetro de punção é constituído de um tubo de PVC de ½”, borracha de vedação, tubo acrílico transparente de 12 mm e uma cápsula porosa localizada na extremidade inferior do tubo de PVC (Figura 7).

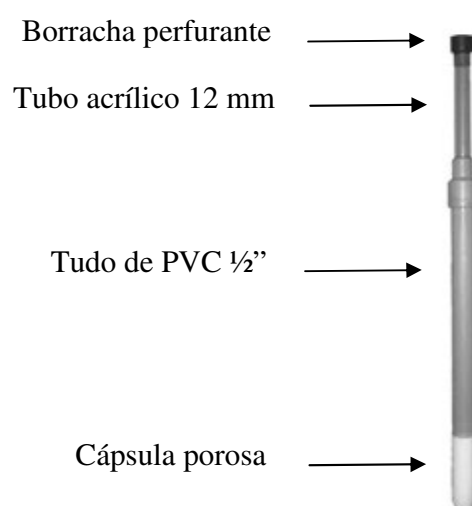


FIGURA 7. Tensiômetro de punção.

Foi adotado um turno de irrigação fixo, assim, as irrigações eram efetuadas todas as terças-feiras e quintas-feiras.

A tomada de tensão aos tensiômetros foi realizada através de um tensímetro analógico de agulha e ajustada conforme (Equação 4).

$$\psi_m = -1013 \cdot T + h_1 + h_2 \quad (4)$$

em que:

$-\psi_m$ = potencial matricial (cm.c.a);

T = tensão lida pelo tensímetro analógico (bar);

h_1 = altura do nível superior a água nos tensiômetros observada na parte transparente até a superfície do solo (cm);

h_2 = profundidade de instalação dos tensiômetros (cm). O valor constante na equação (1) representa a pressão atmosférica local, em mbar.

Determinado o potencial matricial de água no solo era realizado o calculo da lâmina de irrigação pela (Equação 5).

$$L_i = (\theta_{cc} - \theta_a) \cdot Z \quad (5)$$

em que:

L_i = lâmina de irrigação (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

θ_a = umidade atual do solo correspondente ao momento de leitura aos tensiômetros ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (mm).

Como nenhum sistema de irrigação tem eficiência de 100%, houve a necessidade de correção da lâmina de irrigação, esta foi ajustada de acordo com a uniformidade de distribuição determinada, cujo valor encontrado foi de 89%. Portanto a lâmina de irrigação corrigida foi efetuada através da (Equação 6).

$$L_c = \frac{L_i}{U_D} \quad (6)$$

em que:

L_c = lâmina corrigida de irrigação (mm);

L_i = lâmina de Irrigação (mm);

U_D = uniformidade de emissão (decimal).

Considerando a irrigação por faixa molhada contínua, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação por posição foi definido pela (Equação 7).

$$T = \frac{L_c \cdot E_l \cdot E_g}{q} \quad (7)$$

em que:

T = tempo de irrigação por posição (h);

L_c = lâmina corrigida de irrigação (mm);

E_l = espaçamento entre linhas laterais (m);

E_g = espaçamento entre gotejadores (m);

q = vazão do gotejador ($L h^{-1}$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação pluviométrica

Para determinar a quantidade de água proveniente da precipitação pluviométrica no período do experimento, foi instalado no ensaio um pluviômetro. O pluviômetro possui uma área coletora de 400 cm^2 e foi instalado a 1,50 m acima do nível do solo. A Figura 8 apresenta as precipitações nos meses de setembro e outubro de 2008.

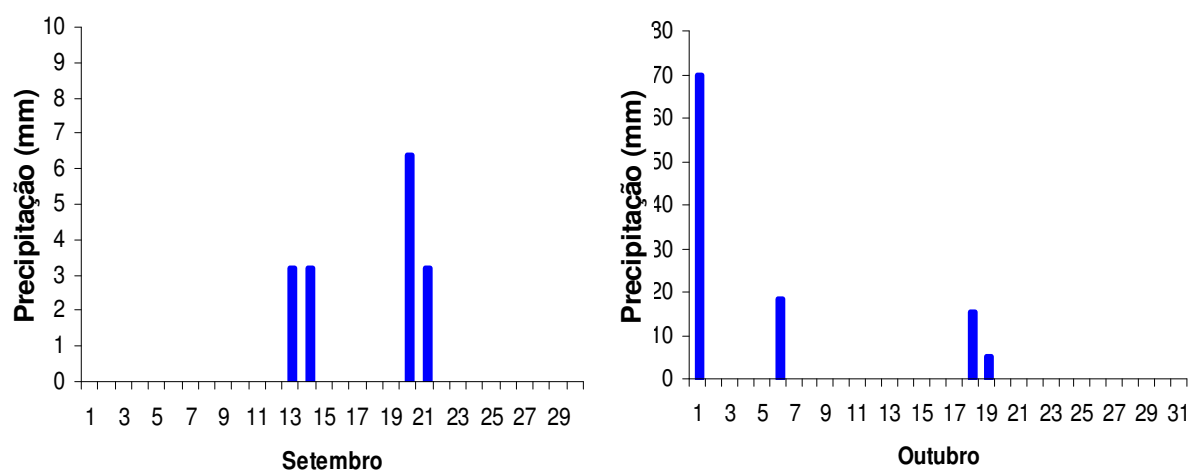


FIGURA 8. Valores mensais provenientes da precipitação pluviométrica.

4.2 Dinâmica de água no solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo

Na impossibilidade de fazer todos os tempos de vácuo e coleta da solução após o vácuo num único momento, as coletas 2-2, 4-2, 6-2, 12-2, 0-12, 2-12, 4-12, 6-12 e 12-12, foram feitas não atendendo uma ordem sequencial e sim em momentos que coincidem a fertirrigação e os tempos que deveriam ser respeitados de vácuo e pós vácuo. Por isso o experimento apesar de cada figura agrupar 4 e 5 coletas ocorridas em diferentes momentos, devem ser feita discussão individual para cada tempo. É possível observar que o tempo de vácuo e momento de coleta 0-2 não está presente nas figuras, devido não haver solução suficiente para realização das análises, evidenciando que este tempo de vácuo e momento de coleta é insuficiente para o procedimento de extração de solução.

A análise da dinâmica de água no solo foi realizada utilizando-se valores de potencial mátrico (-kPa) medidos nas mesmas posições de instalação dos extratores de solução. O estudo da dinâmica de água no solo foi realizado de forma espacial de acordo com a (Figura 9).

A dinâmica de distribuição da água no perfil do solo durante o tempo de vácuo de 2 horas e tempo de coleta, também, de 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores Figura 9 (A) demonstra que neste tempo as condições de umidade foram diferentes dos demais tempos de vácuo e coleta, evidenciando maiores valores de tensão entre a faixa de 75 cm e 90 cm de profundidade em toda extensão lateral do bulbo úmido. Pode-se verificar neste momento de vácuo e coleta que a faixa do bulbo úmido entre 15 cm e 65 cm de profundidade até a distância horizontal de 20 cm, os valores de potencial indicaram maiores teores de umidade. A partir desta profundidade é evidenciado que a frente de molhamento reduziu a intensidade na vertical e na horizontal. Isto pode ser explicado devido à quantidade de água aplicada e ao tempo de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo.

É possível observar na Figura 9 (B) que a umidade ao longo do perfil e bastante semelhante, neste momento de vácuo e coleta da solução foi registrado uma precipitação de 18,2 mm no intervalo de vácuo aos extratores.

O comportamento da umidade e o processo de infiltração e redistribuição da água no solo entre os momentos de vácuo e coleta, C e D foram semelhantes,

ambos apresentando tendência no avanço da frente de molhamento nas direções horizontal e vertical. Assim é possível observar na Figura 9 (C, D) que as variações nos valores de potencial mátrico registrados entre os diferentes momentos de vácuo aos extratores foram pequenas, e os perfis de avanço da frente de molhamento foram bem semelhantes. Os baixos valores de potencial de água no solo, observados nestes momentos de vácuo e coleta da solução, devem-se principalmente ao tempo de fertirrigação que superestimou o tempo de irrigação calculado, assim, o tempo de fertirrigação contribuiu diretamente para os elevados valores de potenciais mátricos e, também, para a uniformidade da dinâmica da água entre os diferentes perfis de distribuição de água no solo.

Observa-se, aos 15 cm de profundidade, os menores valores de potencial matricial, devido principalmente aos processos de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo, evaporação direta da água na camada superficial (Bresler et al., 1969) e absorção pelas raízes das plantas (Coelho & Or, 1996). As diferenças observadas no comportamento dos perfis de distribuição de água no solo, entre os diferentes tempos de aplicação de vácuo aos extratores, podem ser atribuídas à vazão e à lâmina de água aplicada (Bresler et al., 1971; Philip & Knight, 1991; Souza et al., 1992; Sousa & Coelho, 1997).

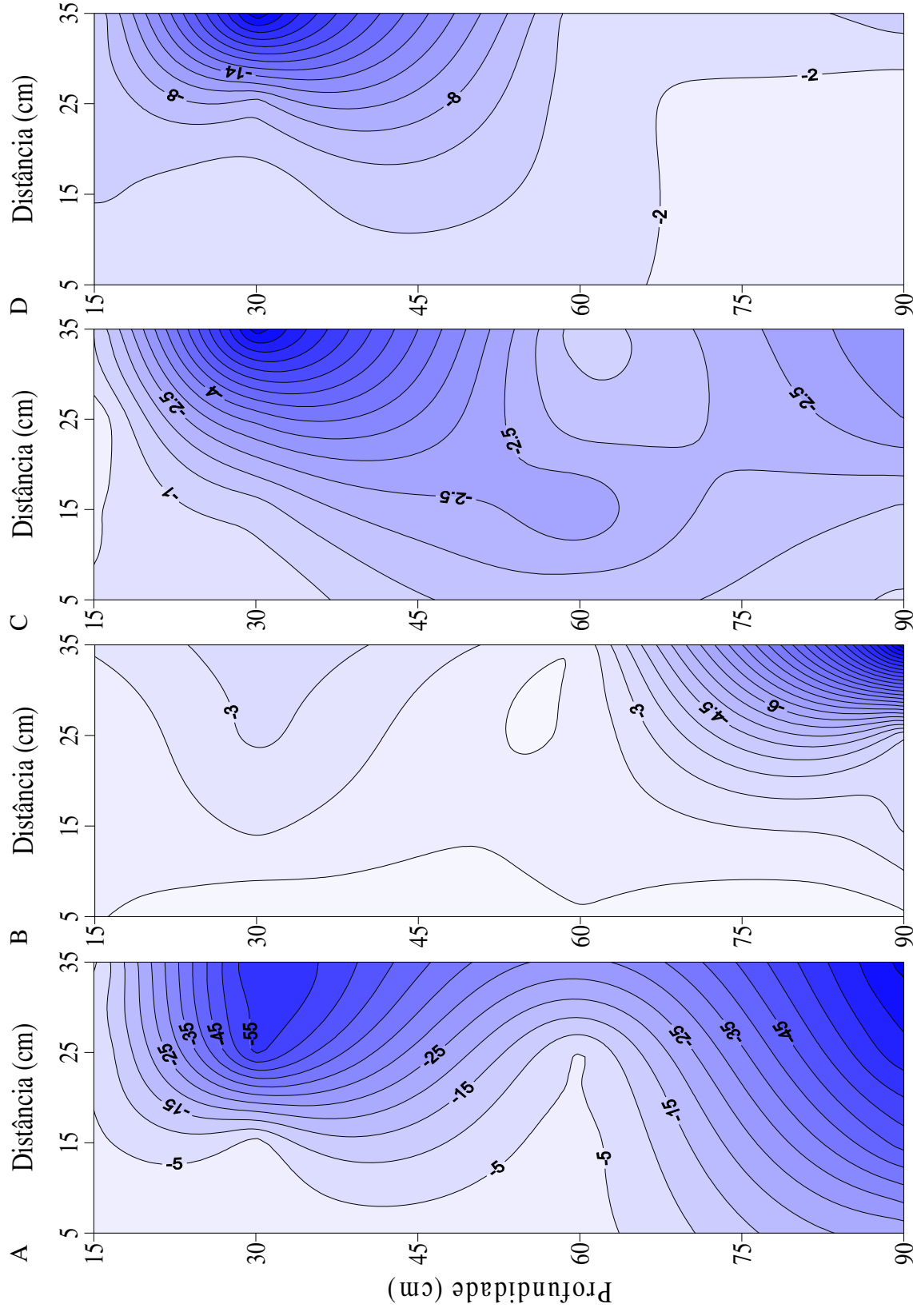


FIGURA 9. Distribuição espacial da tensão (kPa) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.3 Dinâmica de NO_3^- na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo

A partir da Figura 10, será discutida a distribuição espacial de NO_3^- na solução do solo nos diferentes momentos de aplicação de vácuo aos extratores (2, 4, 6, 12 horas), após a irrigação e 2 horas de coleta após a aplicação do vácuo.

