

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

**FERTIRRIGAÇÃO E CONTROLE DA SALINIDADE NO CULTIVO
DE BETERRABA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

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
Julho - 2012

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

**FERTIRRIGAÇÃO E CONTROLE DA SALINIDADE NO CULTIVO
DE BETERRABA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

Orientador: Antônio Evaldo Klar

Co-orientador: Ênio Farias de França e Silva

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
Julho - 2012

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

M586f Silva, Alexsandro Oliveira da, 1985-
Fertirrigação e controle da salinidade no cultivo de beterraba em ambiente protegido / Alexsandro Oliveira da Silva. - Botucatu : [s.n.], 2012
xviii, 136 f. : gráfs. color., tabs., fots. Color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Antônio Evaldo Klar
Co-orientador: Ênio Farias de França e Silva
Inclui bibliografia

1. Beterraba. 2. Condutividade elétrica.
3. Fertirrigação. 4. Salinidade. 5. Solução do solo.
I. Klar, Antônio Evaldo. II. Silva, Ênio Farias de França e. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FERTIRRIGAÇÃO E CONTROLE DA SALINIDADE EM CULTIVO DE
BETERRABA EM AMBIENTE PROTEGIDO

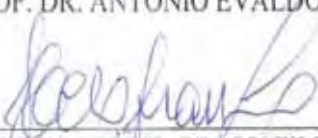
ALUNO: ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR
CO-ORIENTADOR: ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA

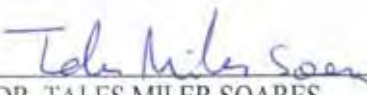
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR



PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO



PROF. DR. TALES MILER SOARES

Data da Realização: 30 de julho de 2012.

HINO À CARIDADE

*Ainda que falasse línguas,
as dos homens e as dos anjos,
se eu não tivesse a caridade,
seria como um bronze que soa
ou como um címbalo que tine.
Ainda que eu tivesse o dom da profecia,
o conhecimento de todos os mistérios
e de toda a ciência,
ainda que eu tivesse toda a fé,
a pontp de transportar montanhas,
se não tivesse a caridade,
eu nada seria.*

....

*A caridade jamais passará.
Quanto às profecias, desaparecerão.
Quanto às línguas, cessarão.
Quanto à ciência, também desaparecerá.
Pois o nosso conhecimento é limitado,
e limitada é a nossa profecia.
Mas, quando vier a perfeição,
o que é limitado desaparecerá.*

....

*Agora vemos em espelho
e de maneira confusa,
mas, depois, veremos face a face.
Agora meu conhecimento é limitado,
mas, depois, conhecerei como sou conhecido.
Agora, portanto, permanecem a fé,
esperança, caridade,
estas três coisas.
A maior delas, porém, é a caridade.*

Aos meus pais Antônio e Edilene e aos meus irmãos Adriano e Viviane a quem devo tudo que sou hoje.

OFEREÇO

Ao prof. Dr. Antônio Evaldo Klar e Ênio Farias de França e Silva pela orientação, incentivo, exemplo e pela valiosa amizade.

AGRADEÇO

À minha querida noiva e companheira Nathálie, que em todos os momentos esteve ao meu lado, com seu precioso apoio e por tudo que ela representa para mim.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) e ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade de realização do curso.

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

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, pela dedicação e atenção em todos os momentos em que foram solicitados esclarecimentos ou sugestões. Além de minha grande admiração por seu profissionalismo.

Aos amigos, Eduardo, Heidson, Hugo, Margarete pelos momentos de descontração e apoio para que eu pudesse seguir.

Aos colegas e amigos do Departamento de Engenharia Rural, Adriana, Franciana, Givaldo, Joselina, Josué, Laís, Lucas (o baiano), Lucas e Raimundo pelos momentos acadêmicos vividos juntos.

Aos funcionários, Djair e Gilberto por me ajudar na minha pesquisa com tanta eficiência.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este objetivo fosse alcançado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 Salinidade na agricultura irrigada	6
2.2 Efeito da salinidade nas plantas	9
2.3 Fertirrigação e salinização	12
2.4 A solução do solo.....	14
2.5 A cultura da beterraba	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Localização do experimento	19
3.2 Experimento I	19
3.2.1 Extração dos materiais do solo utilizado	20
3.2.2 Caracterização físico-hídrica dos materiais de solo	20
3.2.3 Construção das curvas de salinização	21
3.2.4 Testes iniciais dos extratores na determinação	22
3.3 Experimento II	24
3.3.1 Estrutura experimental	24
3.3.2 Tratamento e delineamento experimental	25
3.3.3 Condução do experimento	27
3.3.3.1 Acondicionamento e salinização do solo	27

3.3.3.2 Transplântio e condução das plantas	27
3.3.3.3 Manejo da irrigação	28
3.3.3.4 Adubação	30
3.3.3.5 Extração da solução do solo	31
3.3.4 Variáveis relacionadas à cultura	32
3.3.4.1 Altura das plantas	32
3.3.4.2 Diâmetro do pecíolo	32
3.3.4.3 Número de folhas	32
3.3.4.4 Diâmetro e comprimento da raiz	33
3.3.4.5 Massa fresca e seca da parte aérea e da raiz	33
3.3.4.6 Área foliar	33
3.3.5 Variáveis meteorológicas e estimativa do consumo hídrico	34
3.3.6 Variáveis fisiológicas da cultura	37
3.3.6.1 Teor relativo de água	37
3.3.6.2 Resistência difusiva ao vapor d'água, transpiração, temperatura da folha e radiação fotossinteticamente ativa	38
3.3.7 Variáveis relacionadas ao solo	38
3.3.7.1 Potencial mátrico	38
3.3.7.2 Condutividade elétrica, pH e concentração iônica na solução do solo.....	39
3.3.8 Rendimento relativo	39
3.3.9 Análise foliar	40
3.3.10 Evolução da salinidade a partir de amostras de solo.....	40
3.3.11 Análises estatísticas	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Resultados dos testes iniciais (Experimento I)	42
4.1.1 Curva de salinização do solo	42
4.1.2 Testes preliminares dos extratores na determinação da salinidade do solo	45
4.2 Cultivo de beterraba e sua tolerância aos sais (experimento II)	48
4.2.1 Aspectos químicos na solução do solo	48
4.2.2 Monitoramento da salinidade do solo e pH	57
4.2.3 Distribuição dos sais nos solos	60

4.2.4 Comparação entre medidas de condutividade elétrica e concentração iônica determinadas nas soluções extraídas pela cápsula porosa e no extrato de solução de saturação	64
4.2.5 Características vegetais	65
4.2.5.1 Altura de plantas	65
4.2.5.2 Diâmetro do pecíolo	76
4.2.5.3 Número de folhas	85
4.2.5.4 Diâmetro e comprimento da raiz	85
4.2.5.5 Massa da parte aérea e da raiz	91
4.2.5.6 Área foliar	101
4.2.5.7 Análise foliar das plantas	101
4.2.6 Consumo hídrico da cultura da beterraba sob condições salinas	108
4.2.6.1 Variáveis meteorológicas	108
4.2.6.2 Manejo da irrigação	110
4.2.6.3 Consumo hídrico da cultura	111
4.2.6.4 Evapotranspiração diária	112
4.2.6.5 Coeficiente de cultivo (Kc) em diferentes níveis de sais	114
4.2.7 Relações hídricas da cultura da beterraba sob diferentes níveis de salinidade ..	116
4.2.7.1 Teor relativo de água, Transpiração e resistência difusiva ao vapor de água	117
4.2.7.2 Parâmetros fisiológicos ao longo de um dia para os diferentes manejos de fertirrigação	122
4.2.8 Tolerância da cultura da beterraba à salinidade	125
5. CONCLUSÕES	127
6. REFERÊNCIAS	128

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Tolerância de algumas culturas à salinidade e seus valores de salinidade limiar (A) e de diminuição do rendimento (B) por aumento unitário da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEs) do solo	11
TABELA 2. Granulometria e parâmetros físicos e hídricos do solo	21
TABELA 3. Propriedades químicas determinadas antes da salinização do solos	21
TABELA 4. Concentração de nutrientes e quantidades de fertilizantes para o preparo de 1 m ³ de solução nutritiva para o cultivo de hortaliças (FURLANI, 1998)	31
TABELA 5. Propriedades químicas do solo determinadas após salinização	44
TABELA 6. Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica e concentrações de macronutrientes médias ao longo do ciclo na solução do solo.....	49
TABELA 7. Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica e concentrações de macronutrientes médias ao longo do ciclo na solução do solo para a cultivar Early Wonder	51
TABELA 8. Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica e concentrações médias de macronutrientes ao longo do ciclo na solução do solo para a cultivar Itapuã	54
TABELA 9. Resumo da análise de variância para altura de planta em função de níveis de salinidade para diferentes tipos de cultivar e manejo	66
TABELA 10. Resumo da análise de variância para a altura de planta em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder.....	68
TABELA 11. Resumo da análise de variância para a altura de planta em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.	72
TABELA 12. Resumo da análise de variância para diâmetro do pecíolo em função de níveis de salinidade, para diferentes tipos de cultivar e manejo.	76

TABELA 13. Resumo da análise de variância para o diâmetro do pecíolo em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder	77
TABELA 14. Resumo da análise de variância para diâmetro do pecíolo em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.	82
TABELA 15. Resumo da análise de variância para o número de folhas em função de níveis de salinidade para diferentes tipos de cultivar e manejo.	85
TABELA 16. Resumo da análise de variância para o diâmetro e comprimento das raízes em função dos fatores salinidade, cultivar e manejo da fertirrigação.	86
TABELA 17. Resumo da análise de variância para diâmetro e comprimento da raiz em função da salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder.	87
TABELA 18. Resumo da análise de variância para diâmetro e comprimento da raiz em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.	90
TABELA 19. Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), em função dos níveis de salinidade, cultivar e manejo.....	92
TABELA 20. Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), em função dos níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder	94
TABELA 21. Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), em função dos níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.	98
TABELA 22. Resumo da análise de variância para a área foliar ao longo do ciclo em função dos níveis de salinidade, cultivar e manejo da fertirrigação.....	101
TABELA 23. Resumo da análise de variância para os valores nutricionais dos macronutrientes nas folhas das plantas em função de níveis de salinidade, para diferentes tipos de cultivares e manejos	102

TABELA 24. Análise de variância para os teores de macronutrientes na cultivar Early Wonder	103
TABELA 25. Análise de variância para os teores de macronutrientes na cultivar Itapuã, para os fatores salinidade e manejo da fertirrigação	106
TABELA 26. Coeficientes de salinidade para os diferentes valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a cultivar Early Wonder nas diferentes fases fenológicas da cultura da beterraba.	116
TABELA 27. Coeficientes de salinidade para os diferentes valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a cultivar Itapuã nas diferentes fases fenológicas da cultura da beterraba	116
TABELA 28. Resumo da análise de variância para o teor relativo de água (TRA), transpiração (T) e resistência difusiva (Rs) ao vapor de água em funções dos níveis da salinidade, cultivares e manejo	117
TABELA 29. Resumo da análise de variância para o teor relativo de água (TRA), transpiração (T) e resistência difusiva (Rs) ao vapor de água em funções dos níveis da salinidade e manejo para a cultivar Early Wonder	118
TABELA 30. Resumo da análise de variância para o teor relativo de água (TRA), transpiração (T) e resistência difusiva (Rs) ao vapor de água em funções dos níveis da salinidade e manejo para a cultivar Itapuã.	120

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Extrator com cápsula porosa utilizado no experimento.....	23
FIGURA 2. Casa de vegetação (A) e detalhe da janela aberta do ambiente protegido (B) .	25
FIGURA 3. Croqui da área experimental.....	25
FIGURA 4. Componentes hidráulicos do sistema de irrigação: Venturi (A), manômetros e registros manuais para fertirrigação utilizados no sistema (B).....	28
FIGURA 5. Curva característica de retenção da água no solo	29
FIGURA 6. Instrumentos para medição das variáveis meteorológicas: A) Datalogger (CR10); B) Termo-higrômetro; C) Tanque classe “A”; D) Radiômetro de radiação líquida	35
FIGURA 7. Leitura da tensão da água do solo por meio de tensiômetro com tensímetro eletrônico de punção.....	38
FIGURA 8. Pontos de coleta das amostras de solo para determinar o perfil de distribuição de sais	40
FIGURA 9. Curva de salinização artificial do solo.....	43
FIGURA 10. Relação entre a condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta de saturação do solo calculada teoricamente e medida experimentalmente.....	43
FIGURA 11. Condutividade elétrica ao longo dos dias estimada pela solução do solo extraída com o extrator de capsula porosa	45
FIGURA 12. Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e condutividade elétrica da suspensão 1:2 (CE 1:2).....	46
FIGURA 13. Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e condutividade elétrica da solução obtida com extrator de cápsula (CEscp) (A). Relação entre os valores de condutividade elétrica de saturação medida e estimada a partir	

da solução obtida pelos extratores de capsula porosa com correção em função da umidade (B).....	47
FIGURA 14. Comparação do teste de médias de Tukey a 5% para a CE-sol no manejo tradicional (A) e por Controle (B) e concentração de magnésio no manejo tradicional (C) e por controle (D)	50
FIGURA 15. Efeito da CE inicial no extrato de saturação do solo para a cultivar Early Wonder sobre: condutividade elétrica no manejo tradicional (A) e por controle (B); fósforo no manejo tradicional (C) e por controle (D); potássio no manejo tradicional (E) e por controle (F); cálcio no manejo tradicional (G) e por controle (H); magnésio no manejo tradicional (I) e por controle (J) ao longo do ciclo	52
FIGURA 16. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para as concentrações dos macronutrientes fósforo (A), potássio (B), cálcio (C), magnésio (D) na cultivar Early Wonder nos diferentes manejos da fertirrigação.	53
FIGURA 17. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapuã entre a CE inicial do extrato de saturação e: condutividade elétrica no manejo tradicional (A) e por controle (B); fósforo no manejo tradicional (C) e por controle (D); potássio no manejo tradicional (E) e por controle (F); cálcio no manejo tradicional (G) e por controle (H); magnésio no manejo tradicional (I) e por controle (J) ao longo do ciclo.....	55
FIGURA 18. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para as concentrações dos macronutrientes fósforo (A), potássio (B), cálcio (C), magnésio (D) na cultivar Itapuã nos diferentes manejos da fertirrigação.	56
FIGURA 19. Valores da condutividade elétrica na solução do solo ao longo do ciclo da cultura para: (A) cultivar EarlyWonder com manejo de fertirrigação tradicional, (B) cultivar Wonder para o manejo de fertirrigação controlado, (C) cultivar Itapuã com manejo de fertirrigação tradicional, (D) cultivar Itapuã para o manejo de fertirrigação controlado ...	58
FIGURA 20. Valores de pH na solução do solo em função da salinidade da solução do solo ao longo do ciclo da cultura para: (A) cultivar Early Wonder com manejo de fertirrigação tradicional e para o manejo de fertirrigação controlado (B) e cultivar Itapuã com manejo de fertirrigação tradicional (C), e para o manejo de fertirrigação controlado (D).	60