Os perfis de distribuição espacial de NO_3^- no bulbo molhado sob o tempo de amostragem da solução 2 horas após o vácuo aos extratores são apresentados na Figura 10, evidenciando que a água aplicada pela irrigação influenciou a redistribuição de NO_3^- no bulbo molhado para todos os momentos distintos de vácuo. Isto pode ser explicado devido ao nitrogênio na forma de NO_3^- ser um ânion de alta mobilidade no solo, concordando com Burt et al., (1998) que seu movimento no solo é, aproximadamente proporcional ao da água que percola no solo.

No momento de vácuo e coleta da solução 2-2 Figura 10 (A) observa-se que abaixo de 60 cm de profundidade não se conseguiu realizar a coleta de solução, isto indica que não houve tempo suficiente para frente de molhamento atingir as camadas mais profundas, concordando com os maiores valores de tensão neste tratamento discutido anteriormente. Em relação a concentração e perfil de distribuição, estes foram maiores na faixa de 20 cm na horizontal até uma profundidade de 35 cm, isso porque o bulbo molhado se encontrava nesse limite.

A concentração de NO_3^- na Figura 10 (B, C, D) logo abaixo do emissor é menor em todos os momentos de vácuo e coleta, contudo concentrações maiores do íon foram observadas a 35 cm na horizontal e 60 cm em profundidade, devido sua alta mobilidade no solo, evidenciando-se que o seu caminhar acompanha a frente de avanço da água até ao extremo do bulbo. Esse comportamento está de acordo com Villas Boas et al., (1999) que observaram que o nitrato move-se para periferia da frente de molhamento e a concentração desse íon logo abaixo do emissor é pequena.

É possível observar na Figura 10 (B, C, D) que a distribuição de NO_3^- foi semelhante para todos os momentos de vácuo e coleta, evidenciando que o tempo de coleta 2 horas após a aplicação do vácuo, bem como todos os diferentes momentos distintos de

aplicação de vácuo aos extratores (4 a 12 h), não influenciaram em sua distribuição. Deve-se considerar que no tempo de vácuo de 4 horas houve precipitação de 18,2 mm.

É interessante notar que mesmo a 90 cm é possível observar altas concentrações de nitrato, e considerando maior concentração de raízes a 60 cm, sugere-se haver perdas de NO_3^- observados a 90 cm.

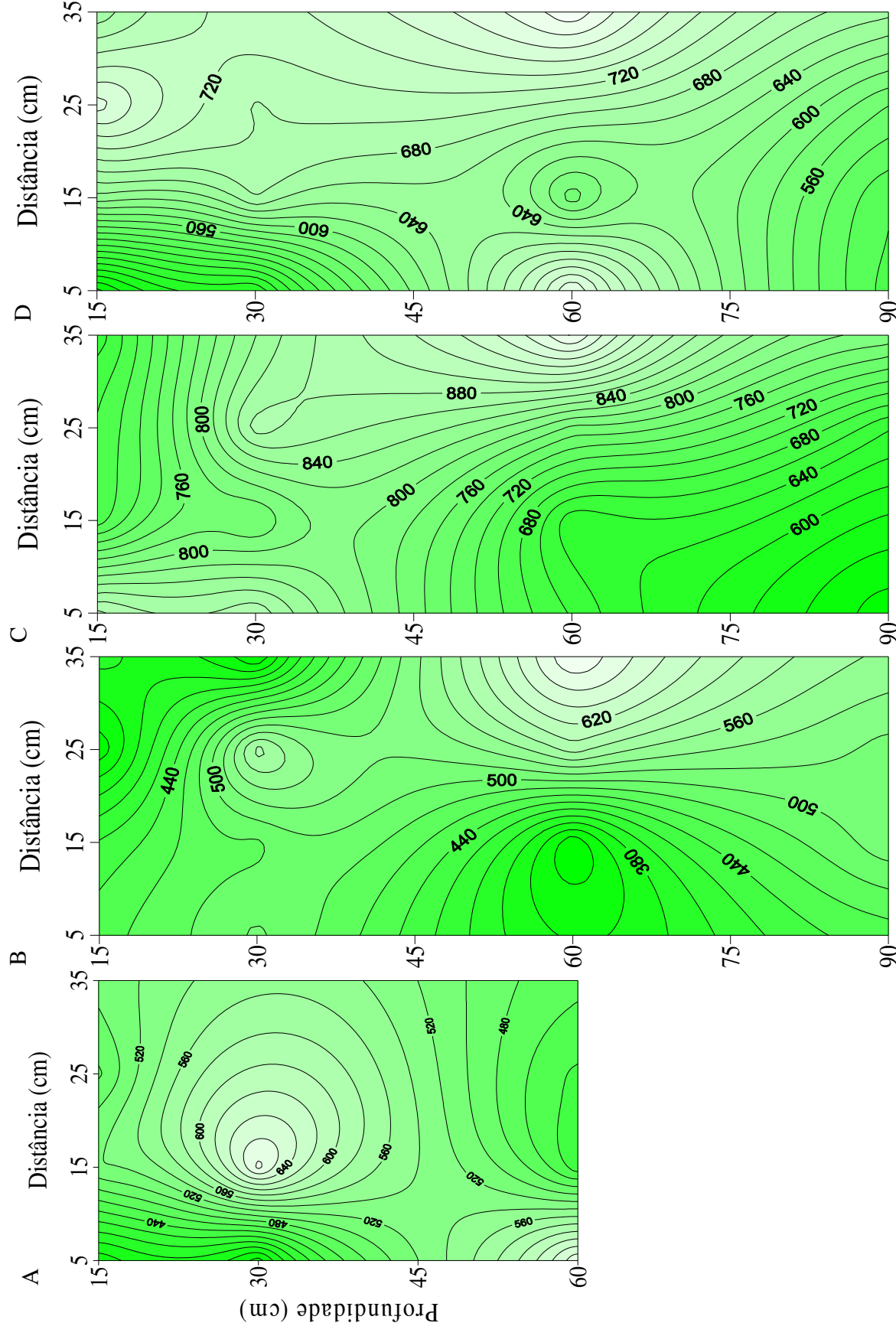


FIGURA 10. Distribuição espacial de NO_3^- (mg L^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.4 Dinâmica de fósforo na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo

Analisando a Figura 11, observa-se que para o momento de vácuo e coleta (A) a maior concentração de fósforo é encontrada na faixa de 5 cm a 15 cm na horizontal e 15 cm a 35 cm na vertical. À medida que se afasta destes pontos o teor de fósforo é decrescente. Assim, verifica-se que a concentração na horizontal do solo limitou-se ao redor do gotejador. Isto evidencia que a distribuição de fósforo no solo é bastante limitada, uma vez que os maiores teores de fósforo encontram-se nas camadas superiores, devido sua baixa mobilidade no solo.

É possível observar também, que a movimentação do fósforo em profundidade foi mais acentuada em relação a movimentação lateral. O'Neill & Roth, (1979), citam que o caminhamento do fósforo é também variável com a fonte utilizada e a maior movimentação do fósforo foi observada com aplicação via ácido fosfórico em relação ao superfosfato triplo. No entanto neste trabalho não houve variação de fontes e o fósforo utilizado foi como ácido fosfórico.

Para os demais momentos de vácuo e coleta da solução observados na Figura 11 (B, C, D), os teores obtidos para o fósforo no solo e sua distribuição no bulbo molhado são bastante semelhantes, principalmente em relação a distribuição ao longo do perfil, caracterizando baixa mobilidade deste nutriente no solo. Verifica-se então que os diferentes momentos de aplicação do vácuo aos extratores de solução, neste tempo de coleta de solução, não provocaram diferenças na distribuição do fósforo no bulbo molhado, o que era esperado pela baixa mobilidade do nutriente.

O movimento do fósforo ocorre pela saturação dos sítios de fixação, e como a água tem um movimento, para esse tipo de solo, mais intenso em profundidade do que na horizontal, a saturação de fósforo é maior em profundidade, facilitando o caminhamento desse nutriente nesse sentido no solo.

Como é sabido que a precipitação ocorrida durante o período de vácuo no momento de vácuo e coleta da solução (B) 18,2 mm não promoveu perdas de fósforo inorgânico.

Pode-se considerar que o fósforo na solução do solo nos pontos mais distantes do emissor esta em torno de 4 mg L^{-1} . Deve-se considerar também que o fósforo na forma de H_3PO_4 já estava sendo aplicado na área a cerca de 3 anos e possivelmente foi essa aplicação por longo período que promoveu o caminhamento em profundidade do fósforo. Pode-se observar que mesmo a água chegando aos 35 cm de distância do emissor, o fósforo não acompanhou este caminhamento.

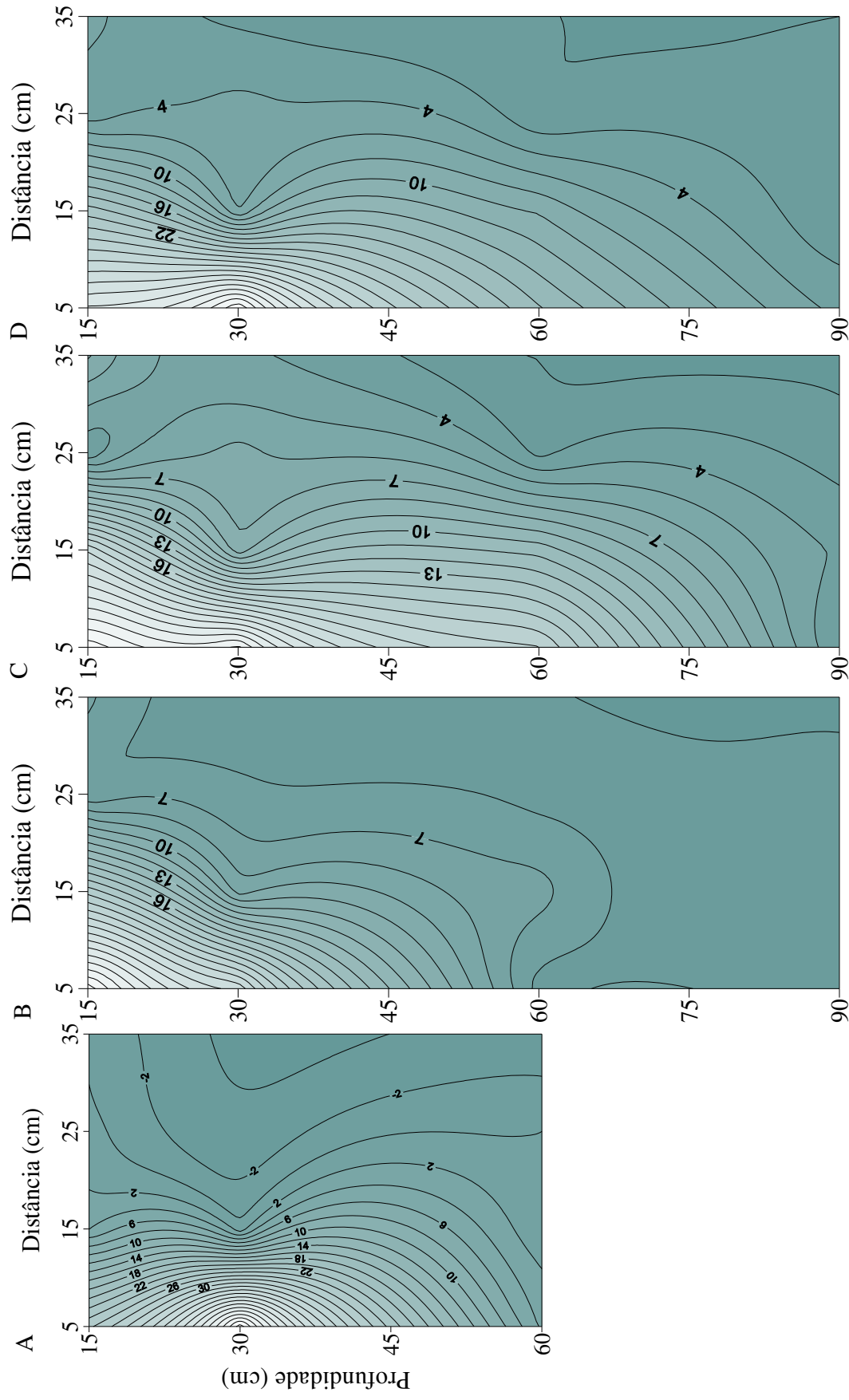


FIGURA 11. Distribuição espacial de fósforo (mg dm^{-3}) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação; Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.5 Dinâmica de potássio na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo

Na Figura 12 é apresentado o comportamento da concentração e distribuição de potássio na solução do solo.

Pode-se verificar que as maiores concentrações de potássio na solução do solo para o momento de vácuo e coleta 2-2 Figura 12 (A), foi encontrada na faixa de 5 cm a 15 cm de distância do emissor e a 30 cm de profundidade, bem semelhante com os demais momentos de vácuo e coleta da solução. A partir de 60 cm de profundidade nota-se que não foi coletada solução do solo em nenhum ponto abaixo desta profundidade, assim, este comportamento pode ser explicado através da análise de água no solo discutida anteriormente, onde foram registrados os maiores valores de tensão entre a faixa de 25 a 35 cm na horizontal e a 35 cm de profundidade, evidenciado que existe um tempo diferenciado no avanço da frente de molhamento em relação a extremidade do bulbo.

No caso dos momentos de vácuo e coleta 4-2, 6-2, 12-2, pode-se observar que em relação a distribuição do íon ao longo do perfil os resultados foram bastante semelhantes na distribuição horizontal e em profundidade, mostrando que o fluxo do íon foi afetado pelo movimento de água no solo, concordando com Malavolta et., (1989) que relata que o caminhar do íon junto com a água pode ser responsável por 25 % do movimento do K no solo.

A irrigação por gotejamento pode contribuir diretamente na uniformidade de distribuição do íon ao longo do bulbo úmido, principalmente em relação à manutenção de elevados teores de umidade no solo, característica do próprio método de irrigação. Portanto na irrigação localizada por gotejamento a aplicação de potássio através da água de irrigação proporciona o movimento de K no solo, concordando com (Kafkafi & Bar-Yosef, 1980; Uriu et al., 1981), onde os autores relatam que na aplicação de potássio através da água de irrigação por gotejamento, o movimento de K no perfil do solo é mais uniforme dentro da região do bulbo úmido.

Em toda região do bulbo molhado para todos os momentos de vácuo e coleta é verificada a elevação dos teores de K, isto evidencia que ocorreu movimentação de íons tanto na vertical como na horizontal; entretanto o avanço na horizontal não foi muito

elevado, ao contrário do que foi verificado no deslocamento vertical. Esse comportamento está de acordo Zanini (1991), que constatou que na aplicação de potássio por gotejamento o deslocamento deste íon foi entre 60 a 90 cm na vertical, é até 50 cm na horizontal.

Nas análises dos perfis de distribuição para todos os momentos de vácuo e coleta da solução é possível observar que os maiores teores de K foram registrados na faixa de 5 a 15 cm na horizontal e 15 a 45 cm em profundidade, estes locais coincidem com os maiores valores de umidade, caracterizando seu caminhamento por fluxo de massa. Este comportamento está de acordo com Zanini (1991) que observou que a concentração de K no bulbo molhado é maior no centro do bulbo, cerca de 30 a 40 cm de profundidade, sendo possível determinar um aumento da concentração de potássio até 80 cm de profundidade logo após a fertirrigação.

O comportamento da distribuição do potássio na solução do solo é muito semelhante ao observado para NO_3^- Figura 10 (A) no tempo de vácuo 2 horas após a fertirrigação, indicando um caminhamento no solo até 60 cm.

Porém o mesmo não pode ser observado na Figura 12 (B, C e D) que indicam curvas que se apresentam delimitadas até a profundidade de 90 cm, diferentes das de NO_3^- que tendem a manter concentrações elevadas em profundidade, sem que seja possível indicar um limite. Pode-se considerar que a distribuição do K está mais próxima do fósforo que do NO_3^- .

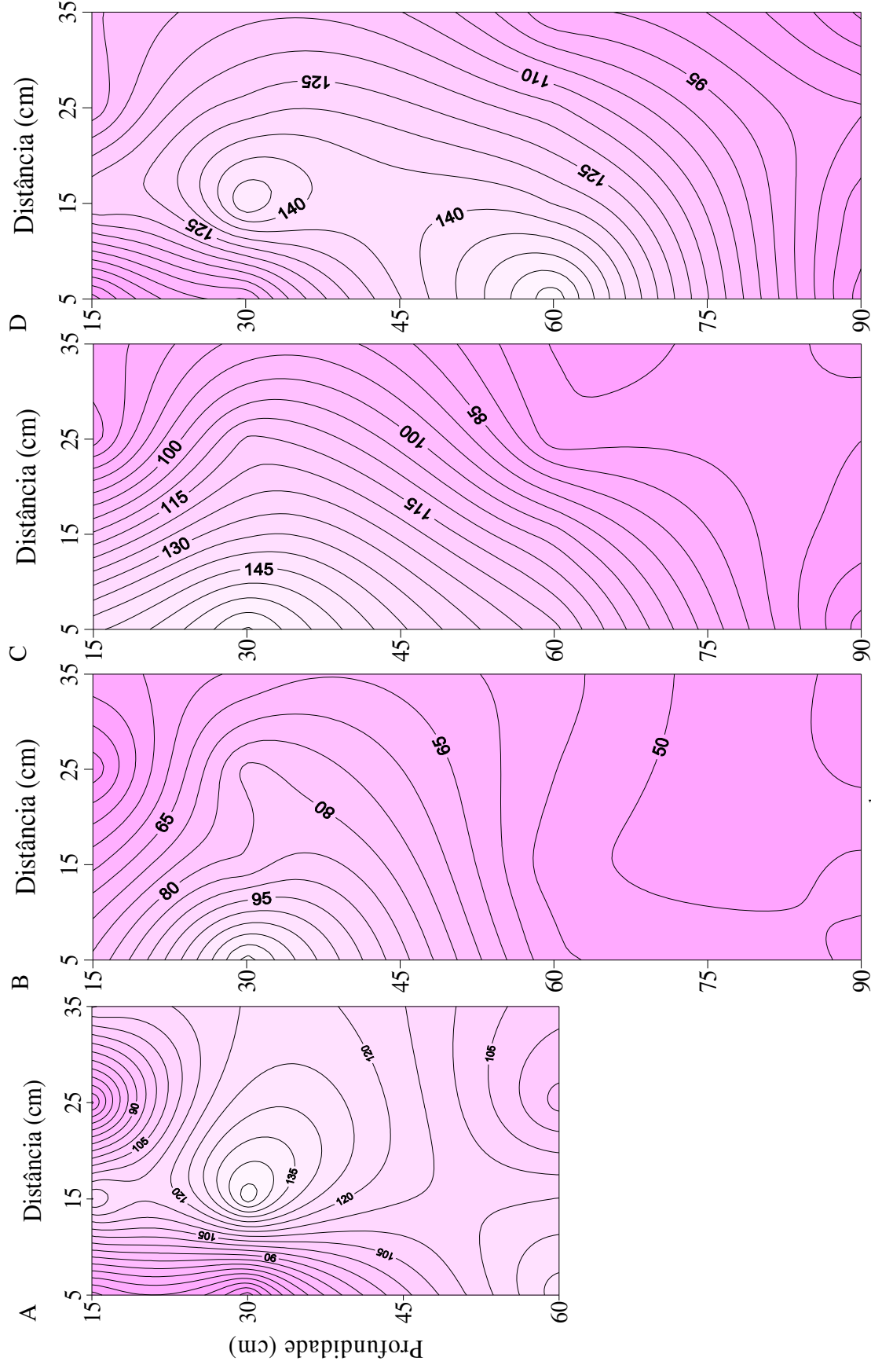


FIGURA 12. Distribuição espacial do potássio (mg L^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.6 Comportamento do pH na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo

Na Figura 13 são apresentados os valores de pH, onde será discutido seu comportamento na solução do solo.

A característica de acidez indicada pelo índice pH pode ser gerada no solo por vários motivos:

- a) acidez proveniente da fonte de fósforo, que neste caso é o ácido fosfórico;
- b) a elevada quantidade de N utilizada, sendo que o NO_3^- tem um pequeno efeito alcalino e o NH_4^+ efeito ácido ao ser transformado em NO_3^- gera acidez no solo.
- c) acidez gerada na nitrificação do amônio, proveniente da fonte (nitrato de amônio);
- d) lixiviação de bases;
- e) correção da acidez superficial promovida pela aplicação de calcário;
- f) existe naturalmente no solo um gradiente de acidificação em profundidade, sendo portanto quanto mais profundo, mais ácido é solo.

Todos estes fatores podem estar atuando conjuntamente para gerar os resultados observados, pois não é possível, por exemplo observando as Figuras 11 e 13, dizer que a acidez do solo foi gerada apenas pelo efeito do ácido fosfórico (fonte de P).

Como observado na Figura 13 o pH aumenta a medida que se afasta do emissor, sugerindo que essa acidez deve estar sendo gerada principalmente por sais mais solúveis, caso contrário o comportamento da acidez deveria acompanhar a distribuição de fósforo (ácido fosfórico).

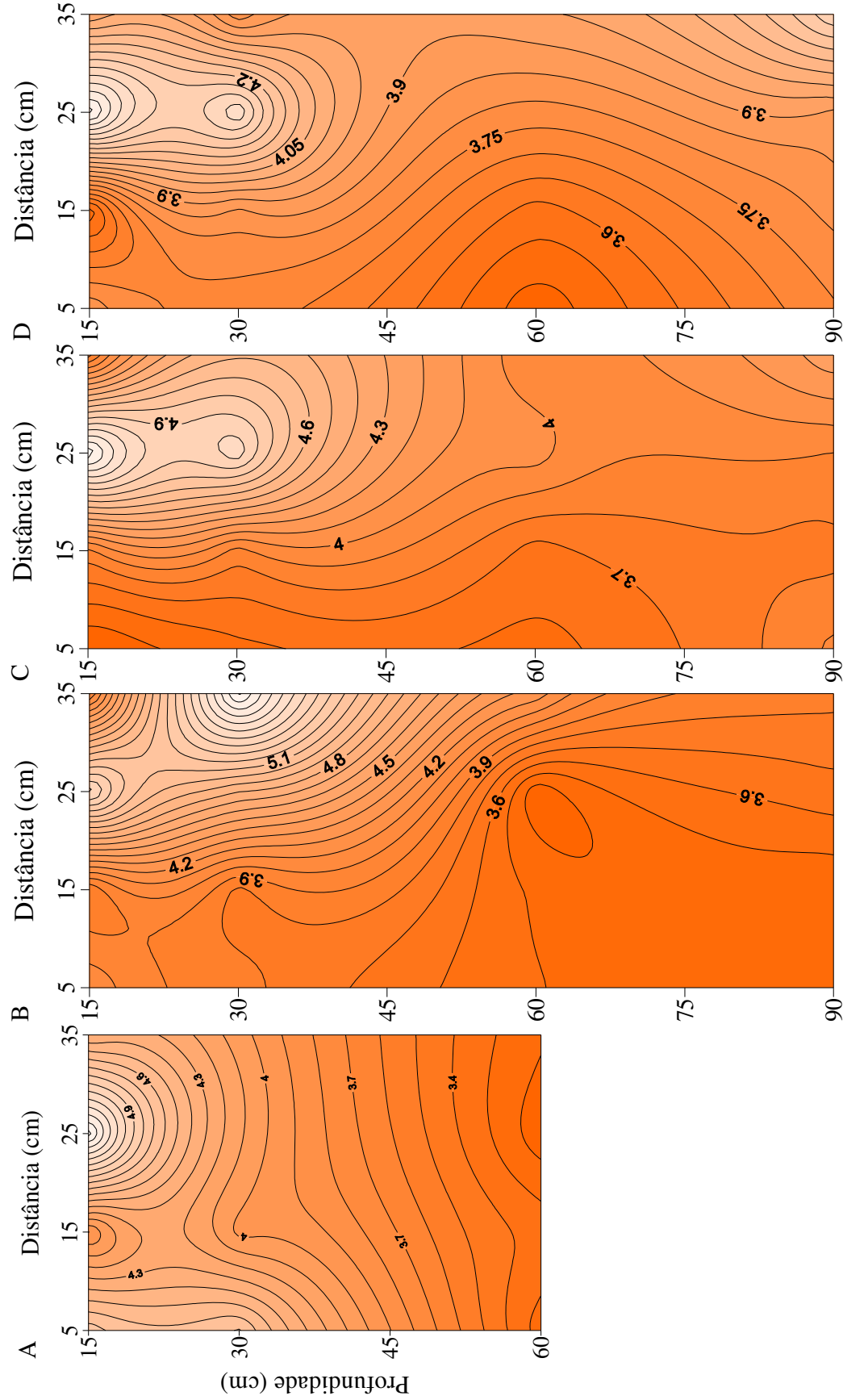


FIGURA 13. Distribuição espacial do pH na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.7 Condutividade elétrica na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 2 horas após o vácuo

Através da Figura 14, será discutido o comportamento da concentração e distribuição de condutividade elétrica corrigida no bulbo molhado em relação aos tempos de vácuo e coleta da solução 2 horas após o vácuo.