FIGURA 21. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 1 dSm^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).....	61
FIGURA 22. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 3 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).....	62
FIGURA 23. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 6 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).....	63
FIGURA 24. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 9 dSm^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).....	63
FIGURA 25. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 12 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).	64
FIGURA 26. Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação, medido e estimado a partir da condutividade elétrica da solução obtida com extrator de capsula com correção em função da umidade para o solo utilizado no experimento II	65
FIGURA 27. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5%, para a variável altura de plantas para as diferentes cultivares no manejo da fertirrigação tradicional (A) e controlado (B) aos 40DAT e manejo tradicional (C) e controlado (D) aos 50 DAT	68
FIGURA 28. Altura de plantas para os diferentes níveis de salinidade: (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Early Wonder.	69
FIGURA 29. Comparação de médias de altura de plantas pelo teste de Tukey a 5%, para os manejos da fertirrigação para a cultivar Early Wonder aos 30 DAT.	69
FIGURA 30. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Early Wonder entre: altura de plantas aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), altura de plantas aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), altura de plantas aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), altura de plantas aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H).	71

FIGURA 31. Altura de plantas em função do tempo para os diferentes níveis de salinidade: (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Itapuã.	73
FIGURA 32. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%, para os manejos da fertirrigação para a cultivar Itapuã aos 20 DAT.	73
FIGURA 33. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapuã entre: altura de plantas aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), altura de plantas aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), altura de plantas aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), altura de plantas aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H)	75
FIGURA 34. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5%, para a variável diâmetro do pecíolo para as diferentes cultivares no manejo tradicional (A) e por controle (B) aos 50DAT	77
FIGURA 35. Diâmetro do pecíolo para os diferentes níveis de salinidade : (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Early Wonder	78
FIGURA 36. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Early Wonder aos 20 DAT (A); 30DAT (B); 40 DAT (C) e 50 DAT (D).	79
FIGURA 37. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar wonder entre: diâmetro do pecíolo aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), diâmetro do pecíolo aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), diâmetro do pecíolo aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), diâmetro do pecíolo aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H)	81
FIGURA 38. Diâmetro do pecíolo para os diferentes níveis de salinidade : (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Itapuã.	82

FIGURA 39. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Itapuã aos 20 DAT (A); 30DAT (B); 40 DAT (C) e 50 DAT (D)..	83
FIGURA 40. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapuã em função da condutividade elétrica entre: diâmetro do pecíolo aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), diâmetro do pecíolo aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), diâmetro do pecíolo aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), diâmetro do pecíolo aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H)	84
FIGURA 41. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% entre as cultivares para o diâmetro das raízes no manejo tradicional (A) e por controle (B)	87
FIGURA 42. Diagrama de dispersão para: diâmetro das raízes no manejo tradicional (A) e por controle (B); comprimento das raízes para o manejo tradicional (C) e por controle para a cultivar Early Wonder.....	88
FIGURA 43. Comparação de médias entre os manejos da fertirrigação pelo teste de Tukey a 5% para o diâmetro (A) e comprimento das raízes (B) na cultivar Early Wonder	89
FIGURA 44. Comparação de médias entre os manejos da fertirrigação pelo teste de Tukey a 5% para o diâmetro (A) e comprimento das raízes (B) para a cultivar Itapuã.	90
FIGURA 45. Diagrama de dispersão para: diâmetro das raízes no manejo tradicional (A) e por controle (B); comprimento das raízes para o manejo tradicional (C) e por controle (D) para a cultivar Itapuã.	91
FIGURA 46. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para: a massa seca da parte aérea para as diferentes cultivares no manejo tradicional (A) e manejo por controle (B); massa seca da raiz no manejo tradicional (C) e por controle (D).....	93
FIGURA 47. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para massa fresca da parte aérea (MFPA) para salinidade inicial do solo (A) e para o manejo controlado (B) para massa fresca da raiz (MFR) para salinidade inicial do solo (C) e para o manejo controlado (D) para a massa seca da parte aérea (MSPA) para salinidade inicial do solo (E) e para o manejo controlado (F) para massa fresca da raiz (MSR) para salinidade inicial do solo (G) e para o manejo controlado (H) na cultivar Early Wonder	94

FIGURA 48. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Early Wonder em: MFPA (A); MFR (B); MSPA (C) e MSR (D)	96
FIGURA 49. Plantas de beterraba (cultivar Early Wonder) submetidas aos diferentes tipos de salinidade para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).....	97
FIGURA 50. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para massa fresca da parte aérea (MFPA) para salinidade inicial do solo (A) e para o manejo controlado (B) para massa fresca da raiz (MFR) para salinidade inicial do solo (C) e para o manejo controlado (D) para a massa seca da parte aérea (MSPA) para salinidade inicial do solo (E) e para o manejo controlado (F) para massa seca da raiz (MSR) para salinidade inicial do solo (G) e para o manejo controlado (H) na cultivar Itapuã.....	99
FIGURA 51. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Itapuã em: MFPA (A); MFR (B); MSPA (C) e MSR (D).....	100
FIGURA 52. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para os teores de nitrogênio no manejo tradicional (A) e por controle (B) e para os teores de cálcio no manejo tradicional (C) e por controle (D) nas duas cultivares estudadas	103
FIGURA 53. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para teores de K no manejo tradicional (A) e por controle (B) e teores de Mg no manejo tradicional (C) e por controle (D) na cultivar Early Wonder	104
FIGURA 54. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para os teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (B) e cálcio na planta submetida aos diferentes manejo da fertirrigação	105
FIGURA 55. Diagrama de dispersão para a concentração de nutrientes na cultivar Itapuã nos diferentes manejos de fertirrigação estudados: nitrogênio (A); fósforo (B) magnésio (C) e cálcio no manejo tradicional (D) e controlado (E)	107
FIGURA 56. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para a concentração de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C) e cálcio (D) em plantas da cultivar Itapuã submetidas aos diferentes manejos da fertirrigação.	108
FIGURA 57. Radiação global e fotossinteticamente ativa (A) e evaporação do tanque classe “A” (B) durante o ciclo da cultura	109

FIGURA 58. Temperatura do ar máxima, média e mínima (A) e umidade relativa máxima, média e mínima (B) durante o ciclo de cultivo da beterraba.....	109
FIGURA 59. Valores de umidade do solo para o manejo tradicional da fertirrigação (A) e controlado por extratores (B) para a cultivar Early Wonder.	110
FIGURA 60. Valores de umidade do solo para o manejo tradicional (A) e via extratores de solução do solo (B) para a cultivar Itapuã.	110
FIGURA 61. Consumo hídrico acumulado para a cultivar Early Wonder no manejo tradicional (A) e por controle (B).....	111
FIGURA 62. Consumo hídrico acumulado para a cultivar Itapuã: manejo tradicional (A) e manejo por controle (B).....	112
FIGURA 63. Evapotranspiração de referência (ET _o) e de cultura (ET _c) diária, nos diferentes níveis de salinidade para o manejo tradicional (A) e controlado (B) para a cultivar Early Wonder (A).	113
FIGURA 64. Evapotranspiração de referencia (ET _o) e de cultura (ET _c) acumuladas, nos diferentes níveis de salinidade para o manejo tradicional (A) e com extratores de solução do solo (B) para a cultivar Itapuã	113
FIGURA 65. Coeficiente da cultura para diferentes fases fenológicas no manejo tradicional para as cultivares Early Wonder (A) e Itapuã (B).	114
FIGURA 66. Coeficiente da cultura para diferentes fases fenológicas no manejo controlado para as cultivares Early Wonder (A) e Itapuã (B)	115
FIGURA 67. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Early Wonder para o teor relativo de água nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).....	118
FIGURA 68. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Early Wonder para transpiração nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).....	119
FIGURA 69. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar wonder para resistência difusiva ao vapor nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).....	119
FIGURA 70. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar itapuã para o teor relativo de água nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).....	120

FIGURA 71. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar itapuã para transpiração nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).....	121
FIGURA 72. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar wonder para resistência difusiva ao vapor nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).....	121
FIGURA 73. Valores médios de resistência difusiva ao vapor (RS) para o manejo tradicional (A) e para o manejo por controle (B); transpiração (T) para o manejo tradicional (C) e por controle (D), temperatura da folha (Tf) para o manejo tradicional (E) e por controle (F); raidação fotossinteticamente ativa para o manejo tradicional (G) e por controle (H) em diferentes horários para a cultivar Early Wonder	123
FIGURA 74. Valores médios de resistência difusiva ao vapor (RS) para o manejo tradicional (A) e para o manejo por controle (B); transpiração (T) para o manejo tradicional (C) e por controle (D), temperatura da folha (Tf) para o manejo tradicional (E) e por controle (F); raidação fotossinteticamente ativa para o manejo tradicional (G) e por controle (H) em diferentes horários para a cultivar Itapuã	124
FIGURA 75. Produção relativa da beterraba em função da salinidade do solo (CEes) para a parte aérea (A) e comercial da cultura	125

RESUMO

O uso em excesso de fertilizantes em cultivo sobre ambiente protegido pode levar à salinização, e esse processo pode ser monitorado pela condutividade elétrica na solução do solo. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a utilização de extratores em cápsulas porosas no manejo da fertirrigação e no controle do processo de salinização em cultivo de beterraba (*Beta vulgaris* L.). Duas cultivares de beterraba (Early Wonder Tall Top e Itapuã) foram avaliadas em função de dois manejos de fertirrigação, sendo o primeiro o manejo tradicional utilizado pelos produtores rurais e o segundo com uso de extratores de solução do solo para controle da salinidade. O experimento foi realizado em vasos de 14 L e salinizados artificialmente a diferentes níveis de condutividade elétrica no extrato de saturação (1,0; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0; dSm⁻¹). Os resultados obtidos demonstram que o controle através de extratores em cápsulas porosas é eficiente no monitoramento de solos com problemas de salinização. Observou-se também que o controle da solução do solo em níveis de condutividade elétrica desejados, proporcionou um efeito benéfico no cultivo da beterraba evitando desequilíbrios iônicos e salinização do solo. O cultivo em ambiente protegido proporcionou menor consumo hídrico e coeficiente de cultivo do que os citados na literatura para cultivo convencional. Os manejos da fertirrigação utilizados proporcionaram efeitos significativos nas variáveis relacionadas ao crescimento e produtividade da beterraba, possivelmente devido ao incremento de fertilizantes, que

aumentaram a salinidade do solo e provocaram desequilíbrios nutricionais nas plantas. O rendimento relativo das plantas apresentou uma queda a partir da salinidade limiar de 4,3 dS m⁻¹ para ambos os manejos de fertirrigação utilizados.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L., solução do solo, irrigação, consumo hídrico, extratores de cápsulas porosas, condutividade elétrica

FERTIRRIGATION AND SALINITY CONTROL IN BEET CROP CULTIVATED IN PROTECTED ENVIRONMENT CONDITION. Botucatu, 2012. 128p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Alexsandro Oliveira da Silva

Adviser: Antônio Evaldo Klar

Co-adviser: Ênio Farias de França e Silva

SUMMARY

The excessive use of fertilizers in farming on protected environment can lead to salinization, and this process can be monitored by electrical conductivity in the soil solution. The present study was carried out to evaluate the extraction of soil solution by porous cups, which were used with the purpose to manage the fertigation and control the salinization in beet crop (*Beta vulgaris* L.) Two beet cultivars (Early Wonder Tall Top and Itapuã) were evaluated against two fertigation managements, the first being the traditional management used by farmers and the second with the use of soil solution extractors to control salinity. The experiment was carried out in 14 L pots and artificially salinized with different levels of electrical conductivity in the saturation extract (1.0, 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, dS m⁻¹). The results obtained show that control through porous cup extractors is effective in monitoring soil salinization problems. It was also observed that control of soil solution at desired levels of electrical conductivity, provided a beneficial effect in the beet cultivation avoiding ionic imbalance and salinization. The protected cultivation resulted in less water consumption and crop coefficient than those reported in the literature for conventional farming. The fertigation managements used offered significant effects on variables related to the growth and yield of beet, possibly due to increased fertilizer which increased soil salinity and caused nutrient imbalances in plants. The relative yield of the trees showed a drop from the salinity threshold of 4.3 dS m⁻¹ for both fertigation managements used.

Key-words: *Beta vulgaris* L., soil solution, irrigation, water consumption, porous cup extractor, electric conductivity

1. INTRODUÇÃO

A fertirrigação é uma das alternativas para o parcelamento da adubação em cultivos de olerícolas, evitando perdas por lixiviação ou volatilização dos adubos. Porém um manejo inadequado e excessivas aplicações podem levar a ocorrência de salinização dos solos, afetando assim o desenvolvimento e produção das culturas devido aos desequilíbrios nutricionais e antagonismos iônicos. Todos esses problemas causam prejuízos financeiros ao produtor rural por ter um produto final de baixa qualidade para venda resultando em perda de dinheiro e tempo. Tradicionalmente, o manejo da fertirrigação é realizado ministrando-se quantidades pré-estabelecidas de fertilizantes, parceladas de acordo com a marcha de absorção, não existindo normalmente nem monitoramento da concentração de íons na solução do solo, nem do estado nutricional da planta (PAPADOPOULOS, 1999).

Assim, criar alternativas para o controle da salinidade por meio do monitoramento de íons torna-se um meio viável, devido a possibilidade da manutenção da estabilidade da solução do solo. O problema é o tempo e o custo para a realização destas observações via laboratório, atualmente alguns métodos de campo foram desenvolvidos com esta finalidade, dentre estes, o extrator de solução do solo é um dos mais

recomendados por unir uma boa relação entre custo e precisão (SILVA, 2002), além de representar de uma maneira mais ampla a condutividade elétrica (CE) da solução do solo em que a planta esta se desenvolvendo.

Uma questão que deve ser ressaltada é o problema dos altos níveis de sais que podem ser encontrados no solo. Em que, mesmo com o monitoramento da CE algumas espécies de plantas passam a não conseguir se desenvolver adequadamente, proporcionando prejuízo na produção. Portanto, deve-se aliar além do monitoramento dos níveis de sais no solo espécies de plantas que se desenvolvam adequadamente nestes meios salinos. O grande desafio desta questão é encontrar espécies que além de serem tolerantes aos elevados níveis de sais, também possam ser economicamente viáveis ao produtor.

A cultura da beterraba por ser originária de regiões salinas do mediterrâneo pode ser uma alternativa para a fitorremediação do solo diminuindo os níveis de sais presentes, além de gerar renda aos agricultores, tornando-se assim uma associação benéfica para utilização.

Desta forma, a associação do monitoramento da solução do solo com o cultivo da beterraba, como uma alternativa viável de controle da salinidade a um custo reduzido, capaz de ser aplicado nas condições de ambiente protegido é o que deve ser demonstrado nesta dissertação, com o intuito de promover mais uma opção para evitar prejuízos aos produtores rurais.

Assim, enumeram-se as hipóteses abaixo:

- 1) O monitoramento da solução do solo com extratores em cápsulas porosas é capaz de controlar a salinidade e a disponibilidade nutricional na solução do solo em cultivos fertirrigados.
- 2) A cultura da beterraba é tolerante aos sais e permite a extração de sais do solo em ambiente protegido.
- 3) A fertirrigação quando mal conduzida pode levar os solos em ambiente protegido à salinização, devido ao excesso de sais aplicados.
- 4) A salinidade do solo interfere no consumo hídrico, crescimento e desenvolvimento da cultura da beterraba.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Salinidade na agricultura irrigada

A salinização é um processo-chave que pode conduzir à desertificação. É um fenômeno crescente em todo mundo e afeta milhões de hectares de solos em todas as partes em que não são conduzidas práticas agrícolas adequadas. Segundo Duarte (2006), o termo salinidade da água e do solo está diretamente ligado ao teor de sais contidos nos mesmos e quando em elevadas quantidades na zona radicular pode provocar uma baixa disponibilidade de água para as plantas, reduzindo assim, em alguns casos a produção das culturas. Além de prejudicar o desenvolvimento das culturas, o excesso de sais pode prejudicar a própria estrutura do solo, pois a absorção de sódio pelo solo, proveniente de águas dotadas de elevados teores deste elemento, poderá provocar a dispersão das frações de argila e conseqüentemente, diminuir a permeabilidade do solo (KLAR, 1984).

Segundo Cruciani (1984) e Silva (2002), no Brasil a ocorrência do processo de salinização de solos tem sido causada principalmente pelos seguintes motivos:

- a) Irrigações mal conduzidas ocasionando a elevação do lençol freático;
- b) Utilização de águas de qualidade inferior (alta salinidade) adicionando sais ao solo acarretando problemas na infiltração de água no solo e toxicidade nas plantas;
- c) Manejo incorreto da adubação, causado às vezes pela insegurança de produtores na produção de determinadas culturas ou até mesmo pela falta de monitoramento de sais do solo.

Dentre os principais problemas para a produção agrícola destaca-se o manejo da irrigação. Irrigações mal conduzidas e aplicadas de maneira excessiva em solos rasos podem causar prejuízos devido à elevação do lençol freático, trazendo sais das camadas mais profundas do solo, tendo como consequência a redução na produção das culturas. Segundo Batista et al. (2002), todo solo situado em regiões climáticas caracterizadas por baixas precipitações e altos déficits hídricos climáticos e que, ao mesmo tempo, possua má drenabilidade, tende a se tornar salino, com a irrigação, mesmo que esta seja feita com água de boa qualidade.

Na agricultura nem sempre é possível encontrar águas de boa qualidade para utilização na irrigação, levando os produtores a utilizarem águas de qualidades inferiores, estas, quando aplicadas de maneira inadequada, podem prejudicar o desenvolvimento das culturas (AYERS e WESTCOT, 1997). Segundo Almeida (2010), o critério de salinidade avalia o risco de que o uso da água ocasione altas concentrações de sais, com o correspondente efeito osmótico e diminuição de rendimentos dos cultivos. Por isso, deve-se fazer análises da água a ser utilizada na irrigação, baseadas de acordo com os efeitos que podem prejudicar o solo e a cultura, como sugere Bernardo et al. (2006), para que tais ações possam controlar e amenizar problemas de salinização do solo. As principais opções para evitar a salinização, segundo Cruciani (1984), seria o controle da qualidade da água, a escolha do método de irrigação mais indicado e a verificação das condições de drenagem necessárias para o equilíbrio do balanço de sais. Além dessas opções podem-se utilizar culturas tolerantes a determinados níveis de sais no solo.

O cultivo protegido é umas das opções para uma agricultura de produção elevada além de um controle mais eficiente de pragas, doenças e aplicações de tecnologias adequadas para produção. Porém, ao contrário do cultivo em campo, em que ações climáticas como eventos de chuvas elevadas em áreas afetadas por sais, podem promover a lixiviação dos mesmos, quando associados à permeabilidade e drenagem do solo, em condições de cultivo em ambiente protegido esse tipo de processo não é possível, pois os solos dentro de tais ambientes se comportam de maneira semelhante às regiões semiáridas como afirma Silva et al. (1997) e Medeiros (1998), devido a proteção contra às chuvas e uma evaporação frequente, havendo um acúmulo de sais devido a excessivas adubações durante vários ciclos de cultivo. Outros fator contribuinte para salinização em ambiente protegido é a ausência de práticas agrícolas como afirmam Lopes et al. (2006), pois, técnicas como a rotação de culturas e emprego de compostos orgânicos, amenizariam os problemas com salinização evitando o aparecimento de doenças abióticas nas plantas.

A fertirrigação, apesar de ser uma forma viável de parcelamento da adubação, quando aplicada excessivamente pode causar aumento da salinidade do solo como afirmam Dias (2004) e Silva (2002). Segundo Villas Bôas et al. (2004) o cultivo fertirrigado pode acelerar o processo de salinização quando se utilizam fertilizantes com maior poder de salinização, medidos pelo seu índice salino global ou parcial. Na literatura existem diversos trabalhos sobre problemas de salinidade relacionados com a fertirrigação, como Dias et al. (2006) que atribuíram os efeitos sobre o rendimento do meloeiro em cultivo protegido aos elevados níveis de sais aplicados via fertirrigação. Eloi et al. (2007) em estudos com a cultura do tomate atribuíram os problemas no rendimento comercial dos frutos da cultura, aos elevados níveis de sais acumulados no solo proporcionado pelas altas doses de fertirrigação aplicadas.

Portanto, práticas de monitoramento dos sais devem ser adotadas para o manejo da fertirrigação como preconizado por Silva (2002) utilizando extratores de solução do solo no cultivo de pimentão. Além da utilização do uso de culturas toleráveis a salinidade até que se tenha um nível reduzido de sais no solo.

2.2. Efeito da salinidade nas plantas

Segundo Cruciani (1984) as culturas sensíveis à salinidade sofrem uma redução progressiva da produção à medida que a concentração salina aumenta, além de um menor crescimento que é evidenciado pelo tamanho das folhas, caule e frutos. Lima (1997) afirma que em condições salinas as plantas passam a ter dificuldades de absorção de água tendendo a excluir os sais na absorção da solução do solo pelas raízes, havendo, contudo um gasto extra de energia para tanto, levando ao estresse hídrico por osmose. Tal dificuldade de absorção de água pelas plantas segundo Reichardt (1996) é explicado pela contribuição do potencial osmótico no potencial total de água no solo.

Segundo Larcher (2000), a redução do crescimento foliar nas plantas, está relacionada com a diminuição da produção da massa de matéria seca da parte aérea e radicular, podendo ser influenciada diretamente pelo acúmulo de altos teores de Na^+ e Cl^- . Silva (2002) afirma que a concentração eletrolítica da solução do solo pode ainda causar desequilíbrio nutricional e toxicidade de alguns íons, interferência hormonal, capazes de diminuir a plasticidade da célula e causar redução da permeabilidade da membrana citoplasmática da planta, influenciando assim no processo da fotossíntese, já que o conteúdo de clorofila nas plantas é diminuído.

Dentro de diferentes faixas de salinidade cada cultura apresenta determinada tolerância, pois a sobrevivência das plantas em ambientes salinos exige processos adaptativos envolvendo a absorção, transporte e distribuição de íons nos vários órgãos da planta e sua compartimentação dentro das células (MUNNS; TERMAAT, 1986). Em ambientes salinos, o NaCl é o sal predominante e o que causa maiores danos às plantas. Os efeitos sobre a nutrição mineral são decorrentes, principalmente, da toxicidade dos íons em razão da absorção do Na^+ e Cl^- , e do desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção ou distribuição dos nutrientes (YAHYA, 1998).

Na literatura existem diversos trabalhos sobre a tolerância de culturas a salinidade. Silva (2002), em estudos realizados em Piracicaba-SP, concluiu que o aumento da salinidade do solo promoveu no cultivo de pimentão um incremento das

variáveis de produção. Dias (2004), avaliando o efeito da salinidade ocasionada por fertilizantes em cultivo de melão, observou uma redução inicial no desenvolvimento das plantas e uma possível adaptabilidade ao meio salino após a formação dos frutos. Garcia et al. (2007), observaram em estudos com milho sob estresse salino que os teores de sódio nas folhas aumentaram de acordo com o nível de salinidade no solo reduzindo consequentemente os teores de cálcio, magnésio e potássio ao longo do ciclo da cultura refletindo o desequilíbrio nutricional causado pelo estresse salino progressivo. Medeiros et al. (2009), avaliando a cultura do pepino conduzido sobre conduções salinas, proveniente de sais fertilizantes observaram uma queda na produção, após o ponto limiar na ordem de 19,33%, para cada aumento de uma unidade de salinidade do solo (em dS m^{-1}).

Ayers e Westcot (1991) relatam os efeitos relativos de cada íon nas plantas e afirmam que nem todas as culturas apresentam a mesma sensibilidade e que os sintomas de toxicidade frequentemente acompanham ou complicam os efeitos da salinidade ou de infiltração da água no solo podendo aparecer mesmo quando a salinidade é relativamente baixa. Segundo Silva (2002), a toxidez mais comum é a toxidez por cloreto de sódio, advinda da água de irrigação, além de serem absorvidos diretamente através das folhas quando molham-se durante a irrigação por aspersão. Porém, existem trabalhos que relatam o problema de toxicidade das plantas com outros elementos como, por exemplo, o íon boro em que os sintomas, segundo Ayers e Westcot (1991), aparecem nas plantas geralmente como manchas amarelas ou secas nas bordas e ápices das folhas mais velhas e à medida em que se acumula, os sintomas se estendem pelas áreas internervurais até os centro das folhas.

A Tabela 1 mostra os níveis de redução da produção de diversas culturas observados para diferentes concentrações salinas expressas em função da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes). Deve-se ressaltar que as plantas respondem diferentemente aos teores de sais no solo, dependendo do clima, suportando maiores teores de sais em climas úmidos e frios do que em climas secos e quentes como afirma Shainberg e Oster (1978) e Maas (1984).