É possível observar para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, que próximo ao emissor os valores são menores. Isto pode ser justificado pelo caminhamento dos íons NO_3^- e K^+ que são aplicados em maior concentração no solo e tem efeito salino superior aos sais de fosfatos que se localizaram mais próximos do emissor. Se comparadas as concentrações de NO_3^- e K^+ com o índice salino, pode-se notar que a CE se assemelha mais ao NO_3^- do que ao K^+ .

Não foi observada grandes variações na CE comparando os tempos de vácuo 4, 6 e 12 horas após a fertirrigação, sendo que os valores variam de 1,3 a 1,6 dS m^{-1} .

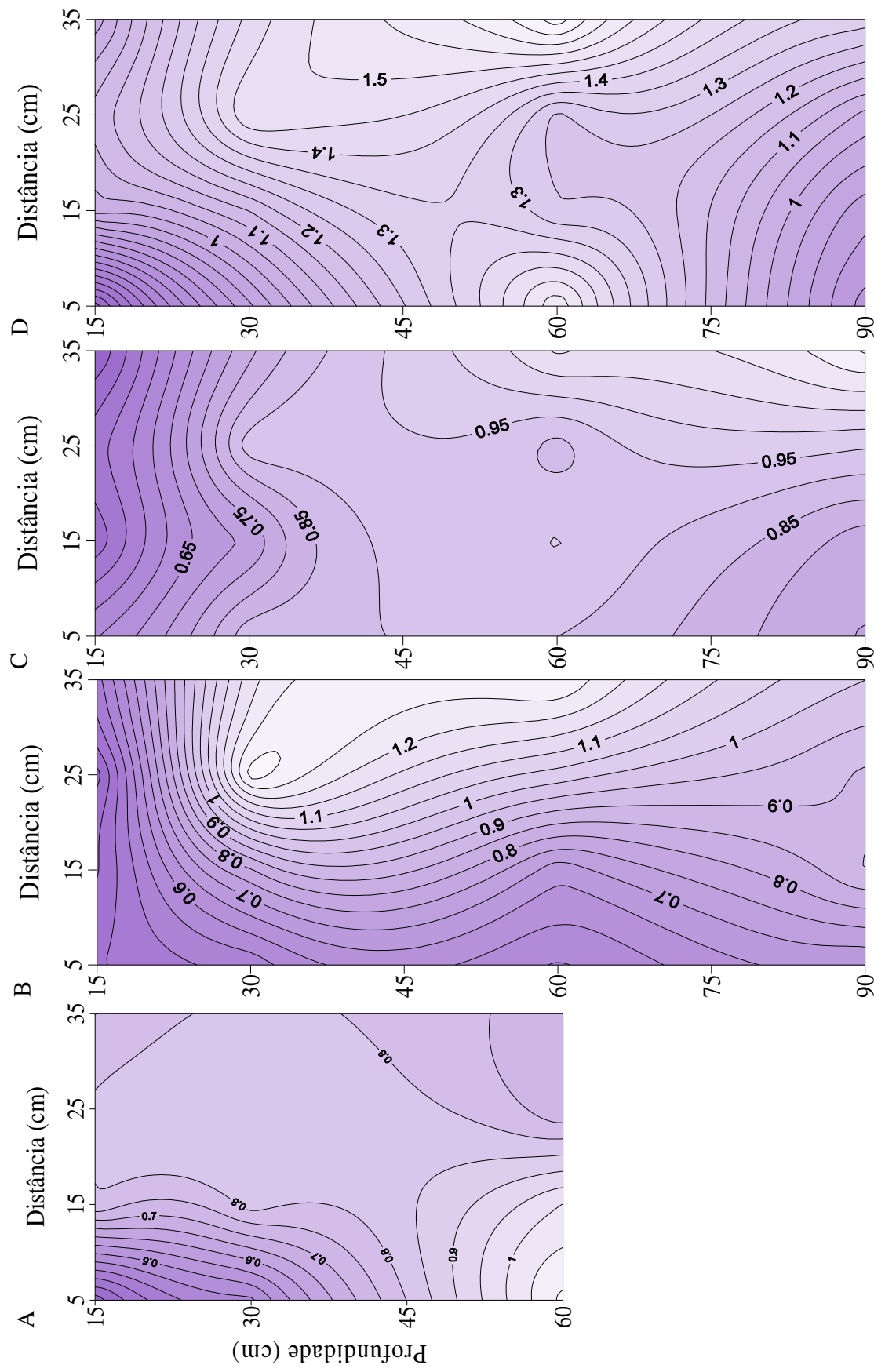


FIGURA 14. Distribuição espacial da condutividade elétrica (dS m⁻¹) na solução do solo. A) vácuo 2 horas após a fertirrigação; B) vácuo 4 horas após a fertirrigação; C) vácuo 6 horas após a fertirrigação; D) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 2 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.8 Dinâmica de água no solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo

A análise da dinâmica de água no solo foi realizada utilizando-se valores de potencial mátrico (-kPa) medidos nas mesmas posições dos extratores de solução. A distribuição espacial dos valores de potencial mátrico foi analisada na horizontal e na vertical (Figura 15).

Os perfis de distribuição espacial de água no solo durante o tempo de vácuo de 0 horas e tempo de coleta da solução 12 horas após o vácuo Figura 15 (A), evidenciam que a precipitação ocorrida no período de vácuo aos extratores (15,4 mm), influenciou diretamente os teores de umidade e o processo de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo. A umidade na região do bulbo molhado indicou valores semelhantes de potencial mátrico em todo o perfil do bulbo molhado (entre -3 e -4 kPa).

Pelo perfil de distribuição espacial observado na Figura 15 para o tratamento (B), observa-se que neste tempo as condições de umidade ao longo do perfil foram diferentes, evidenciando maiores tensões entre a faixa de 25 a 35 cm do emissor; até a profundidade de 35 cm. Este comportamento pode ser explicado tanto pela quantidade de água aplicada neste tratamento, como pelo aumento do consumo de água pela planta nesse período.

A partir da Figura 15 (C) pode se verificar que os maiores valores de potencial mátrico encontra-se à 35 cm do emissor, até a profundidade de 30 cm. O comportamento de umidade e redistribuição da água no solo abaixo da faixa de 45 cm, apresenta valores de potencial mátrico bastante semelhantes, tanto na horizontal quanto em profundidade.

A distribuição espacial dos valores de potencial de água no solo observados na Figura 15 (D) demonstra que neste tempo de vácuo e coleta da solução os valores de potencial mátrico foram influenciados pela precipitação de 15,4 mm e 5,1 mm ocorrida no período antecedente a fertirrigação. Pode-se verificar em toda extensão do bulbo úmido que os valores de potencial mátrico são semelhantes entre as Figuras (A e D).

A infiltração e redistribuição de água no solo entre os momentos de vácuo e coleta da solução C e E foram semelhantes, sendo que apresentaram os maiores valores de potencial mátrico na faixa de 25 a 35 cm na horizontal, evidenciando que a

distribuição horizontal da água em solo arenoso é limitada, ou seja, o raio de umedecimento é influenciado pela capilaridade do solo, textura, vazão aplicada, capacidade de retenção de água e força da gravidade.

Observa-se, para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução 12 horas após o vácuo que a maioria dos valores de potencial mátrico no solo são inferiores a umidade correspondente a capacidade de campo (-10 kPa). Este comportamento se deve principalmente ao tempo dos tratamentos, ou seja, a leitura aos tensiômetros nunca se dava em um intervalo maior que 1 dia (12 + 12 h). Este comportamento é coerente com Durães et al., (2008) que relatam que a capacidade de campo é definida arbitrariamente como o limite superior da água armazenada pelo solo a qual está disponível para a planta. Esse limite superior é definido como a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem de seu excesso, quando a velocidade do movimento descendente praticamente cessa, o que geralmente ocorre de 2 a 3 dias após a chuva ou a irrigação.

De modo geral, considerando a Figura 15 (A, C, D e E), nota-se que a distribuição de água no perfil é semelhante e que o diferente gradiente observado na Figura 15 (B) está relacionado a irrigação, porém a um período de estiagem antecedente a coleta.

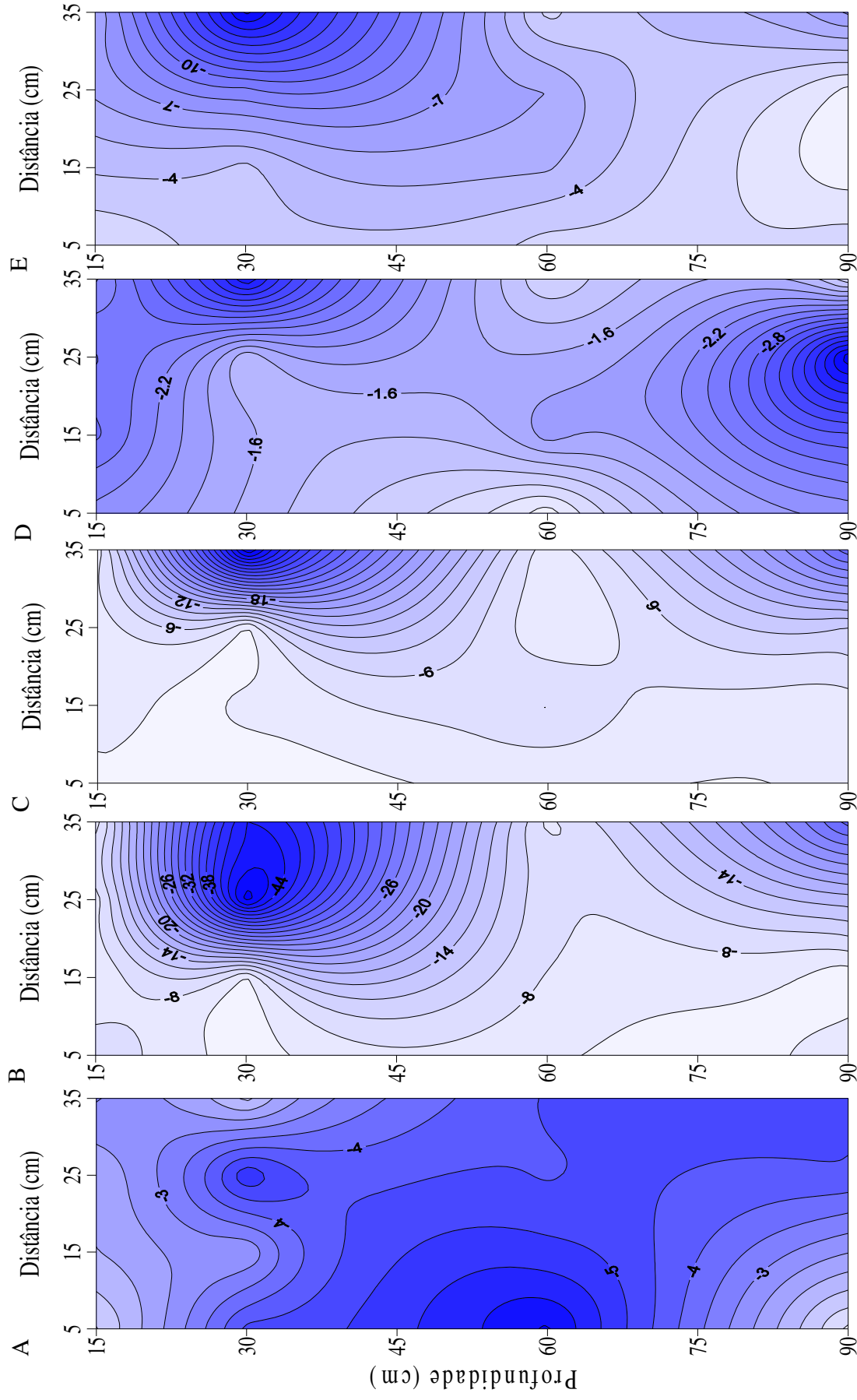


FIGURA 15. Distribuição espacial da tensão (kPa) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação. Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.9 Dinâmica de NO_3^- na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo

A distribuição espacial de NO_3^- na solução do solo nos diferentes momentos de aplicação de vácuo aos extratores (0, 2, 4, 6 e 12 horas), após a irrigação e 12 horas de coleta após a aplicação do vácuo, será discutida através da (Figura 16).