Tabela 1. Tolerância de algumas culturas à salinidade e seus valores de salinidade limiar (A) e de diminuição do rendimento (B) por aumento unitário da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo

Cultura do Estado de Santa Catarina (CEC) de 2018							
Cultura	Valor		Tolerância ³	Cultura	Valor		Tolerância ³
	A ¹	B ²			A ¹	B ²	
Extensivas							
Algodoeiro	7,7	5,2	T	Cevada	8,0	5,0	T
Ameindoim	3,2	29,4	MS	Feijão fava	1,5	9,5	MS
Arroz	3,3	13,0	MS	Feijão Phaseolus	1,0	18,9	S
Beterraba açucareira	7,0	5,9	T	Milho	1,7	12,0	MS
Cana de açúcar	1,7	5,8	MS	Soja	5,0	20,0	MT
Caupi	4,9	12,0	MT	Sorgo	6,8	16,1	MT
Hortaliças							
Abobrinha italiana	4,7	9,4	MT	Alface	1,3	13,0	MS
Aspargo	4,1	2,0	T	Rabanete	1,2	13,0	MS
Beterraba	4,0	9,1	MT	Cebola	1,2	16,1	S
Abobrinha	3,2	16,1	MS	Berinjela	1,2	6,9	MS
Alho	3,0	17,0	S	Cenoura	1,1	14,1	S
Brócolis	2,8	9,2	MS	Feijão-vagem	1,0	18,9	S
Tomateiro	2,5	9,5	MS	Nabo	1,0	9,0	MS
Pepino	2,5	13,0	MS	Espinafre	0,9	7,6	MS
Aipo	1,8	6,2	MS	Repolho	1,8	9,8	MS
Batata	1,7	12,0	MS	Milho doce	1,7	12,0	MS
Batata doce	1,5	10,5	MS	Pimentão	1,5	14,1	MS
Fruteiras							
Pessegueiro	1,7	21,0	S	Tamareira	4,0	3,6	T
Videira	1,5	9,5	MS	Laranjeira	1,7	15,9	S
Ameixeira	1,5	18,0	S	Amoreira preta	1,5	22,2	S
Amoreira	1,5	22,0	S	Morangueiro	1,0	33,0	S
Forrageiras							
Capim Bermuda	6,9	6,4	T	Cevada forrageira	6,0	7,1	MT
Capim mimoso	2,0	8,4	MS	Alfafa	2,0	7,3	MS
Capim Sudão	2,8	4,3	MT	Caupi forrageiro	2,5	11,0	MS

Fonte: Lima (1997), Mass e Hofman (1977) e Maas (1984)

¹A= Salinidade limiar (dS m⁻¹)

²B= Redução da produção relativa (%) por aumento da salinidade acima da salinidade limiar.

³Tolerância, S=Sensível, MS= Moderadamente sensível, MT=Moderadamente tolerante e T=tolerante.

Portanto, as diferentes espécies de plantas variam sua tolerância à salinidade como afirma Maas e Hoffmann (1977) e Lima, (1997), possibilitando assim em alguns casos o cultivo em solos salinos com manejo adequado, combinando a espécie a ser utilizada com as épocas de plantio.

2.3. Fertirrigação e salinização

Com o constante aumento da população mundial e a escassez cada vez maior dos recursos naturais, é necessário o desenvolvimento de uma agricultura intensiva e sustentável nos seus diferentes aspectos, na qual os produtos químicos e fertilizantes sejam amplamente usados, com o objetivo de aumentar a produção de alimentos. A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes através do sistema de irrigação, tornando-se uma prática comum na agricultura irrigada moderna (PAPADOPOULOS, 1996b). Dentre as vantagens da fertirrigação destaca-se o parcelamento da adubação durante todo o ciclo em uma frequência estabelecida de acordo com a necessidade nutricional da cultura, evitando perdas por lixiviação e volatilização dos fertilizantes.

Atualmente, devido ao uso constante da fertirrigação, problemas tem ocorrido em função do manejo incorreto de fertilizantes e sua aplicação. O manejo da fertirrigação normalmente é feito através da aplicação de quantidades preestabelecidas de fertilizantes, sem qualquer monitoramento do estado nutricional da planta durante o período de cultivo, o que tem ocasionado problemas com a salinidade do solo e sintomas de toxidez nas plantas, provocando o desestímulo da sua utilização por parte dos produtores. Por essa razão e por ser uma técnica que exige alterações rápidas e precisas nas quantidades de nutrientes aplicados, é importante o monitoramento de modo a promover os ajustes necessários durante o ciclo da cultura (VILLAS BÔAS, 2001).

Na agricultura, diversos são os fatores que podem interferir na produtividade das culturas, dentre eles, o clima, o solo e a própria característica genética das plantas, por isso a quantificação da necessidade de nutrientes através de práticas adequadas como curvas de absorção de nutrientes pela planta entre outras técnicas devem ser utilizadas, pois uma utilização inadequada do uso de fertilizantes, principalmente na

fertirrigação, pode não atender a demanda da planta, ou ser excessiva, causando efeitos negativos na produção. Atualmente, o que se observa na prática dos cultivos fertirrigados no país é um excesso na demanda de nutrientes para a planta por parte dos produtores rurais, devido a estes terem respostas na produção maiores do que em áreas não fertirrigadas (VILLAS BÔAS, 2001; CARRIJO et al., 1999).

Devido aos problemas ocasionados pelo excesso de fertilizantes aplicados nas plantas e à falta de orientação dos produtores rurais, devem ser propostas e incentivadas técnicas para que os produtores possam utilizar de maneira consciente o uso dos fertilizantes. A maneira mais utilizada para a realização da recomendação de adubação é através dos resultados de análise de solo e foliar. Porém, tais métodos apresentam alto custo e são demorados, desde a coleta das amostras até a obtenção de resultados. Portanto, há o interesse pela utilização de ferramentas que possibilitem a obtenção de informações mais rápidas sobre as condições de solo e estado nutricional das plantas, que possibilitem ajustes imediatos no manejo da adubação, de modo a aumentar a eficiência do uso dos nutrientes aplicados e evitar problemas relacionados com a acidificação e a salinização do substrato (solo, fibra de coco ou outro material).

Em função disto, se faz importante um monitoramento através de instrumentos que possam proporcionar informações necessárias para a adoção de medidas, que visem à determinação da quantidade de nutrientes a ser aplicadas na solução, bem como diagnósticos precisos sobre a reação da planta à demanda de nutrientes como também a questões da qualidade da água e seu uso na irrigação.

Algumas técnicas tem sido estudadas e utilizadas por alguns produtores, como as medidas de pH, condutividade elétrica, teor de nitrato e potássio da solução do solo, medida da intensidade da coloração verde das folhas e a determinação da concentração de nitrato e potássio na seiva. Alguns dos parâmetros a serem analisados são de fácil determinação através de aparelhos portáteis, podendo ser monitorados diariamente no campo, porém outros precisam de um suporte de laboratório especializado.

Tudo isso leva a crer que, alternativas de rápida assimilação pelo produtor devem ser desenvolvidas pela pesquisa para o manejo adequado da fertirrigação, aumentando a produtividade sem agredir tanto o meio ambiente. Além disso, devem ser

considerados os custos que envolvem tais técnicas para que, produtores com receitas menores, possam ser favorecidos.

2.4. A Solução do solo

A solução do solo é a fração líquida do solo, formada por uma solução aquosa de sais minerais e substâncias orgânicas, sendo os sais minerais de maior importância (REICHARDT, 1996). Devido à interação constante entre a fração sólida (reservatório de íons) e a fração líquida, regida por materiais de solubilidade e constantes de equilíbrio, a concentração da solução do solo torna-se complexa e difícil de ser descrita, podendo apenas ser obtido valores médios e aproximados da sua concentração. A presença de solutos confere à solução do solo o potencial osmótico (ψ_{os}) que expressa a diferença de potencial da água na solução em relação ao potencial da água pura (KLAR, 1984) conforme equação (1):

$$\psi_{os} = -RTC \quad (1)$$

Onde R é a constante dos gases (0,082 atm. L/°K.mol); T a temperatura absoluta (°K) e C é a atividade da solução (mol/L). O sinal negativo mostra que a energia da água na presença de solutos é menor do que a energia da água pura (REICHARDT, 1990).

O conceito da solução do solo e seu papel nas interrelações solo-planta-organismo remontam há mais de um século (ADAMS, 1971; ADAMS, 1974), devido ao fato de ser o principal transportador de água, nutrientes e de outros elementos, alguns tóxicos, para as raízes das plantas e para a biota do solo (ALEN, 1993; TAN, 1993). A definição dessas interrelações, em termos quantitativos, requer um conhecimento detalhado da química do solo e das leis que governam. Por isso, só a partir da utilização de critérios termodinâmicos principalmente o conceito de atividade, derivado do trabalho de Debye e Huckel apud Adams (1974), pode se validar, por experimentação, esses conhecimentos empíricos. Segundo Reichardt (1996) a solução do solo possui composição variável devido a uma série de processos dinâmicos entre as fases sólida e líquida do solo,

absorção de nutrientes pelas raízes e seu subsequente transporte para a parte aérea das plantas. Fried e Broeshard (1967) apud Reichardt (1996) resumiram estes processos por uma equação geral da forma:

$$M(\text{sólido}) \Leftrightarrow M(\text{solução}) \Leftrightarrow M(\text{raiz}) \Leftrightarrow M(\text{parte aérea}) \quad (2)$$

Onde M representa um nutriente qualquer como Ca, P, N ou K; M (sólido) representa o nutriente na fase sólida (cristalina, precipitado, amorfo, matéria orgânica, etc.) ou absorvido à fase sólida e M (solução) o nutriente que se encontra na fase líquida imediatamente disponível às plantas, como Ca^{2+} , H_2PO_4^- , NH_4^+ , NO_3^- ou K^+ ; M (raiz) e M(parte aérea) representam o nutriente absorvido pela raiz e translocado pela planta aos caules e folhas, respectivamente.

Dentre alguns fatores a serem citados sobre a solução do solo, a solubilidade dos sais merece atenção, pois quanto maior for a concentração salina da solução do solo, maior será seu efeito sobre as plantas. Segundo Ferreira (1997) os fatores que afetam a solubilidade da solução do solo são: o efeito salino devido ao aumento da solubilidade de um sólido com o aumento da concentração eletrolítica, cujos íons não são comuns aos do sólido precipitado. O efeito do íon comum devido à diminuição da solubilidade pelo aumento da concentração de um eletrólito, cujos íons são comuns aos do sólido precipitado.

A condutividade elétrica (CE) que é caracterizada como uma medida da concentração total de sais na solução do solo é uma propriedade importante para o conhecimento da salinidade de uma solução, sendo uma medida unicamente dos solutos (íons), carregados da solução do solo, amplamente usada na determinação do extrato de saturação do solo (CEes) que geralmente é tomado como índice de salinidade. O valor de CE aumenta à medida que o solo perde umidade, isto é, sua solução concentra-se, por isso, para determinação do efeito da salinidade sobre as plantas é necessário obtê-la na faixa de umidade do solo na qual a planta se encontra (FERREIRA, 1997). Na literatura existem diversos trabalhos sobre a movimentação e concentração dos íons na solução do solo baseados na condutividade elétrica (ANDRADE NETO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2011) ou sendo concentrados apenas na movimentação de um determinado nutriente no

composto da solução do solo (RIVERA et al., 2006; RIVERA et al., 2008) ou até mesmo, no transporte do soluto como um todo (BORGES e FERREIRA, 2004), utilizando para tanto, cálculos diferenciais que descrevem estes movimentos.

O conhecimento da composição química da solução do solo, bem como da condutividade elétrica é importante para verificar a disponibilidade de nutrientes, determinar o potencial osmótico e até a presença de íons tóxicos, ao longo do ciclo de uma cultura (SILVA et al., 2000). Por isso, o monitoramento da solução do solo deve ser feito várias vezes durante o ciclo da cultura para evitar problemas de salinização do solo e não comprometer a produção da cultura. Na literatura, encontram-se trabalhos nos quais o monitoramento da solução do solo é realizado para determinar a condutividade elétrica do solo. Silva et al. (2000) perceberam que a condutividade elétrica e a concentração de potássio na solução do solo pode ser monitorada com razoável precisão através de extratores com cápsulas porosas. Dias (2004), em estudos com melão rendilhado, utilizou esta técnica para o monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

Além de extratores com cápsulas porosas existem diversas outras técnicas para a retirada da solução do solo. Algumas destas técnicas são apresentadas por Wolt (1994), dentre elas a centrifugação, deslocamento em coluna, extração em membrana sob pressão, extrato de saturação, extratos aquosos e métodos lisimétricos. Segundo este autor o desafio de tais métodos é comprovar que a solução obtida é uma representação fiel da solução antes de sua extração. Segundo Blanco (2011), a obtenção de uma amostra de solução que seja uma representação fiel da solução em seu estado natural não depende apenas do método utilizado para sua obtenção, depende também das alterações promovidas no processo como um todo. Com base no exposto, qualquer que seja o método utilizado, provavelmente haverá um erro envolvido na concentração iônica determinada na solução do solo devido a sua complexidade.

A solução do solo tem grande importância na fertirrigação, devido a sua utilização no monitoramento da CE através de sua extração, facilitando o controle dos níveis de fertilizantes durante o cultivo, com auxílio de extratores com cápsulas porosas ou os demais métodos utilizados para medição da CE.

2.5 A cultura da beterraba

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) pertence à família Quenopodiácea, sendo originária das regiões de clima temperado da Europa e do Norte da África. Apresenta raiz tuberosa de formato globular que se desenvolve quase à superfície do solo, com sabor acentuadamente doce e coloração púrpura. Pode ser utilizada para cultivo em olericultura ou como forrageira ou açucareira, esses últimos predominantes na Europa e Ásia (DADKHAH, A. 2011, HASSANLI et al., 2010, CHEN; JIANG 2010). No Brasil, segundo Filgueira (2003), a estimativa de área plantada com beterraba está em torno de 10.000 hectares, com produtividade média oscilando entre 20,0 e 35,0 t ha⁻¹, cultivando-se apenas a beterraba para mesa, sendo a cultivar Early Wonder a mais plantada no país, e a cultivar Itapuã202 de origem nacional desenvolvida no Rio Grande do Sul a que se adapta melhor as condições de calor.

De acordo com Filgueira (2003), o outono-inverno é o período mais adequado para o plantio, podendo no entanto, ser cultivada durante todo ano nas regiões de maior altitude. O melhor desenvolvimento ocorre na faixa dos 15° a 19° e 20° a 25°C. Na cultura de verão as cotações são superiores, mas o risco é maior pela incidência de doenças. No Brasil, de um modo geral, a época de plantio nas regiões Sul e Sudeste pode se estender por todo ano e no Nordeste e Centro-Oeste no período de abril a agosto.

O solo ideal para o cultivo da beterraba é o de textura média, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes. Segundo Oliveira Neto (2009), para se obter maior produtividade é necessário o uso de insumos que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo, o que pode ser obtido com a utilização de doses de compostos orgânicos. Deve-se ressaltar que, a adição de compostos orgânicos, assim como o uso de fertilizantes, deverá ser sempre alterada de acordo com a fertilidade do solo, para que não ultrapassem os valores limites toleráveis pela cultura (MURAYAMA, 1983).

No Brasil, problemas com excesso de fertilizantes e águas salinas podem elevar a salinidade dos solos fazendo com que o rendimento das culturas de baixa tolerância ao excesso de sais tenha uma queda drástica em sua produção. Por isso o uso de

culturas tolerantes é uma alternativa para regiões com este problema. A beterraba se apresenta como opção, devido a sua adaptação ao excesso de sais no solo, produzindo rendimentos economicamente aceitáveis mesmo quando não se pode manter a salinidade do solo no nível de tolerância das plantas mais sensíveis.

Quanto à tolerância à salinidade, a beterraba de mesa (hortícola) é classificada como moderadamente tolerante e a beterraba açucareira como tolerante (AYERS e WESTCOT, 1991), porém, existem alguns pontos que devem ser estudados de forma a obter conclusões mais aprofundadas sobre a tolerância desta cultura a salinidade, um deles seria o método de plantio, pois segundo Farkhonder et al. (2012), em estudos sobre o efeito do estresse salino nas relações hídricas de duas cultivares de beterraba açucareira, esta cultura é muito sensível a salinidade, particularmente durante a germinação quando a planta é mais vulnerável ao estresse salino. Segundo Ferreira et al. (2006) em estudos com salinidade da água em cultivo de beterraba, a elevação de sais no ambiente não afetou significativamente a produção da beterraba, mesmo tendo a salinidade do perfil do solo aumentado consideravelmente. Resende e Cordeiro (2007), trabalhando com uso de água salina em cultivo de beterraba, observaram uma queda na produção a partir de 4 dS m^{-1} provando a semi tolerância da cultura ao excesso de sais. Também se deve levar em consideração o sistema de irrigação adotado, para avaliação da tolerância da cultura ao excesso de sais, pois estes podem apresentar eficiências diferentes na aplicação de água e rendimento da cultura da beterraba. Hassanli et al. (2010) comparando a eficiência dos sistemas de irrigação por gotejamento (superfície e subsuperfície) e de sulco no uso de diferentes qualidades de água no cultivo da beterraba, observaram que águas com condutividade elétrica até os valores de $1,25 \text{ dS m}^{-1}$, tiveram maior rendimento para o sistema de irrigação por gotejamento (superfície), enquanto a irrigação por sulco proporcionou os menores valores na produção da raiz com o uso de água com CE de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Dentre do que foi apresentado, entende-se que a beterraba, por apresentar certa tolerância à salinidade pode se tornar uma opção para cultivos em solos com tal problema. Podendo gerar renda ao produtor rural, em um solo considerado impróprio para as demais olerícolas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

O trabalho experimental foi desenvolvido no município de Botucatu-SP, nas coordenadas geográficas de 22°51' de latitude Sul e 48° 26' de longitude Oeste e 786 metros de altitude no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é definido como Cwa: clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2009).

3.2 Experimento I

A primeira etapa do experimento consistiu na realização de testes iniciais, os quais permitiram caracterizar o solo quanto às suas propriedades físico-hídricas e químicas, sendo o material de solo estudado utilizado posteriormente no decorrer da pesquisa (experimento II). Nos testes iniciais realizados no solo, foram construídas curvas artificiais de salinização do solo, visando conhecer o processo de salinização para os níveis

iniciais necessários para a realização do segundo experimento, como metodologia proposta por Silva (2002). Foram feitos também testes rápidos comparando diferentes metodologias de determinação da condutividade elétrica do solo com a metodologia padrão (pasta saturada).

3.2.1 Extração dos materiais de solo utilizados

Foi usado material de solo coletado no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu-SP, em um perfil classificado como Latossolo Vermelho Amarelo. O material foi extraído de uma camada de solo limitada entre a superfície e a profundidade de 30 cm no perfil. Para extração do solo foi utilizado uma retro-escavadeira e, após a extração, o solo foi passado em peneira de 2 mm e acondicionado e isolado em lona plástica por um período de 2 meses a fim de obter o mínimo de umidade possível. O volume total foi de 4 m³, suficiente para realização de todos os trabalhos experimentais relativos à pesquisa.

3.2.2 Caracterização físico-hídrica dos materiais de solo

No Laboratório de Dinâmica dos Solos do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, foram determinadas as características físicas do solo (Tabela 2) como: granulometria, conforme metodologia proposta por Bouyoucus (1951); densidade de partículas, determinada pelo método do picnômetro e densidade global, determinada pelo método da proveta, conforme metodologia da EMBRAPA (1997). O solo utilizado segundo a classificação da USDA apresenta classe textural argilosa. A análise química do solo (Tabela 3) foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Hídricos da UNESP.

Tabela 2. Granulometria e parâmetros físicos e hídricos do solo

Granulometria			Parâmetros físico-hídricos				
Areia	Silte	Argila	dg	ds	P	Cc	PMP
(%)	(%)	(%)	(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	(%)	(g g ⁻¹)	(g g ⁻¹)
39,55	13,81	46,64	2,77	1,28	53,9	0,28	0,14

dg- densidade das partículas; ds - densidade do solo; P - porosidade total; Cc -capacidade de campo; PMP - ponto de murcha permanente

Tabela 3. Propriedades químicas determinadas antes da salinização do solos

pH	CE	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
CaCl ₂	dSm ⁻¹	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			(%)
5,1	0,32	11	6	0,6	22	7	26	29	55	53

M.O = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H+Al = acidez potencial; SB = sOma de bases; CTC = complexo de troca catiônica; V (%) = saturação por bases

3.2.3 Construção das curvas de salinização

A salinização do solo foi realizada em vasos de 14 litros, tendo em sua base uma camada de envelope de 2cm (manta sintética + brita). Elevou-se a umidade do solo à sua máxima capacidade de retenção, na água aplicada foram adicionados os sais fertilizantes, obtendo assim a salinização do solo com valores de condutividade elétrica do extrato de saturação almejados (1,0 ; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 dS m⁻¹), com 4 repetições visando a realização do segundo experimento. A proporção de sais, bem como os tipos de sais aplicados foram baseados nas recomendações de adubação de Furlani (1998) para soluções nutritivas em hortaliças. As quantidades de sais adicionados foram estimadas pela equação 3, apresentada por Richards (1954):

$$Q_s = CEes \cdot 640 \cdot V_s \quad (3)$$

Em que:

QS = quantidade de sais aplicados, mg por vaso;

CEes = condutividade elétrica requerida no extrato de saturação do solo, dS m^{-1} .

Vs = volume de água presente no solo saturado, L por vaso;

Dois dias após a adição das diversas soluções salinas foram retiradas amostras de solo dos vasos na camada de 0 a 20 cm. A partir destas amostras determinou-se a condutividade elétrica do extrato de saturação real (CEes) correspondente aos valores encontrados no solo. A pasta saturada para determinação de CEes foi preparada utilizando-se 250 g de solo seco ao ar e adicionando-se água destilada até o ponto de saturação (em forma de pasta apresentando certo brilho); durante este procedimento, mediu-se o volume de água destilada utilizada para calcular a umidade de saturação, corrigindo o teor de água ainda presente no solo. As pastas foram colocadas em repouso por um período de 20 h e em seguida, retirou-se por meio de sucção a 80 kPa, a solução do solo, na qual foi medida a condutividade elétrica. Comparou-se a salinidade determinada com a desejada e quando necessário foi adicionada uma nova solução salina de ajuste para atingir o nível de salinidade desejado, construindo-se assim com a quantidade de sais totais aplicados a curva de salinização do solo, como feito por Silva (2002) e Dias (2004).

3.2.4. Testes iniciais dos extratores na determinação da salinidade do solo

Após a salinização dos solos foram feitas avaliações dos extratores de solução do solo na determinação da condutividade elétrica da solução do solo comparando os resultados obtidos por essa metodologia com os métodos usuais de determinação de salinidade do solo como realizado por Silva (2002). Os extratores eram providos de cápsulas de cerâmicas em sua extremidade inferior e borrachas especiais com vedação de silicone na extremidade superior (Figura 1). As cápsulas foram localizadas a uma profundidade de 15 cm da superfície do solo com seringas na extremidade superior para extração da solução. Foram coletadas amostras do extrator de solução aplicando-se uma tensão de 80 kPa com auxílio de uma bomba de vácuo.



Figura 1. Extrator com cápsula porosa utilizado no experimento

Foram também analisadas a CE pelo método da solução 1:2 (solo seco ao ar: água destilada) em que foram pesados 50 g de solo seco, proveniente dos vasos, aos quais foram adicionados 100 g de água destilada (descontando a umidade existente no solo). Após agitação por um período de 15 minutos, a suspensão foi colocada em repouso por 2 h e determinou-se a CE 1:2 no sobrenadante como feito por Silva (2002). O método da solução 1:2 e do extrator de solução foram comparados com o método-padrão da pasta saturada, por intermédio de análise de regressão. Visando-se analisar o efeito da interferência dos diversos níveis de umidade, correspondente a cada um dos métodos, sobre os valores de condutividade elétrica, foram realizadas correções em relação à umidade do método-padrão (CEes) ou seja, umidade de saturação, utilizando-se as umidades no momento de retirada da solução do solo através de tensiômetro para o extrator de cápsula porosa e a umidade correspondente ao método 1:2; pelo método gravimétrico, para tal, foram empregadas as equações 4 e 5, respectivamente como feito por Silva (2002):

$$CE_{es_{estimada}}^{scp} = \frac{CE_{scp} \cdot U_{scp}}{U_s} \quad (4)$$

$$CE_{es_{estimada}}^{1:2} = \frac{CE_{1:2} \cdot U_{1:2}}{U_s} \quad (5)$$

Em que:

$CE_{\text{estimada scp}}$ = Condutividade elétrica do extrato de saturação estimada a partir da condutividade elétrica da solução do solo obtida com extratores com cápsula porosa, sendo corrigida para a umidade da pasta saturada, dS m^{-1} ;

CE_{scp} = Condutividade elétrica obtida pelo extrator com cápsula porosa, dS m^{-1} ;

U_{scp} = Umidade do solo medida no momento da retirada da solução do solo pela cápsula porosa, g g^{-1} ;

U_{s} = Umidade do solo na pasta saturada, g g^{-1} ;

$CE_{\text{estimada 1:2}}$ = Condutividade elétrica do extrato de saturação estimada a partir da condutividade elétrica da solução diluída 1:2, sendo corrigida para umidade da pasta saturada, dS m^{-1} ;

$CE_{1:2}$ = condutividade elétrica na solução diluída 1:2, dS m^{-1} ;

$U_{1:2}$ = umidade do solo para a solução diluída 1:2, ou seja, 2 gramas de água por 1 grama de solo, g g^{-1} .

Para comparar os métodos de determinação da condutividade elétrica na solução do solo, utilizou-se o método estatístico preconizado por Willmot (1981) e apresentado por Silva et al. (2012a), sendo representado simbolicamente pelo termo Id.

3.3 Experimento II

3.3.1. Estrutura experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em arco apresentando 7,0 m de largura e 26,0 m de comprimento com cobertura em manta de polietileno de baixa densidade, localizada geograficamente no sentido Nordeste-Sudeste. A estrutura experimental foi provida de energia e de abastecimento de água (Figura 2A) próprios, além de janelas frontais (Figura 2B) para reduzir a temperatura em dias quentes, visto que a cultura se estabelece bem em temperaturas abaixo de 24°C (FILGUEIRA, 2003).