O comportamento de NO_3^- na solução do solo sob o tempo de amostragem da solução 0 horas de vácuo após a fertirrigação é apresentado na Figura 16 (A). Pode-se observar que as maiores concentrações de NO_3^- no bulbo molhado são encontradas à 35 cm na horizontal, limite do bulbo molhado, evidenciando seu caminhamento para periferia do bulbo, concordando com Villas Boas et al., (1999). As menores concentrações de NO_3^- no bulbo, são encontradas logo abaixo do emissor, comportamento semelhante foi encontrado pelos menos autores citados anteriormente.

A concentração de NO_3^- logo abaixo do emissor é menor para todos os momentos de vácuo e coleta, evidenciado semelhança na distribuição do íon nesta localização para todos os momentos distintos de tempo de vácuo aos extratores e coleta da solução de 12 horas após a aplicação de vácuo.

Em relação a distribuição e concentração dos maiores valores de NO_3^- no bulbo molhado, os perfis de concentração foram semelhantes para todos os momentos de vácuo, assim, os maiores valores foram observados na periferia do bulbo molhado, evidenciando que seu caminhamento no solo acompanha a frente de molhamento e sua mobilidade no solo é alta.

Analisando a concentração do íon no bulbo molhado em profundidade é possível observar que os maiores valores de NO_3^- são encontrados na faixa de 60 cm de profundidade, contudo distantes do ponto de emissão. Este comportamento é semelhante para quase todos os momentos de vácuo e coleta, portanto é observado comportamento distinto em relação aos maiores valores de concentração do NO_3^- em profundidade para o momento de vácuo e coleta (C) Figura 16. Neste momento de vácuo e coleta as maiores concentrações do íon foram encontradas a 35 cm na horizontal e 35 cm em profundidade Isto pode ser explicado devido a quantidade de água aplicada neste momento de vácuo e coleta e as condições de umidade do solo antes da realização da fertirrigação.

Da mesma forma que ocorreu com o tempo de coleta de 2 horas após o vácuo aos extratores, é possível também observar para o tempo de coleta de 12 horas após o vácuo, que a distribuição de NO_3^- foi semelhante em relação ao tempo de vácuo e coleta da solução.

O caminhamento do NO_3^- ocorre principalmente pelo fato que após a fertirrigação é aplicado apenas água para limpeza do sistema de irrigação e isso faz com que haja arraste do NO_3^- no solo em profundidade.

Deve-se considerar que os teores apresentados são de NO_3^- e não N- NO_3^- . Para calcular o valor de N- NO_3^- que de fato é o mais encontrado na literatura, deve-se dividir o valor por 4,43. Fazendo este cálculo nota-se que até 24 horas após a fertirrigação havia valores entre 70 e 170 mg N L^{-1} de solução.

Outro aspecto que deve ser considerado é que os teores de N- NO_3^- estão elevados até 90 cm. Isto significa que parte desse nutriente pode estar fora do alcance das raízes da planta e portanto podem ser perdidos por lixiviação.

Considerando que os valores de NO_3^- na solução do solo estão em concentração semelhantes quando foi feito o vácuo 4, 6 e 12 horas após a fertirrigação, pode-se deduzir que 4 horas foram suficientes para que houvesse equilíbrio da solução com o solo e o movimento da água no perfil, não seria necessário esperar por 6 ou 12 horas após a fertirrigação para realizar o vácuo aos extratores.

Diferente do observado quando o vácuo foi realizado 2 horas após a fertirrigação e a coleta da solução foi realizada 2 horas após o vácuo, a retirada da solução 12 horas após realizar o vácuo permitiu que a água e nutrientes atingissem camadas mais profundas. Este comportamento não pode ser observado na comparação entre os momentos de vácuo e coleta 4-2 horas e 4-12 horas e os demais tempos de vácuo 6 e 12 horas. Esta observação permite inferir que coletando a solução 2 horas após o vácuo os resultados estão muito próximos se comparados com 12 horas após o vácuo.

A

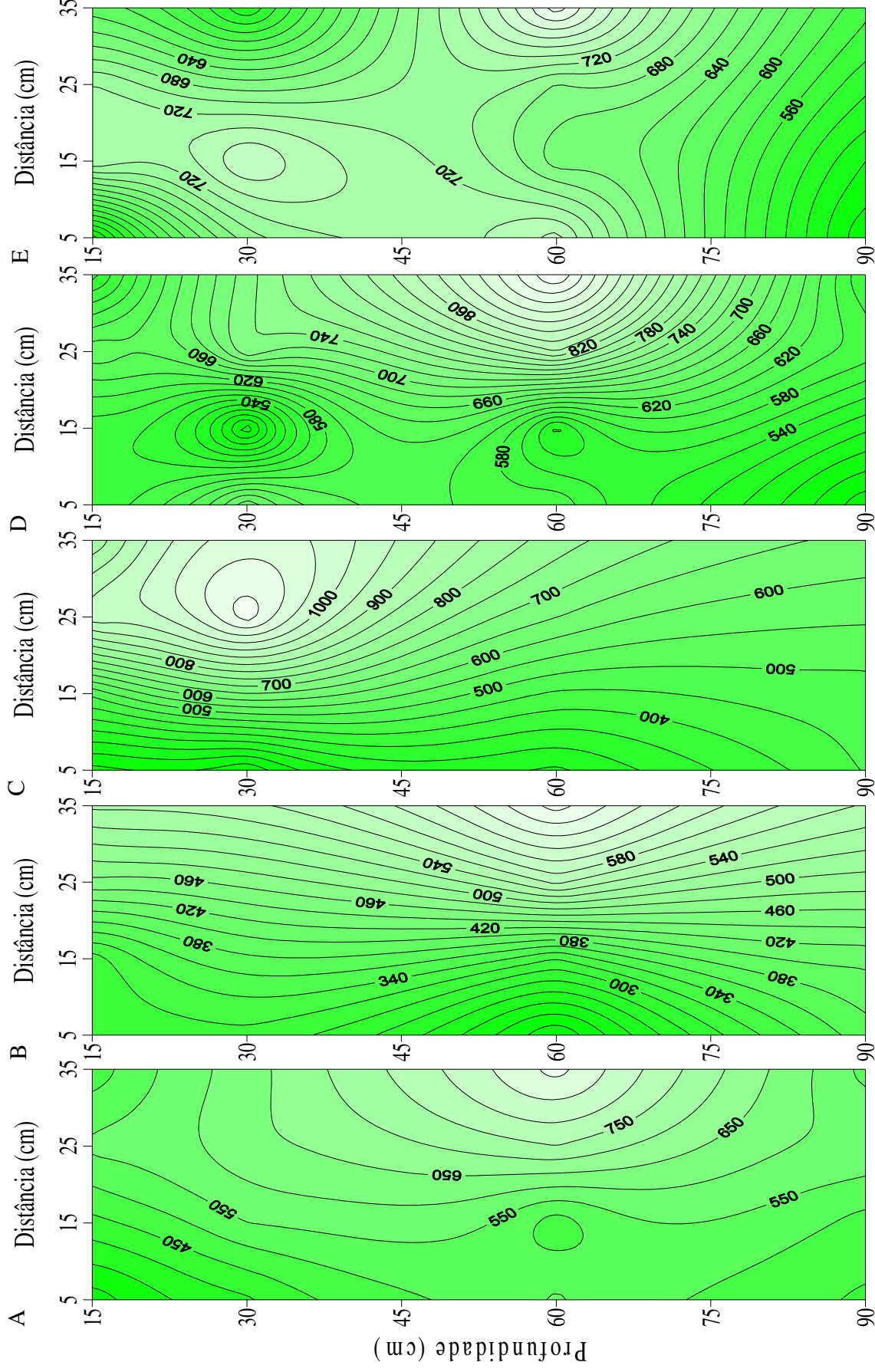


FIGURA 16. Distribuição espacial de NO_3^- (mg L^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação; Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.10 Dinâmica de fósforo na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo

A partir da Figura 17, será discutido o comportamento da concentração e distribuição de fósforo na solução do solo nos diferentes momentos de aplicação de vácuo aos extratores (0, 2, 4, 6 e 12), após a fertirrigação e 12 horas de coleta após a aplicação do vácuo.

É possível observar na Figura 17 (A) que as maiores concentração de fósforo são encontrados logo abaixo do emissor, comportamento esperado devido sua baixa mobilidade no solo. Pode-se verificar que o movimento de fósforo em profundidade foi superior em relação a movimentação lateral do nutriente, o que deve estar relacionado ao baixo teor de argila no solo, no entanto é possível evidenciar que a aplicação localizada via fertirrigação favorece a movimentação de fósforo no solo tanto na horizontal quanto na vertical, portanto a movimentação na vertical é mais acentuada. Esse comportamento está de acordo com Souza (2006) que observou que a movimentação de fósforo para camadas mais profundas do perfil do solo foi facilitada quando aplicado via técnica de fertirrigação por gotejo, em comparação a adubação sólida convencional. A irrigação por gotejo pode aumentar o movimento de Fósforo no solo de 5 a 10 vezes se comparado à aplicação convencional (VILLAS BÔAS et al., 1999).

Analisando a Figura 17, observa-se que para todos os tratamentos o comportamento da concentração e distribuição de fósforo no bulbo molhado são bastante semelhantes, caracterizando baixa mobilidade deste nutriente no solo. Assim, verifica-se que a maior concentração de fósforo para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução 12 horas após o vácuo é encontrada na faixa de 5 cm a 15 cm na horizontal e 15 cm a 35 cm na vertical.

O fósforo aplicado via água de irrigação, ou seja, fertirrigação, pode atingir um raio maior em relação ao gotejador e seu caminhamento em profundidade e facilmente percebido para todos os momentos de vácuo e coleta observados na Figura 17. Esse comportamento está de acordo com Coelho, (1994) relatando que o fósforo aplicado através da irrigação localizada, tanto em solos arenosos como argilosos aumenta sua mobilidade, devido à saturação dos sítios de adsorção próximos ao ponto de saída da solução.

Um aspecto prático que deve ser considerado neste caso é que as raízes, por retirarem fósforo da solução por difusão, devem apresentar um sistema radicular o mais próximo possível do emissor, o que muitas vezes pode não ocorrer, pois esse é o local mais úmido do solo e portanto é onde pode ocorrer mais freqüentes condições anaeróbicas.

Se esta situação pode ser considerada um aspecto negativo da aplicação de fósforo via fertirrigação, o lado positivo é que tem-se fósforo alcançando até 60 cm de profundidade.

Deve-se lembrar que o extrator de solução mais superficial estava a 15 cm de profundidade, ou seja, quanto mais superficial a coleta da solução maior concentração ocorrerá.

De forma semelhante ao observado para nitrato, quando se coletou a solução 12 horas após o vácuo não se observa diferença quanto a concentração de fósforo quando comparado com a coleta da solução 2 horas após o vácuo, sugerindo que em 2 horas após o vácuo a solução pode ser retirada.