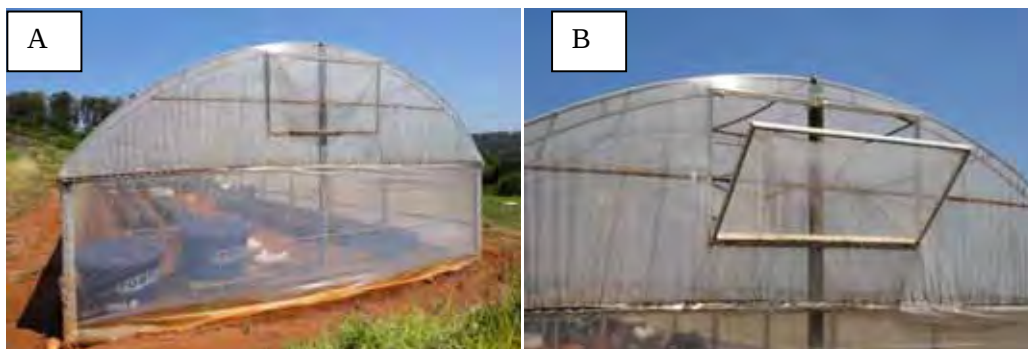


Figura 2. Casa de vegetação (A) e detalhe da janela aberta do ambiente protegido (B)

3.3.2 Tratamento e delineamento experimental

Os tratamentos foram compostos em um esquema fatorial triplo (5x2x2) com: níveis de salinidade inicial do solo ($S_1 = 1$, $S_3 = 3$, $S_6 = 6$, $S_9 = 9$, $S_{12} = 12$ dS m^{-1}); cultivares ($C_1 = \text{Early Wonder}$; $C_2 = \text{Itapuã202}$) e manejos de fertirrigação ($M_1 = \text{tradicional}$ e $M_2 = \text{Com controle da concentração iônica da solução do solo}$). O delineamento estatístico adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, resultando em 80 parcelas experimentais, ou seja 80 vasos de 14 L, dispostos conforme a Figura 3.

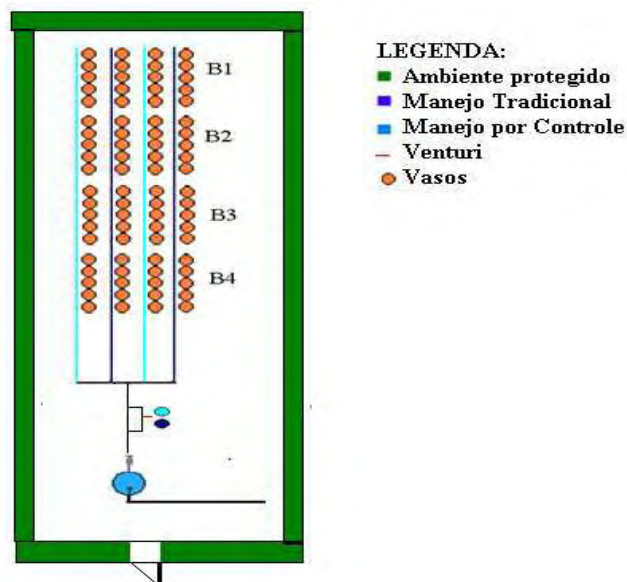


Figura 3. Croqui da área experimental.

Os diversos níveis de salinidade inicial do solo (S1, S3, S6, S9, S12), assim como feito por Silva (2002) e Dias (2004), simulam diversos estágios de salinização do solo, possivelmente encontrados quando detectado o problema por parte dos agricultores que aplicaram de forma inadequada e excessiva os fertilizantes via fertirrigação. A salinização artificial do solo visa verificar os efeitos do estresse salino na redução das variáveis de rendimento e crescimento da cultura implantada.

A aplicação dos fertilizantes foi realizada via água de irrigação, sendo o manejo diferenciado para os tratamentos M1 e M2; para o tratamento M1, utilizou-se a marcha de absorção de nutrientes pela cultura, realizada por Grangeiro et al. (2007), sendo que, a frequência da fertirrigação para este tratamento seguiu a mesma frequência da irrigação. Para o tratamento M2 empregou-se inicialmente a mesma recomendação do manejo M1 porém a partir de 10 dias após o transplântio (DAT) não foi preestabelecida a frequência nem a proporção dos fertilizantes utilizados neste manejo. A fertirrigação só era realizada quando a condutividade elétrica na solução do solo estava em média 20% abaixo dos níveis iniciais de salinização do solo para cada tratamento, sendo esta cessada quando a condutividade se encontrava em média 20% acima dos mesmos níveis iniciais, portanto, a concentração iônica total da solução do solo controlou o manejo da fertirrigação, tal metodologia foi utilizada por Silva (2000) e Dias et al. (2006).

A cultura estudada foi a beterraba com duas variedades: Early Wonder (C1), utilizada em todo o país, e a cultivar Itapuã202 (C2), como cultivar local. A cultura segundo alguns estudos apresenta tolerância a níveis de salinidade em torno de 4 dS m⁻¹, por isso foi escolhida para o experimento, com intuito de ser uma opção para cultivo em solos salinizados devido a problema de fertilizantes.

3.3.3 Condução do experimento

3.3.3.1 Acondicionamento e salinização do solo

O solo foi peneirado em malha de 2 mm e armazenado em tulha, foi realizada calagem com calcário dolomítico (PRNT=84%), elevando a saturação de bases a 80% conforme recomendações de Trani et al. (1998). O solo foi acondicionado, em vasos de 14 L, de formato cilíndrico com 30 cm de diâmetro e 33 cm de altura. Os vasos foram perfurados e providos de um sistema de drenagem em sua parte inferior com 3 cm de brita nº1 e manta poliéster.

A salinização do solo se deu conforme realizado no Experimento I, através de aplicação da solução salina e elevação da umidade do solo até a capacidade de campo, sendo as quantidades de sais determinadas através da curva de salinização, realizadas durante o primeiro experimento. Foram retiradas amostras dos vasos para aferir a condutividade elétrica da solução do solo e adicionadas, quando necessário, uma solução de correção para alcançar os níveis desejados de sais em cada parcela.

3.3.3.2 Transplântio e condução das plantas

O transplântio foi realizado no dia 28/11/2011, 30 dias após a semeadura, colocando-se duas mudas por vaso, sendo elas uniformes com 9 cm de altura e quatro pares de folhas. As mudas foram adquiridas de produtor especializado no preparo de mudas. As mudas tiveram 100% de pegamento, sendo feito o desbaste aos 8 dias após o transplântio (DAT) deixando uma planta por parcela. Até os 10 DAT a irrigação foi suficiente apenas para promover o pegamento, não sendo realizados eventos de fertirrigação. O espaçamento entre os vasos foi de 0,5m entre plantas e 1,0m entre fileiras, sendo esta última distância adotada para facilitar o manejo da cultura.

3.3.3.3 Manejo da irrigação

Foi adotado um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando um emissor com vazão de $2,5 \text{ L h}^{-1}$ por planta. Para eventos de fertirrigação foi utilizado um injetor do tipo Venturi de $\frac{3}{4}$ " (Figura 4A), com dois registros (entrada e saída) para controle do mesmo (Figura 4B). As fitas gotejadoras possuíam um registro de controle cada, para controlar as soluções nutritivas quando necessárias para cada tratamento (M1 e M2).

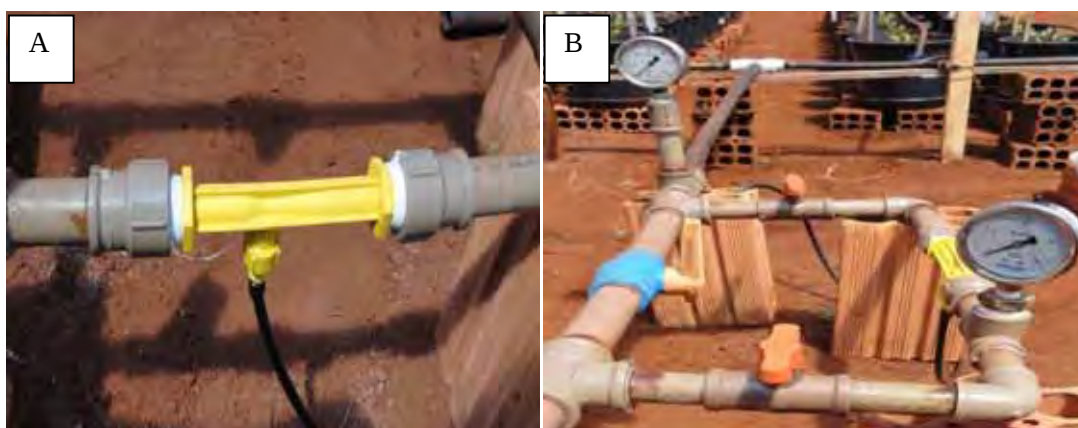


Figura 4. Componentes hidráulicos do sistema de irrigação: Venturi (A), manômetros e registros manuais para fertirrigação utilizados no sistema (B).

O manejo da irrigação foi baseado em dados de umidade do solo coletados diariamente através de tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, empregando-se a curva características de retenção de água no solo (Figura 5), construída antes da instalação do experimento, relacionando a umidade gravimétrica do solo, medida através da pesagem de seis vasos (após passar por saturação e vedação e deixados em repouso por 24 horas) com as medidas de tensão de água no solo, através de tensiômetros de punção. A estimativa da umidade de massa, por meio da curva de regressão exponencial simples, apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9125.

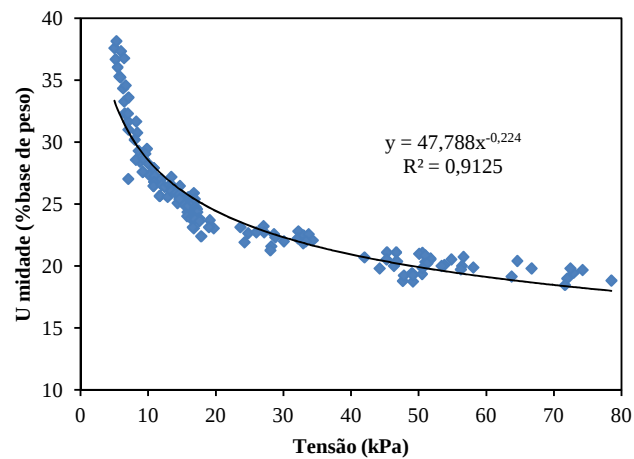


Figura 5. Curva característica de retenção da água no solo

O momento do evento de irrigação foi dado quando a média das leituras dos tensiômetros de todos os vasos atingia 25 KPa sendo a quantidade de água aplicada suficiente para elevar a umidade até a capacidade de campo conforme equação 6, (MANTOVANI et al., 2009). O volume de água aplicado foi calculado a partir da curva característica de retenção de água do solo e das médias das leituras tensiométricas de todos os tratamentos.

$$IRN_{Loc} = \left(\frac{Cc - Ua}{10} \right) \cdot dg \cdot Z \cdot \frac{PAM}{100} \quad (6)$$

Em que:

IRN_{Loc} = Irrigação real necessária para irrigação localizada (mm);

Cc = Umidade na capacidade de campo ($g\ g^{-1}$);

Ua = Umidade atual no solo ($g\ g^{-1}$);

dg = densidade do solo ($g\ cm^{-3}$);

Z = profundidade do sistema radicular (cm);

PAM = porcentagem de área molhada estimada pela área total do vaso (m^2).

Antes da realização do experimento foram feitas avaliações no sistema de irrigação, através do método proposto por Denículi (2001) apud Mantovani et al. (2009), em que a forma de cálculo dos dados coletados, foram o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) contidos em Bernardo et al. (2006). A eficiência do sistema de irrigação foi realizada conforme equação (7):

$$Ea = \frac{L_L}{L_b} \cdot 100 \quad (7)$$

Em que:

Ea = Eficiência de aplicação (%);

L_L = Lâmina líquida de irrigação (mm);

L_b = Lâmina bruta (mm).

O sistema instalado apresentou o valor de 96,2% para o coeficiente de Christiansen (CUC) e 92,1% para o coeficiente de distribuição (CUD), enquanto para a eficiência de aplicação do sistema (Ea) o valor médio para as linhas gotejadoras foi de 98,2%, o alto valor apresentado para a Ea deve-se devido às linhas de irrigação possuir gotejador autocompensado.

3.3.3.4 Adubação

A aplicação dos fertilizantes foi realizada via água de irrigação, sendo o manejo diferenciado para os tratamentos M1 e M2. Os fertilizantes utilizados foram baseados nas recomendações proposta por Furlani (1998) para hortaliças conforme Tabela 4, sendo estes alterados de acordo com estágio fenológico e a exigência nutricional da cultura ao longo do ciclo, baseando-se nos resultados obtidos por Grangeiro et al. (2007).

Para o tratamento M2 inicialmente, utilizou-se as concentrações de fertilizantes adotadas em M1. Com o monitoramento da solução do solo extraída a cada evento de fertirrigação (6 horas depois), eram realizadas análises destas soluções e

quantificados os valores de cada nutriente, a partir dos valores de nutrientes contidos, a adubação era modificada, baseada na concentração iônica presente na solução do solo, tentando manter assim, a concentração inicial dos nutrientes em cada tratamento. Quando não era necessária a aplicação dos fertilizantes, os eventos de irrigação foram controlados apenas com água.

Os fertilizantes aplicados foram previamente dissolvidos em soluções estoque, ou seja, em concentrações elevadas. De acordo com o programado para o tratamento M1 ou conforme o necessário para o tratamento M2, os volumes destas soluções foram diluídas em recipientes correspondentes para cada tratamento para a injeção via Venturi.