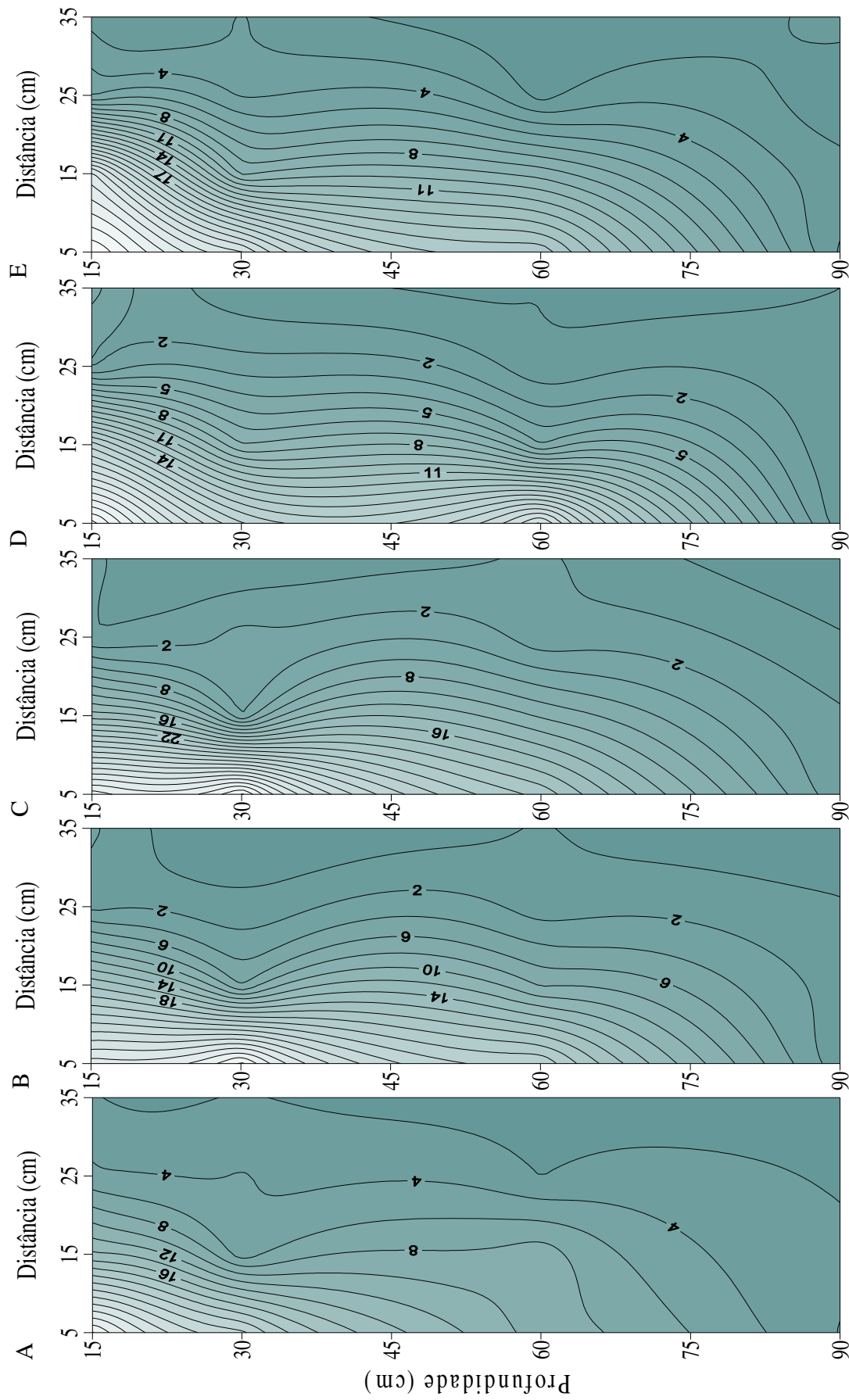


FIGURA 17. Distribuição espacial de fósforo (mg dm^{-3}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação. Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.11 Dinâmica de potássio na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo

Na Figura 18 é apresentado o comportamento da concentração e distribuição de potássio na solução do solo.

Analisando a Figura 18, observa-se que para o momento de vácuo e coleta da solução (A) a maior concentração de potássio é encontrada na faixa de 5 a 15 cm na horizontal e 15 cm a 35 cm na vertical. Entretanto, é possível observar ao longo bulbo molhado que o caminhamento do potássio foi relevante tanto na horizontal como na vertical, evidenciando que o caminhamento do íon foi influenciado pelo caminhamento da água no solo. Este resultado concorda com os obtidos por Zanini (1991) que verificou a distribuição do potássio correlacionando-se com a distribuição de água no solo e assim, pode-se ter um controle da movimentação do íon K em função da irrigação.

É possível observar através da Figura 18 para os momentos de vácuo e coleta da solução do solo, 2-12, 6-12, 12-12 que a distribuição do potássio ao longo do bulbo molhado foi semelhante.

No entanto nas coletas 0-12 e 4-12 os valores de potássio na solução são mais baixos. Para 0-12 pode-se explicar esse efeito pela precipitação de 15,4 mm ocorrida no período de vácuo, o que proporcionou o caminhamento de potássio em profundidade.

Nas análises dos perfis de distribuição do íon para todos os momentos de vácuo e coleta é possível observar que os maiores valores de K foram registrados na faixa de 5 a 15 cm na horizontal e 15 cm a 35 cm em profundidade, estes locais coincidem com os locais de maiores valores de umidade, evidenciando que o caminhamento do íon se processa principalmente por fluxo de massa.

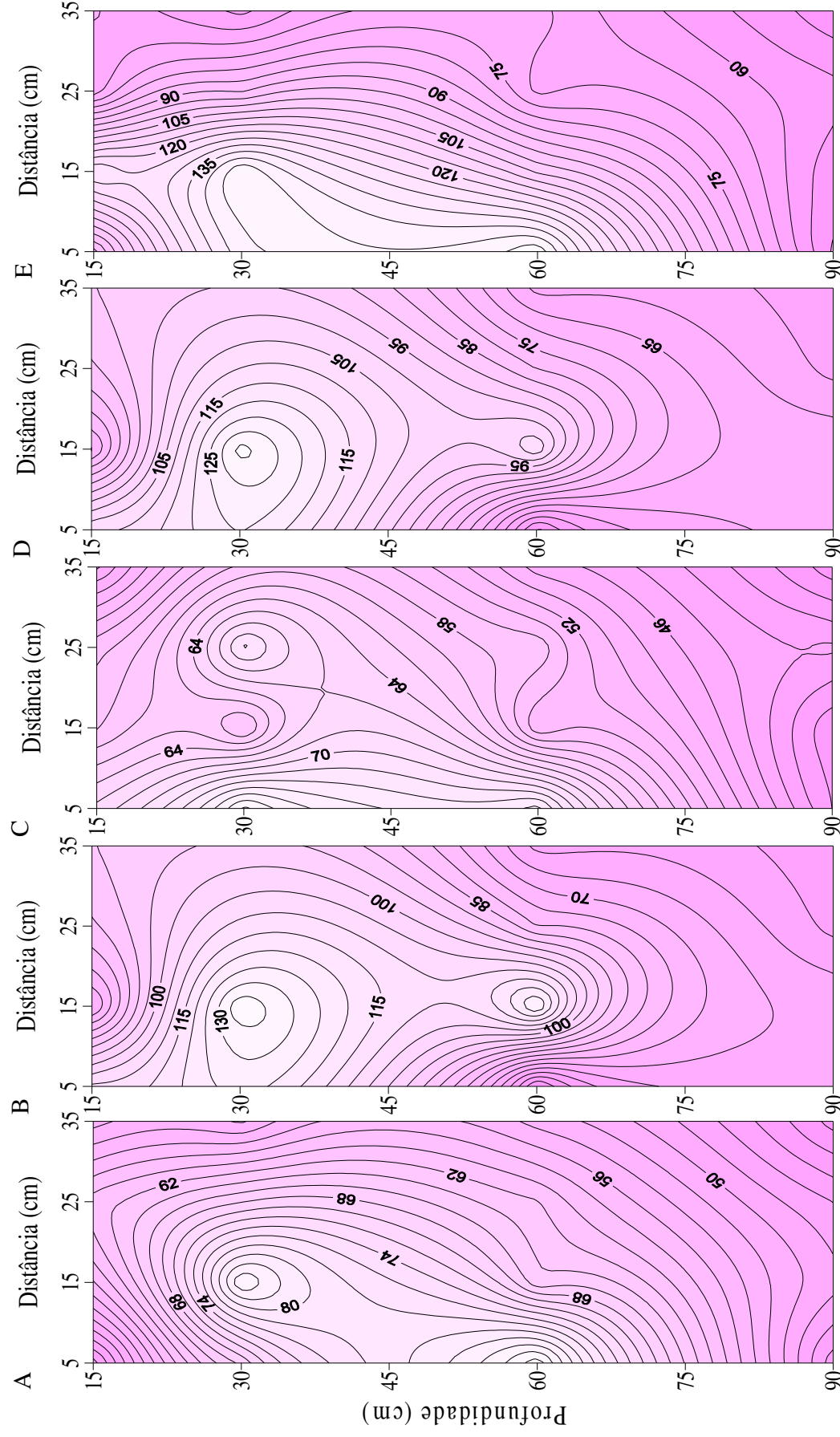


FIGURA 18. Distribuição espacial do potássio (mg L^{-1}) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação. Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.12 Comportamento do pH na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo

O pH do solo é bastante influenciado pelos sais que estão sendo aplicados e também pelos ânions e cátions absorvidos pela planta. Além disso para transformação do N amoniacal em N-nítrico há geração de H^+ e portanto abaixamento do pH.

Pode-se notar pela Figura 19 que a acidez é maior em profundidade e próxima ao emissor. Uma das explicações é que a fonte de fósforo aplicado foi H_3PO_4 que além de fornecedor de fósforo também é um ácido forte, que gera íons H^+ no solo fazendo o pH diminuir, a medida que as raízes tem dificuldade de se formar em pH muito ácido, próximo ao emissor, apesar de ter maior concentração de fósforo este dever ter dificuldade de ser absorvido em função do pH.

De modo semelhante a Figura 13 há uma variação na acidez do solo, que não pode ser justificada apenas pela ação do ácido fosfórico, sendo que a acidez encontra-se em profundidade e também superficial, porém distante do emissor, teria que ser justificada por outros fatores já enumerados para a Figura 13.

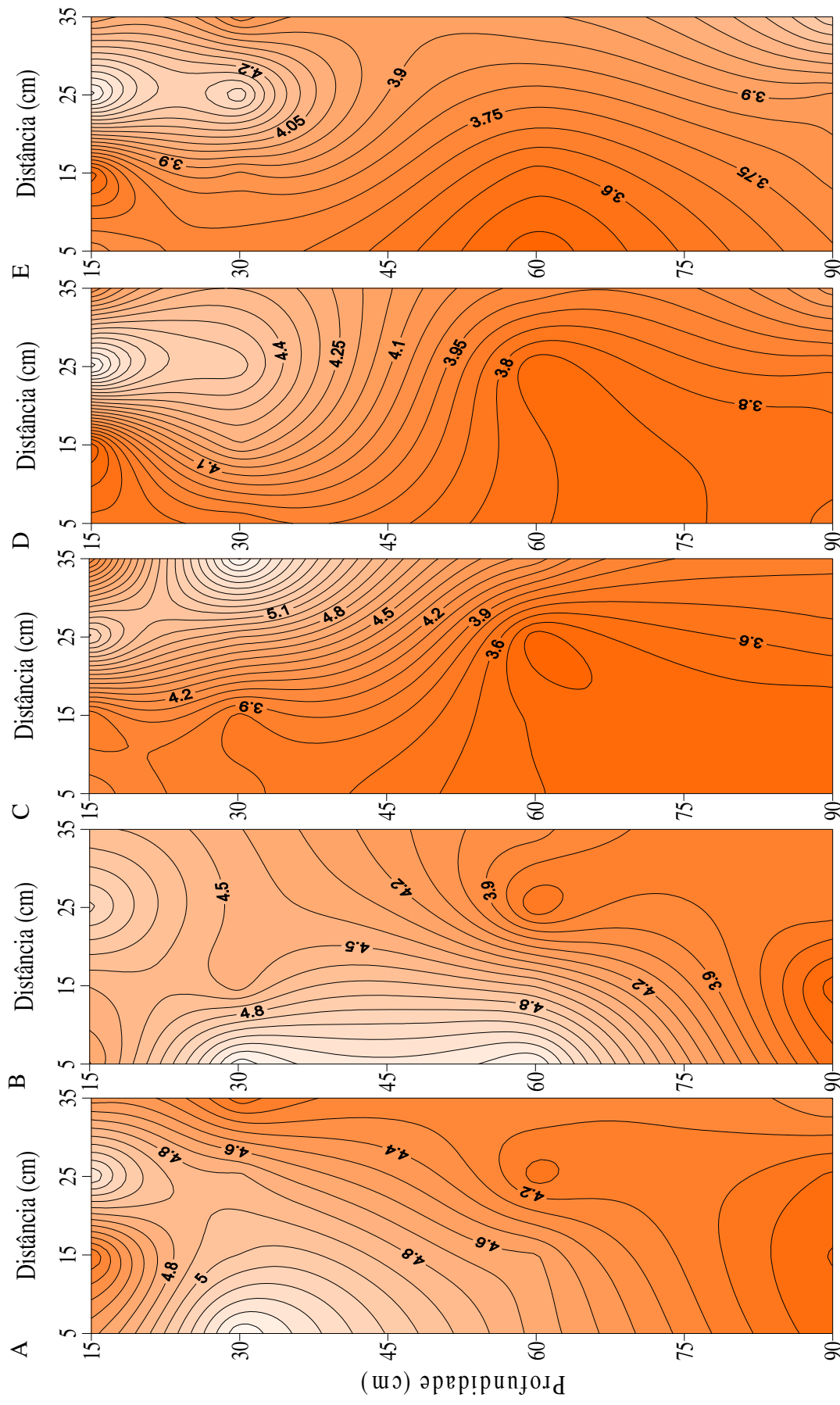


FIGURA 19. Distribuição espacial do pH na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação: Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.13 Condutividade elétrica na solução do solo X tempos de vácuo e momento de coleta de 12 horas após o vácuo