Tabela 4. Concentração de nutrientes e quantidades de fertilizantes para o preparo de 1 m³ de solução nutritiva para o cultivo de hortaliças (FURLANI, 1998)

Fertilizante	q*	NH ₄	NO ₃	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
-----g m ⁻³ -----														
Nitrato de cálcio	750	7,5	108,75			142,5								
Nitrato de potássio	500		65		182,5									
Fosfato monoamônico	150	16,5		39										
Sulfato de magnésio	400						40	52						
Sulfato de cobre	3,0									0,02				
Sulfato de zinco	10													0,07
Sulfato de manganês	30											0,39		
Ácido bórico	30								0,31					
Molibdato de sódio	3												0,06	
Fe-EDTA -13% Fe	16										2,08			
Recomendações		24	173,7	39	182,5	142	40	52	0,3	0,02	2,0	0,4	0,06	0,07

3.3.3.5 Extração da solução do solo

A solução do solo foi obtida utilizando-se extratores com cápsulas porosas. Para tanto foi promovida uma tensão de 80 KPa por meio de uma bomba de vácuo. As cápsulas foram instaladas a uma profundidade de 15 cm da superfície do solo. A aplicação do vácuo aos extratores se deu 12 horas após a irrigação. Assim como feito por

Silva (2002), foi verificada a umidade do solo, por meio de tensiometria, sendo os extratores instalados opostamente aos tensiômetros a uma distancia de 10 cm da planta.

Durante o ciclo da cultura foram retiradas em três épocas, amostras de solo para a realização da análise da fertilidade no laboratório para caracterizar a evolução da concentração dos nutrientes no solo.

3.3.4 Variáveis relacionadas à cultura

3.3.4.1 Altura das plantas

As medições foram realizadas em intervalos de cinco dias, em todas as plantas, até o final do ciclo da cultura, com auxílio de uma trena graduada em centímetros, tomando como referência superior à folha mais alta e como referência inferior a superfície do solo.

3.3.4.2 Diâmetro do pecíolo

Foram realizadas medições no intervalo de cinco dias, em todas as plantas, até o final do ciclo em três folhas por planta, calculando-se a média das mesmas. As leituras foram realizadas com um paquímetro digital com escala de leitura em milímetros.

3.3.4.3 Número de folhas

O número de folhas foi contado no intervalo de 5 dias, em todas as plantas. As folhas em senescência foram desconsideradas.

3.3.4.4. Diâmetro e comprimento da raiz

O diâmetro e comprimento das raízes foram determinadas durante a colheita com auxílio de paquímetro digital em milímetros.

3.3.4.5 Massa de matéria fresca e seca da parte aérea e da raiz

As plantas foram cortadas, separando a parte aérea da raiz, e foi determinadas seu peso em balança de precisão (de 0,01g) durante a colheita. As plantas foram colocadas em sacos de papel. Após o período de um dia as plantas foram colocadas em estufa de secagem com circulação de ar uma temperatura de 80°C durante 48 horas e depois determinada a massa seca em balança de precisão de 0,0001g.

3.3.4.6 Área foliar

A área foliar foi realizada em intervalos de 5 dias, sendo determinada a partir da equação 8, em que, a área do limbo foliar foi calculada com base no comprimento (C) e na largura (L) do limbo, e um fator de forma “f” determinado pela análise de regressão simples entre a área de uma amostra de folhas e o produto de suas dimensões conforme Marrocos et al. (2010).

$$AF = f \times C \times L \quad (8)$$

Em que:

AF= área foliar (cm²);

f = fator calculado em cada tratamento;

C = Comprimento do limbo foliar (cm);

L =Largura do limbo foliar (cm).

3.3.5. Variáveis meteorológicas e estimativa do consumo hídrico

Foram medidas diariamente por intermédio de dados (Datalogger - CR10) as variáveis climáticas: a) temperatura (média, máxima e mínima); b) umidade relativa do ar (máxima, média e mínima); c) evaporação; d) radiação global, líquida e fotossinteticamente ativa (Figura 6). Com base nestes dados foi possível estimar a evapotranspiração de referência (ET_{oPM}) através da equação 9:

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273} \right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_o)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (9)$$

Em que:

ET_{oPM} = Evapotranspiração de referência por Penman-Monteith (mm dia⁻¹);

R_n = Saldo de irradiação (MJ m⁻² dia⁻¹);

G = densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação x temperatura (kPa °C⁻¹);

U₂ = Velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

T = temperatura do ar (°C);

e_s = Pressão de saturação de vapor (kPa);

e_o = Pressão real de vapor (kPa);

γ = constante psicrométrica (MJ kg⁻¹).

Também foi medida a evaporação por meio do Tanque Classe “A”, levando-se em consideração que o coeficiente do tanque (K_p) em casa-de-vegetação seja igual a 1 como feito por Allen et al. (1998). A equação é demonstrada a seguir:

$$ET_{oCLA} = EV \cdot K_p \quad (10)$$

Em que:

ET_{oCLA} = Evapotranspiração de referencia obtida pelo tanque classe “A” (mm dia⁻¹);

EV = Evaporação medida no tanque mm dia⁻¹;

Kp = Coeficiente do tanque classe A.

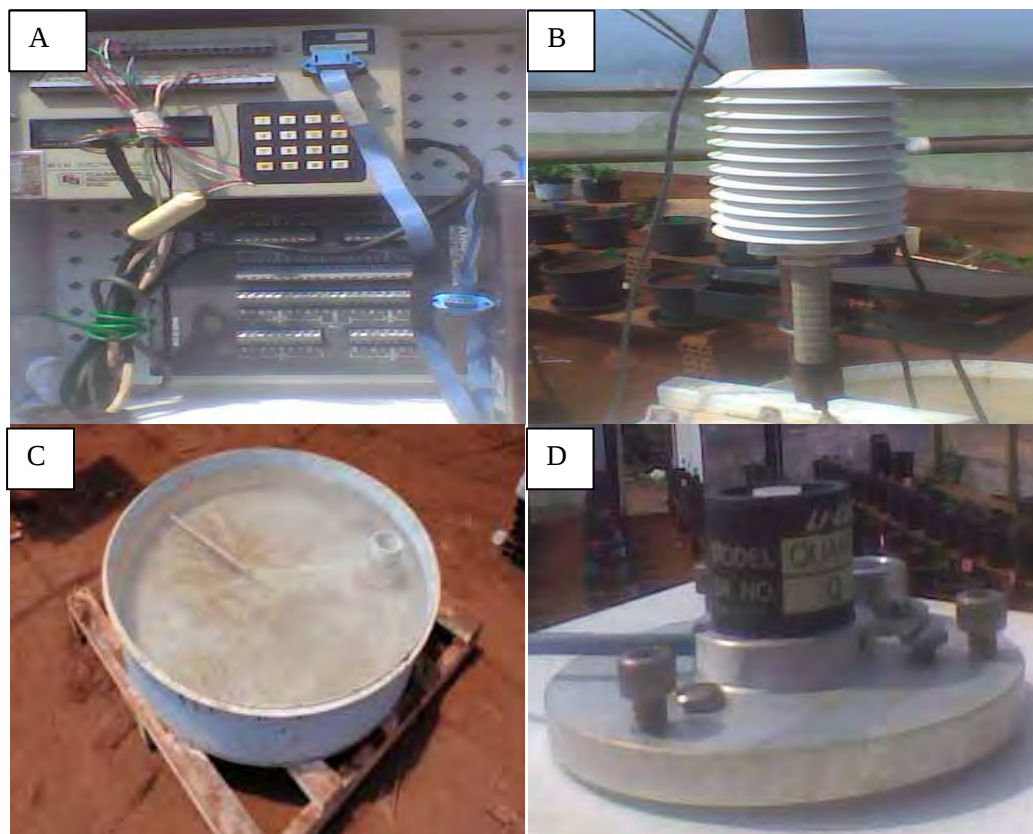


Figura 6. Instrumentos para medição das variáveis meteorológicas: A) Datalogger (CR10); B) Termo-higrômetro; C) Tanque classe “A”; D) Radiômetro de radiação líquida.

A evapotranspiração real da cultura (ETr) foi determinada a partir do balanço hídrico feito no vaso com auxílio dos tensiômetros instalados. Os componentes do balanço hídrico (LIBARDI, 2005) podem ser descritos conforme equação 11:

$$\Delta Arm = P + I \pm R + AC - DP - ETr \quad (11)$$

Em que:

ΔArm - é a variação de armazenamento do solo, (mm);

P - é a precipitação, (mm);

I - é a irrigação, (mm);

R - é o escoamento superficial ou Run Off, (mm);

AC- é a ascensão capilar, (mm);

DP - é a drenagem profunda, (mm);

ETr - é a evapotranspiração real da cultura, (mm).

Nas condições em que foi realizado o experimento, os termos ΔArm , P, R, AC e DP foram considerados nulos, por se tratar de culturas cultivadas em vasos e com irrigação frequente. Rearranjando os termos da equação 11, tem-se:

$$ETr = I \quad (12)$$

Nestes termos, se assumiu que o valor de ETr entre dois eventos de irrigação é igual à quantidade de água aplicada no solo no tratamento em questão, considerando- se ainda, que a umidade foi uniforme em todo o perfil da profundidade de instalação dos tensiômetros.

Para determinação do Kc da cultura da beterraba foi dividido o ciclo fenológico em quatro fases de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977): A primeira fase compreende a fase inicial com duração de 25 dias em que a cultura foi desenvolvida em bandeja; a segunda fase compreende a fase de crescimento com duração de 35 dias (I); a terceira fase compreende a fase intermediária com duração de 25 dias (II) e a fase final com duração de 20 dias (III).

O Kc foi calculado com base na razão entre a ETc (tratamento S1) e ETo conforme equação (13). Em função dos níveis crescentes de salinidade do solo (S3, S6, S9, S12) a evapotranspiração da cultura nos demais tratamentos foi denominada evapotranspiração real (ETr), visto que o incremento no acúmulo de sais como afirma

Silva et al. (2005), representa um decréscimo na evapotranspiração da cultura. Os coeficientes de cultura determinados envolvendo os valores de ETr foram corrigidos pelo coeficiente de salinidade (Ks) representado pela equação (14):

$$K_C = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (13)$$

$$K_S = \frac{ET_r}{ET_o \cdot K_C} \quad (14)$$

Os dados de Kc foram comparados com os valores encontrados por Doorenbos e Pruitt (1977) e por Oliveira Neto (2011) para cada fase fenológica da cultura estudada.

3.3.6. Variáveis fisiológicas da cultura

3.3.6.1 Teor relativo de água

O teor relativo de água (TRA) foi calculado retirando-se seis discos foliares com diâmetro aproximado de 10 mm cada um e imediatamente pesados (Pf) em balança com precisão (de 0,001g). Em seguida, foram colocados em frascos de vidro, completados com água destilada e levados à geladeira ($\pm 2^\circ\text{C}$). Após seis horas, as superfícies dos discos foliares foram secas em papel toalha e pesadas novamente (Pst). Após esta operação o material foi colocado em estufa com circulação forçada de ar (60°C) por 24 horas, obtendo-se assim o peso de matéria seca (Ps). A equação (15) mostra a fórmula proposta por Bars (1968) apud Klar (1984), para o cálculo do TRA.

$$TRA = \frac{P_f - P_s}{P_{st} - P_s} \cdot 100 \quad (15)$$

Em que:

TRA = Teor relativo de água (%);

P_f = peso fresco do disco foliar (g);

P_s = Peso seco do disco foliar (g);

P_{st} = Peso saturado do disco foliar (g).

3.3.6.2 Resistência difusiva ao vapor d'água, transpiração, temperatura da folha e radiação fotossinteticamente ativa

Foram medidas com auxílio de um porômetro da Licor modelo LI-1600, ao longo do dia em três ocasiões (final de cada fase fisiológica) e semanalmente com duas leituras em média, as seguintes variáveis: resistência difusiva ao vapor d'água (R_s), transpiração (T), temperatura da folha (T_f) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR). As leituras semanais foram feitas pela manhã e à tarde uma vez cada.

3.3.7 Variáveis relacionadas ao solo

3.3.7.1 Potencial mátrico

O potencial mátrico médio foi determinado durante o ciclo da cultura para a profundidade de 15 cm, monitorado a partir de tensiômetros. As leituras foram realizadas diariamente, sempre às 8:00h com auxílio de tensímetros eletrônicos de punção, como pode ser observado na Figura 7.



Figura 7. Leitura da tensão da água do solo por meio de tensiômetro com tensímetro eletrônico de punção

3.3.7.2 Condutividade elétrica, pH e concentração iônica na solução do solo

A condutividade elétrica da solução foi medida entre cada evento de irrigação, utilizando-se para extração, cápsulas porosas sobre vácuo e condutivímetro de bancada microprocessado. A condutividade elétrica da solução foi corrigida para as diferentes umidades do solo como feito no experimento I, através da umidade da pasta saturada obtida para cada vaso conforme equação 4. A concentração iônica foi feita utilizando testes rápidos para a medição de nitrato e potássio (SILVA et al. 2012b) para possibilitar a correção da adubação no tratamento M2.

3.3.8 Rendimento relativo

Avaliou-se a produção das raízes (Kg planta^{-1}), considerando apenas a raízes sem qualquer tipo de dano mecânico, manchas ou deformações. Também foi avaliado o rendimento da parte aérea da planta, pois segundo Lima (1997) é um dos principais indicadores de tolerância das plantas ao excesso de sais. A partir da equação 16, proposta por Maas e Hoffman (1977), foi possível calcular a salinidade limiar (SL) da cultura da beterraba.

$$Y = 100 - b(CEes - SL) \quad (16)$$

Em que:

Y = rendimento relativo (%);

CEes = Salinidade do extrato de saturação, dSm^{-1} ;

SL = Salinidade limiar da cultura, dSm^{-1} ;

b = Diminuição do rendimento relativo por aumento unitário de salinidade acima do valor SL, % (dS m^{-1}).

3.3.9 Análise foliar

No final do ciclo foi feita análise foliar das plantas para cada manejo da fertirrigação e cultivares estudadas, obtendo o teor dos macronutrientes: Nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. As análises foram feitas no laboratório de nutrição mineral de plantas da UNESP.