Os resultados de condutividade elétrica corrigidos em função da umidade são apresentados na (Figura 20).

É possível observar que há uma variação da CE de $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ até $1,8 \text{ dS m}^{-1}$.

É possível observar que o comportamento da CE ao longo do bulbo molhado se assemelha ao perfil de distribuição de NO_3^- na solução (Figura 16), porém sabe-se que o sal contendo K tem elevado potencial salino e esta influencia a CE, porém de uma forma não tão evidente quanto quando se compara CE x NO_3^- .

O contrário ocorre em relação ao fósforo pois as maiores concentrações ocorrem superficialmente, diferente da CE. Sabe-se que os sais de fósforo pouco afetam na CE do solo.

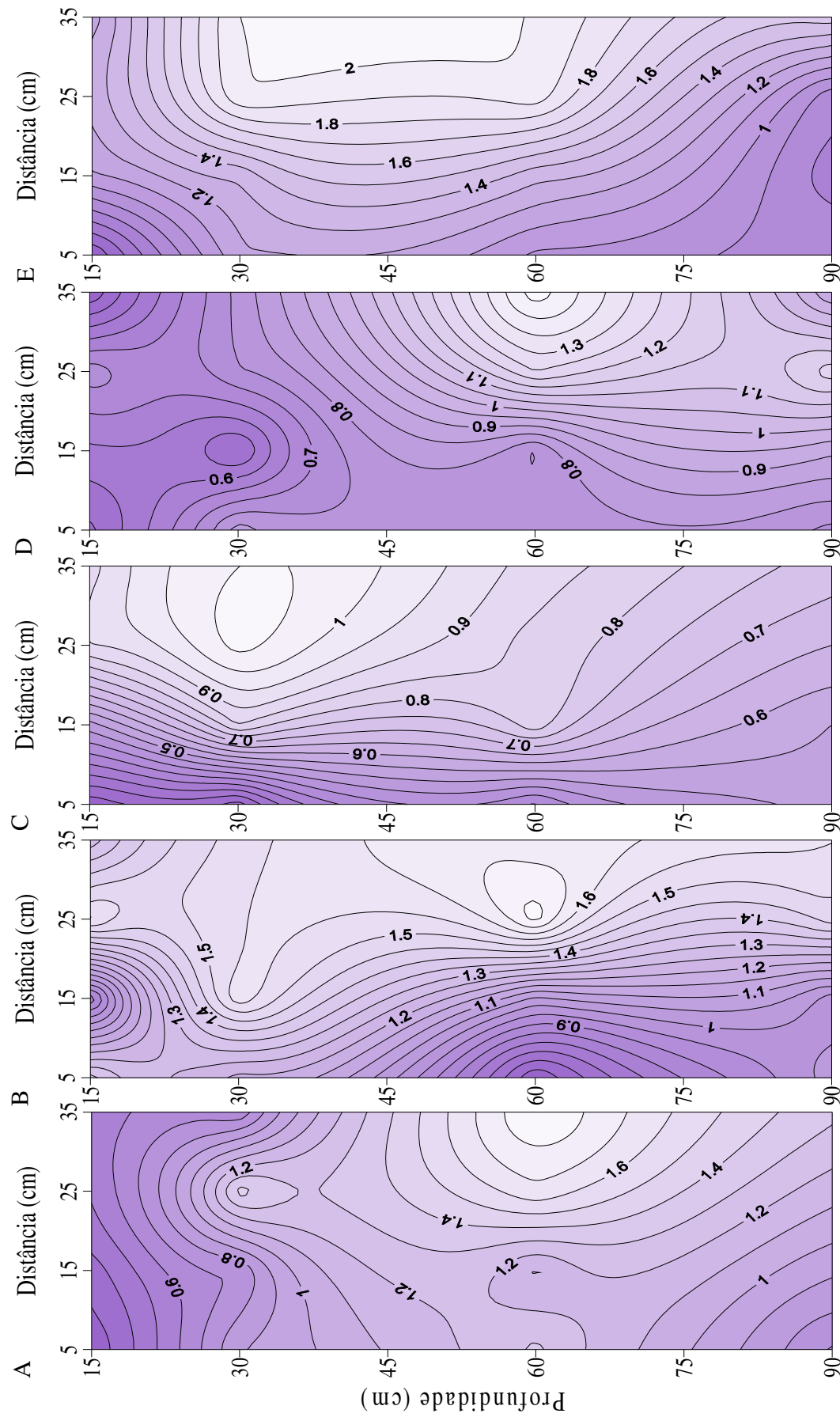


FIGURA 20. Distribuição espacial da condutividade elétrica (dS m⁻¹) na solução do solo. A) vácuo 0 horas após a fertirrigação; B) vácuo 2 horas após a fertirrigação; C) vácuo 4 horas após a fertirrigação; D) vácuo 6 horas após a fertirrigação; E) vácuo 12 horas após a fertirrigação. Coleta da solução 12 horas após a aplicação do vácuo aos extratores.

4.14 Posicionamentos dos extratores de solução ao longo do bulbo molhado

Além de indicar o posicionamento do nitrato, fosfato e potássio no perfil do solo, este trabalho também tem como objetivo avaliar a influência do tempo de vácuo e coleta da solução após a fertirrigação e indicar o posicionamento dos extratores de solução de modo que o produtor, ao utilizar dessa ferramenta, possa ter a clareza que os resultados estariam representando, de fato, o que a planta iria absorver.

Sabe-se que as plantas para absorver os nutrientes presentes no solo, o fazem a partir da solução do solo, portanto, há necessidade de água (em tensões que a planta consegue absorver) e nutrientes nela dissolvidos.

Um outro fator é que para ser absorvido é necessário a presença de raízes, pois somente a presença de água e nutriente não garante que estes serão absorvidos pela planta, principalmente se esta solução estiver distante de uma raiz. Portanto, a conjunção desses três fatores: tensão de água, concentração de nutrientes e presença de raízes podem levar a uma melhor localização dos extratores.

Deve-se considerar que a presença de água e nutrientes também pode induzir o aumento de raízes nas plantas, favorecendo sua absorção. Portanto, se as condições do solo forem adequadas para o desenvolvimento radicular (teor de Ca, pH, principalmente), a concentração de nutrientes e a água poderiam indicar o melhor posicionamento dos extratores no solo. Portanto, como a água se mostrou de modo geral, homogênea no perfil do solo, (exceto para o tempo 2-2, onde o tempo não foi suficiente para a água atingir a extremidade do bulbo) o uso da concentração de nutrientes é colocado neste trabalho como referência para a instalação dos extratores de solução.

Na tabela 3 é possível observar que as maiores concentrações de nitrato no solo ocorreram a 30 e 60 cm de profundidade (respectivamente, 706 e 801 mg de NO_3^- por litro de solução). Com relação ao posicionamento horizontal os valores de nitrato na solução foram próximos dos avaliados às distâncias 25 e 35 cm a partir do emissor.

Nesta situação ao considerar a instalação dos extratores de solução a 35 cm de distância do emissor e a 60 cm de profundidade é importante destacar o risco de perdas de NO_3^- por lixiviação, visto que está localização segundo Pires et al., (2005) encontra-se no limite da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Destaca-se também o

risco de não extrair solução nesta localização em condições de umidade baixa, visto que está localização se encontra na periferia do bulbo molhado.

Se comparado à concentração de NO_3^- entre 25 cm na horizontal e 30 cm na vertical e 35 cm na horizontal e 60 cm na vertical é possível ressaltar que a variação da concentração de NO_3^- para as duas localizações é de 12%. Portanto, considerando o risco de lixiviação e a pequena variação entre os pontos mencionados anteriormente, recomenda-se a instalação dos extratores de solução a 25 cm de distância do emissor e 30 cm de profundidade.

TABELA 3. Média das concentrações de NO_3^- para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade.

Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-15	15-15	25-15	35-15	Média
NO_3^- (mg L ⁻¹)	360	520	480	500	465
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-30	15-30	25-30	35-30	Média
NO_3^- (mg L ⁻¹)	458	583	706	699	611,5
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-60	15-60	25-60	35-60	Média
NO_3^- (mg L ⁻¹)	538	508	664	801	627,75
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-90	15-90	25-90	35-90	Média
NO_3^- (mg L ⁻¹)	451	492	569	608	530
Média	451,75	525,75	604,75	652	

Na Tabela 4 nota-se que a concentração de P foi maior quando amostrada a 30 cm de profundidade e 5 cm distante do emissor. (32 mg de P por litro) Praticamente, a concentração cai pela metade (15 mg de P por litro) a 60 cm de profundidade e a 5 cm de distância horizontal. Nota-se que a concentração deste nutriente é decrescente à medida que afasta do ponto de emissão.

A variação da concentração de fósforo no solo entre as distâncias horizontal x profundidade 5-15 e 15-30 encontram-se em 40%, mesmo observado as maiores concentração na faixa de 5 cm de distância do emissor e 15 cm de profundidade, deve-se ressaltar que próximo ao emissor coincide a região de maior teor de umidade no bulbo, denominada de zona saturada. Sendo assim, nesta região pode ocorrer mais freqüentes condições anaeróbicas, dificultando a absorção de nutrientes pelas plantas. Se esta situação for considerada, recomenda-se a instalação dos extratores de solução a 15 cm de distância do emissor e 30 cm de profundidade.

TABELA 4. Média das concentrações de fósforo para todos os momentos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade.

Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-15	15-15	25-15	35-15	Média
P (mg dm ⁻³)	32	17	3	3	13,75
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-30	15-30	25-30	35-30	Média
P (mg dm ⁻³)	32	13	4	2	12,75
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-60	15-60	25-60	35-60	Média
P (mg dm ⁻³)	15	8	2,5	1,5	6,75
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-90	15-90	25-90	35-90	Média
P (mg dm ⁻³)	2,1	2	1,72	1,44	1,82
Média	20,2	10	2,8	2	

A concentração de Potássio ao longo do perfil é apresentada na (Tabela 5). Nota-se que a concentração de Potássio alterou menos que o NO₃⁻ e o fósforo no perfil, sendo que as maiores concentrações ocorreram na profundidade de 30 cm e 15 cm de distância do emissor.

Considerando como ponto de referência a maior concentração de potássio no bulbo molhado, recomenda-se a instalação dos extratores de solução na faixa de 15 cm de distância do emissor e 30 cm de profundidade.

TABELA 5. Média das concentrações de potássio para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade.

Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-15	15-15	25-15	35-15	Média
K (mg L ⁻¹)	85	95	69	77	81,5
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-30	15-30	25-30	35-30	Média
K (mg L ⁻¹)	108	116	100	82	101,5
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-60	15-60	25-60	35-60	Média
K (mg L ⁻¹)	96	96	76	67	83,75
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-90	15-90	25-90	35-90	Média
K (mg L ⁻¹)	54	57	56	55	55,5
Média	86,75	91	75,25	70,25	

A condutividade elétrica apresentada na Tabela 6 indica um comportamento muito próximo ao notado para nitrato, reforçando que pela aplicação de maior quantidade de sais de N no solo estes proporcionaram maior CE.

Deve-se atentar que a CE pode, como ocorreu neste experimento, representar não a somatória dos sais dissolvidos, mas a maior concentração de um ou outro nutriente, portanto pode ser um excelente instrumento para indicar lixiviação, porém não tão importante para a distribuição dos sais ao longo do bulbo molhado.

TABELA 6. Média da condutividade elétrica para todos os momentos distintos de vácuo e coleta da solução, nas posições de 5, 15, 25, 35 cm de distância do emissor e 15, 30, 60, 90 cm de profundidade.

Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-15	15-15	25-15	35-15	Média
CE (dS m ⁻¹)	0,46	0,66	0,85	0,75	0,68
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-30	15-30	25-30	35-30	Média
CE (dS m ⁻¹)	0,77	0,93	1,25	1,25	1,05
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-60	15-60	25-60	35-60	Média
CE (dS m ⁻¹)	0,9	1	1,25	1,43	1,15
Distância horizontal (cm) x					
Profundidade (cm)	5-90	15-90	25-90	35-90	Média
CE (dS m ⁻¹)	0,75	0,83	1,03	1,2	0,95
Média	0,72	0,85	1,1	1,16	

É importante ressaltar que este ensaio foi realizado para cultura da laranja em apenas um tipo de solo e condições peculiares do sistema de irrigação utilizado, como por exemplo, a vazão dos emissores. Havendo necessidade de estudos em diferentes solos e culturas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que não há necessidade de maiores tempos para aplicação de vácuo aos extratores e coleta da solução, sendo o tempo de vácuo e coleta 4-2 suficiente para realização do procedimento de extração da solução do solo.

Baseado na mobilidade dos íons no perfil do solo, recomenda-se um extrator de solução para determinar na solução do solo P e K, localizado a 15 cm de distância do emissor na horizontal e 30 cm de profundidade e para NO_3^- um outro extrator localizado a 25 cm de distância do emissor na horizontal e 30 cm de profundidade.

O extrator de solução mostrou ser uma ferramenta sensível, capaz de determinar claramente a mobilidade dos íons no bulbo molhado.

Pode-se recomendar o uso dos equipamentos portáteis de NO_3^- , K^+ e CE pela coerência dos resultados obtidos.

6. REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, J. L.; DUARTE, T. S.; LUDKE, L.; SKREBSKY, E. C. Caracterização e avaliação de substratos para o cultivo do tomateiro fora do solo. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n.3, p.215-19, 1999.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7 ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.

BLANCO, F. F. **Tolerância do tomateiro à salinidade sob fertirrigação e calibração de medidores de íons específicos para determinação de nutrientes na solução do solo e na planta**. 2004. 115p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

BRESLER, E.; HELLER, N.; DINER, I.; BEM-ASHER, A et al. Infiltration from a trickle source: II. Experimental data theroretical predictions. **Soil Sciense Society of American Proceeding**, v.3, p.683-689, 1971.

BRESLER, E.; KEMPER, W. D.; HANKS, R. J. Infiltration, redistribution, and subsequent evapotranspiration of water from soil as affected by wetting rate and hysteresis. **Soil Science Society American Journal**, v.33, 832-840, 1969.

BRALTS, V. F. Operation principles/field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3, p.216-240.

BURT, C.; CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. SAN LUIS O BISPO: California Polytechnic State University, 1998. p.15-42.

CAMARGO, O. A. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. In: CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Campinas, Instituto Agronômico, 1986 (Boletim Técnico nº 106).

CAMERON, F. K. **The soil solution**: the nutrient médium for plant growth. Easton: The Chemical Publishing, 1911. 136p.

COELHO, A. M. Fertirrigação. IN: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (Eds.) **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: **Embrapa-SPI**, 1994. cap.8, p.201-227.

COELHO, E. F.; OR, D. A. Parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. **Soil Science Society American Journal**, v.60, n.4, p.1039-1049, 1996.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. S. de; MAGALHÃES, A. F. J. **Irrigação e fertirrigação em citros**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2000. 23p. (Circular Técnica, 38).

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMAB, G. C. **Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento**. Revista Ceres, Viçosa. 1980. v 27, n. 150, p. 155 – 162.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. 2005. v.9, n4, p.496-504.

DUENHAS, L. H. **Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seu efeito sobre a produtividade e qualidade de frutos de laranja (citrus simensis Osbeck) variedade valência**. Botucatu, 2001. 63f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C. Transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera. Movimento de água e solutos nas plantas. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. Uso e manejo de irrigação. **Embrapa Informação Tecnológica**. cap.4, p.169-223. Brasília, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRI. EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro. 1999. 412p.

FAVETA, G. M. A escolha do equipamento de irrigação mais adequado. **Laranja**, v.19, n.2, p.331-342, 1998.

FORRATO, L. C. **Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico, em diferentes frequências de aplicação**. 2006. 72p. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2006.

FNP. Citrus. **AGRIANUAL 2007: Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP mercado & perspectivas, 2007. p.277-297.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. aplicação de Fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p.227-260.

GOLDBERG, D.; GORNAT, B.; BAR-YOSEF, B. The distribution of roots, water and minerals as a result of trickle irrigation. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.96, p.645-648, 1971.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 2. ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 389p.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.2, p.241-268.

GROSSMANN, J.; UDLUFT, P. The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. **Journal of Soil Science**, v.42, n.1, p.83-93, 1991.

HOAGLAND, D. R.; MARTIN, J. C.; STEWART, G. R. Relation of the soil solution to the soil extract. **Journal of Agricultura Research**, v.20, n.5, p.381-395, 1920.

KAFKAFI, V.; BAR-YOSEF, B. Trickle irrigation and fertilization of tomatoes in high calcareous soils. **Agronomy Journal**, v.72, p.873-897, 1980.

LOPES, C. C. Fertirrigacion: Aspectos básicos. IN: LOPES, C.C. Fertirrigacion: **cultivos hortícolas y ornamentales**. Madrid: Mundi-Prensa, 1998. p.63-80.

LOPES, C. C. Fertirrigacion : **Cultivos hortícolas y ornamentales**. 2.ed. Madrid: Mundi Prensa, 2000.475p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas** – Principios e Aplicações. Piracicaba-SP. Associação para pesquisa da potassa e do fosfato. 201 p. 1989.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007. 358p.

MORAES, M. H. **Manejo do solo com fertirrigação: efeitos nas propriedades de um Latossolo Vermelho Eutroférico**. Botucatu, 2001. 113p. Tese (Livre-Docência). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

MORRISON, R. D.; LOWERY, B. Effect of cups properties, sampler geometry and vacuum on the sampling rate of porous cup samplers. **Soil Science**, Baltimore, v.149, p.308-16, 1990.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under a drip irrigation: a review. **Plant and Soil, Wageningen**, v.22, n.2, p.163-90, 2000.

OLIVEIRA, L. S. et al. **Uso da irrigação e da fertirrigação na produção de banana. Cruz das Almas: Embrapa**, 2005. 7p. (Circular Técnica, 77). Disponível em <<http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/circulares.77.pdf>>. Acesso em: 8 mar. 2009.

OLIVEIRA, M. R. G.; CALADO, A. M.; PORTAS, C. A. M. Tomato root distribution under drip irrigation. **Journal of American Society of Horticulture**, Alexandria, v.1, n.121, p.644-8, 1996.

O'NEILL, M. K. & ROTH, R. L. Orthophosphoric acid as phosphorus fertilizer in trickle irrigation, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 43: 283-286, 1979.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectiva para o futuro. In: FOLEGATTI, M.V. (coord) **Fertirrigação: citrus flores e hortaliças**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 1999. cap.1, p.11-84.

PHILIP, J. R.; KNIGGHT, J. H. Redistribution of soil water from plane, line, and point source. **Irrigation Science**, v.12, p.169-180, 1991.

PIRES, C. R. M.; LUCHIARI, D. J. F.; ARRUDA, F. B. & MOSSAK, I. Irrigação. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. R.; PIO, R. M. & POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas, Instituto Agronômico e Fundag, p. 369 - 408, 2005.

PIZARRO, F. C. **Riegos localizados de alta frecuencia**: goteo, microaspersion, exudacion. Madrid: Ediciones Mundi Prensa, 1984. p.141.

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

REICHARDT, K. Irrigação. In. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. p. 139- 55.

RIGA, P.; CARPENTIER. S. **Ionic equilibrium time ceramic cups in unsaturated porous media**. Soil Sci Soc. Am. J. 62:574-579. 1998.

ROLSTON, D.E.; MILLER, R.J.; SCHULBACH, H. Management principles In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986.p.317-345.

SALOMÃO, L. C. **Uniformidade do sistema de irrigação**. In: SOUZA. T. R.; VILLAS BOAS, R. L.; SAAD. J. C. C. Aspectos práticos da fertirrigação. 1 ed. Fepaf. Botucatu. cap.3, p.13-17, 2008.

SILVA, C.C.; SILVA, C. A. Avaliação de uniformidade em sistema de irrigação localizada. **Revista científica eletrônica de agronomia**, Garça. 2005. Ano IV. n.08.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**. 2002. 136f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

SILVA, E. F. F.; ANTI, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; DUARTE, S. N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, p.785-9, 2000.

SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; FOLEGATTI, M. V.; ROJAIS, E. G. **Utilização de testes rápidos e extratores de solução do solo na determinação de nitrato e potássio**. Eng. Agríc, Jaboticabal, v.23, n.3, p.460-467, 2003.

SOUSA, V. F. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicadas via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo**. 2000. 178f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2000.

SOUSA, V. F; SOUSA, A. P. Fertirrigação: princípio e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993, p.2519-2528.

SOUSA, V. F; SOUSA, A. P. Fertirrigação II: Tipos de produtos, aplicação e manejo. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.47, p.15-20. 1992.

SOUSA, V. F.; ANDRADE, C. L. T.; SOUSA, A. P.; et al. Redistribuição de água em solo de textura arenosa sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., Santa Maria, 1992. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992, p.963-973.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F. Dinâmica da água num solo arenoso sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., Campina Grande, 1997. XXVI CONBEA – Semi-Árido: **CD ROM**: Campina Grande: SBEA/UFPB, 1997.

SOUZA, T. R. **Dinâmica de nutrientes no perfil do solo em sistemas de adubação sólida e fertirrigação na citricultura**. 2006. 91f. (Dissertação de Mestrado)-Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas. 2006.

URIU, K.; CARLSON, R. M.; HENDERSON, D. W. et al. Potassium fertilization of prune trees under drip irrigation. **Jornal American Society for Horticultural Science**, v.105, n.4, p.508-510, 1980.

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

VIEIRA, D. B. Fertirrigação e manejo de irrigação em citros. **Laranja**. v.9, p.370-72, 1998.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. & FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLLEGATTI, M. V. (ed). **Fertirrigação: citros, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, p. 293-319, 1999.

VILLAS BÔAS, R. L. et al. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. et al. (Coord). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.2, p.71-103.

VILLAS BÔAS, R. L.; ZANINI, J. R.; DUENDAS, L. H. Uso e manejo de fertilizantes em fetirrigação. In: ZANINI, J. R.; VILLAS BOÂS, R. L.; FEITOSA FILHO, J. C. **Uso e manejo da fertirrigação em hidroponia**. Jaboticabal: FUNESP, 2002. p.1-25.

VILELLA, W. M. da C. **Diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação no crescimento, produtividade e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

VIVANCOS, A. D. **Fertirrigacion**. Madrid: Mundi Prensa, 1993. 217p.

WOLT, J. D. Soil solution chemistry. **Applications to environmental science and agriculture**. New York: Wiley, 1994. 345P.

ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; SILVA, J. A. A. **Irrigação em citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 35 p.

ZANINI, J. R. Distribuição de água e íon potássio no solo aplicados por fertirrigação em gotejamento. II. Teores de potássio no bulbo molhado. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.46, p.24-38, 1991.