3.3.10 Evolução da salinidade a partir de amostras de solo

Foram realizadas avaliações da evolução da salinidade do solo no final do ciclo da cultura da beterraba, a partir de amostragem do solo. A determinação da salinidade do solo foi feita para as camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, aos 50 DAT. As amostras de solo em cada parcela experimental constituíram-se de cinco pontos espaçados em 5 cm (da esquerda para à direita) ao longo do vaso (Figura 8), posteriormente, foram determinadas a CEes pelo método da pasta saturada e a partir dos dados da CEes foram traçadas as curvas de evolução da salinidade. Como a distribuição dos sais para ambas as cultivares apresentou valores semelhantes, este estudo foi desenvolvido com a média dos respectivos tratamentos e manejos estudados, construindo-se isolinhas de salinidade com a finalidade de auxiliar na compreensão desses resultados.



Figura 8. Pontos de coleta das amostras de solo para determinar o perfil de distribuição de sais

3.3.11 Análises estatísticas

Para a realização da análise de variância inicialmente foram verificados: aditividade do modelo, normalidade e independência e homogeneidade da variância dos erros. As variáveis foram analisadas estatisticamente pelo teste F, desdobrando as análises sempre que a interação fosse significativa conforme Pimente-Gomes e Garcia (2002).

O fator quantitativo relativo aos níveis de salinidade do solo foi analisado estatisticamente por meio de regressão, enquanto que os fatores cultivar e manejo da fertirrigação (qualitativo), foram analisados por teste de comparação de médias (teste de Tukey) a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados dos testes iniciais (Experimento I)

4.1.1 Curva de salinização do solo

Na Figura 9 é apresentada a curva artificial de salinização do solo estudado. Tal estudo possibilitou estimar as quantidades de sais a serem adicionadas no solo com a finalidade de obter-se uma condutividade elétrica no extrato de saturação desejável e com boa precisão. Nota-se que o coeficiente de determinação (R^2) foi superior a 0,98. Silva (2002) em estudos com salinidade em pimentão também encontraram um coeficiente de determinação superior a 0,9. Com o resultado satisfatório foi possível continuar os estudos sobre a salinização artificial do solo.

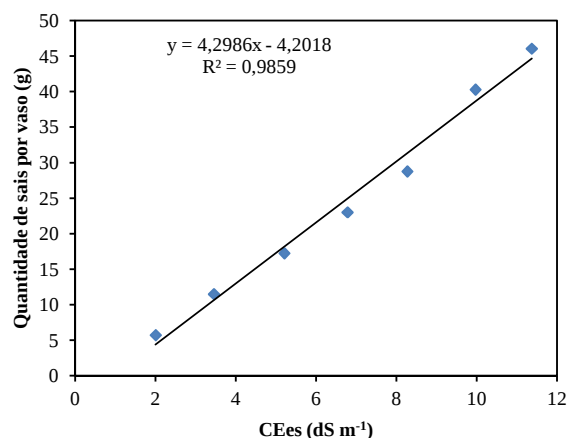


Figura 9. Curva de salinização artificial do solo

Na Figura 10 pode-se observar, por meio de um gráfico de dispersão, a relação entre a condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação, estimada por meio da equação (1) e a condutividade elétrica do extrato de saturação medida experimentalmente. Percebe-se uma fuga dos dados dispersos com relação à reta 1:1, superestimando os valores reais medidos, esse fato se deve possivelmente à adsorção de íons no complexo coloidal do solo, que consequentemente aumentou a concentração dessa solução e sua respectiva condutividade elétrica.

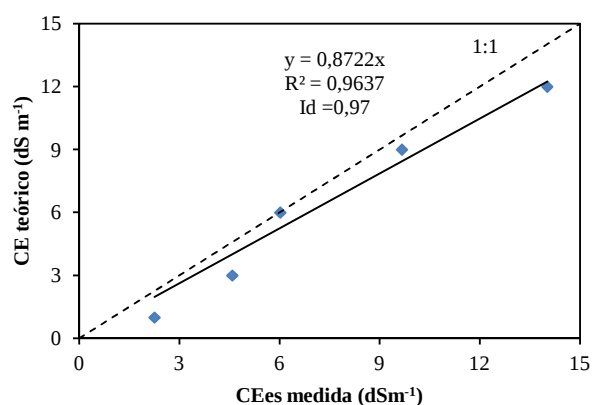


Figura 10. Relação entre a condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta de saturação do solo calculada teoricamente e medida experimentalmente

Na Tabela 5 é apresentado o resultado da análise das propriedades químicas do solo após o processo de salinização dos vasos a partir da equação (3). Nota-se que houve um aumento progressivo dos nutrientes conforme o aumento da condutividade elétrica do solo determinada pela pasta de saturação. Os valores dos nutrientes a partir do tratamento S6 foram maiores do que os indicados por Trani et al. (1997) para a cultura da beterraba.

Tabela 5. Propriedades químicas do solo determinadas após salinização

Trat.	CE dS m ⁻¹	pH CaCl ₂	M.O g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K -----	Ca -----	Mg -----	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB -----	CTC -----	V (%)
S1	0,53	5,5	25,3	22,6	1,5	44	13,8	25,6	59,3	84,9	70
S3	3,4	5,55	24	80	6	47	15	24	68	91	74
S6	6,34	5,5	22,8	132,6	6,9	55,9	14,9	26,6	77,7	104,4	74,5
S9	9,22	5,4	21,8	144,6	7,6	59,9	14,7	26,6	72,2	108,7	73,1
S12	12,3	5,5	21,9	154	16,5	71	19,3	25,6	106,8	132,4	80,6

M.O = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = complexo de troca catiônica; V (%) = saturação por bases

Na Figura 11 mostra-se o monitoramento da condutividade elétrica (CE) da solução do solo, amostrada ao longo dos dias após salinização dos vasos. Verificou-se que o processo de adsorção para os diferentes níveis de salinidade apresentaram características semelhantes, com decréscimo da salinidade ao longo dos três primeiros dias no valor de 0,3 dS m⁻¹, a partir do sexto dia, os valores de queda da CE foram de 0,2 dS m⁻¹, encontrando o equilíbrio osmótico no nono dia de salinização do sistema, entre o 12º e o 15º dia houve novamente queda da CE para todos os tratamentos, com valores de 0,2 dS m⁻¹, com excessão do tratamento S12, que apresentou queda de 0,8 dS m⁻¹. Segundo Silva (2002), o período de equilíbrio osmótico, é o ideal para dar início aos estudos de tolerância de determinada cultura a salinidade, sem mascarar os resultados, pois, a condutividade elétrica se encontra estável e promove resultados de maior precisão.

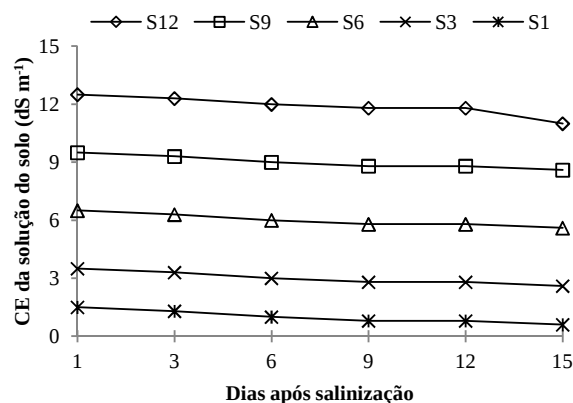


Figura 11. Condutividade elétrica ao longo dos dias estimada pela solução do solo extraída com o extrator de capsula porosa

Dessa forma, comparando com os resultados obtidos por Silva (2002) estudando a salinização artificial em dois tipos de solo (argiloso e arenoso), pode-se verificar as diferenças nos níveis de condutividade elétrica, ao longo dos dias, concluindo que são necessárias avaliações prévias para determinação de curvas de salinidade para cada solo, pois estes, apresentam variabilidade no material pedogênico, além das características físicas e químicas próprias que cada solo possui. Só a partir de tais estudos deve-se realizar pesquisas posteriores sobre tolerância das culturas à salinidade.

4.1.2 Testes preliminares dos extratores na determinação da salinidade do solo

Na Figura 12A, verifica-se que o método de estimativa da condutividade elétrica da solução diluída 1:2, apresentou boa correlação quando comparado com o método da condutividade elétrica do extrato de saturação. Os valores da CE 1:2 apresentados foram em média 76% menores que os encontrados pelo método padrão, o ajuste da análise de regressão foi linear crescente e apresentou um coeficiente de determinação de 0,92. Após a realização da correção da umidade para a solução diluída 1:2, houve uma aproximação dos valores de condutividade elétrica estimados, quando comparados com os valores encontrados pela condutividade elétrica do extrato de

saturação, apresentando coeficiente angular próximo á 1 e R^2 de 0,86 (Figura 12B), demonstrando um bom ajuste dos dados. O valor de Id de 0,98 indica uma leve dispersão dos dados em relação à reta 1:1, apresentando, portanto, satisfatório ajuste do método estudado.

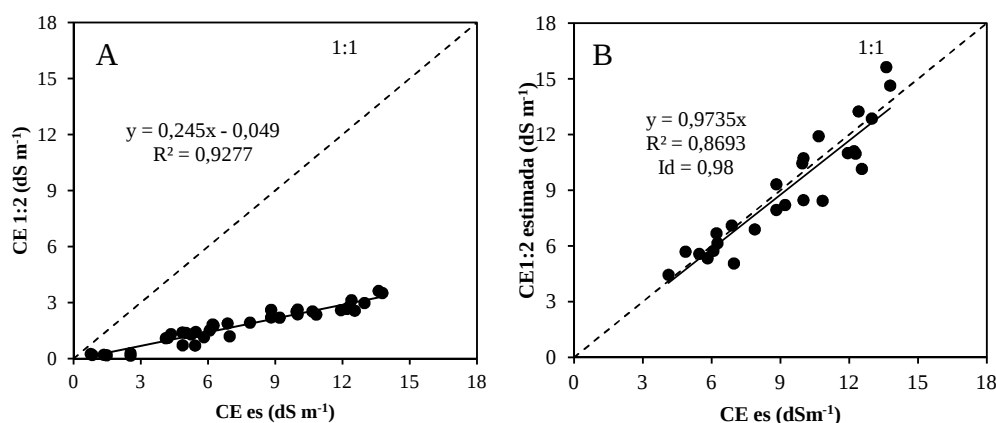


Figura 12. Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e condutividade elétrica da suspensão 1:2 (CE 1:2).

As leituras de condutividade elétrica da solução do solo, obtida com o extrator de cápsula porosa, correlacionadas ao método padrão, apresentaram um coeficiente de determinação de 0,82 obtendo-se em média valores de condutividade elétrica superiores aos do extrato de saturação em 38,58% (Figura 13A). Após a correção da umidade inerentes aos métodos, pode-se notar na Figura 13B que os valores da condutividade elétrica estimada, apresentou coeficiente de determinação no valor de 0,86 e coeficiente angular próximo a 1. O coeficiente de Willmott (1981) apresentou o valor de 0,91 indicando uma baixa dispersão dos dados com relação à reta 1:1 além de confiabilidade entre os métodos estudados com o ajuste da umidade.

Silva (2002), em estudos com diferentes métodos de determinações de CE, explica que a diferença entre os métodos estudados, principalmente da solução diluída 1:2, se deve pela solubilização do carbonato de cálcio aplicado para a correção da acidez no solo (como realizado neste experimento), sendo esta solubilização, responsável

por um incremento nos valores da condutividade elétrica entre 0,8 a 1,0 dS m⁻¹, por isto, os métodos que utilizam maiores aplicações de água seriam os mais afetados pela solubilização deste sal.

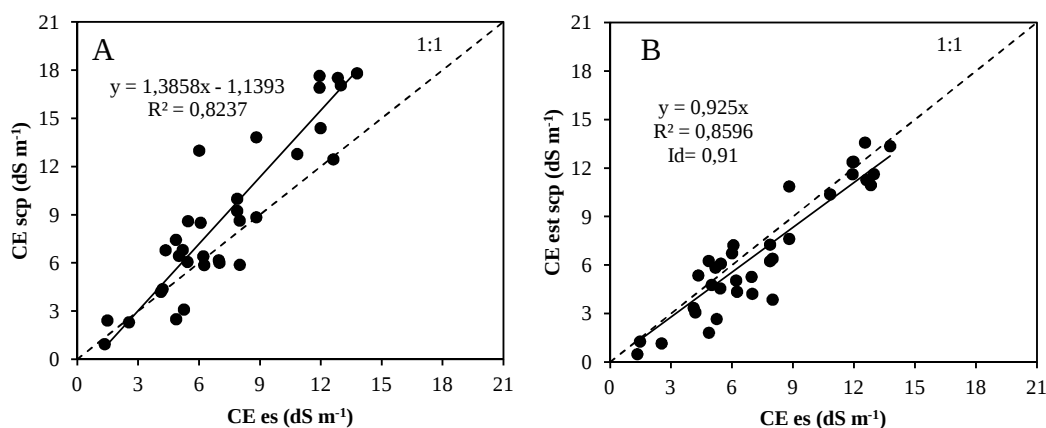


Figura 13. Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e condutividade elétrica da solução obtida com extrator de cápsula (CEscp) (A). Relação entre os valores de condutividade elétrica de saturação medida e estimada a partir da solução obtida pelos extratores de capsula porosa com correção em função da umidade (B)

Dentre os métodos propostos para a medição da condutividade elétrica, os extratores de cápsulas porosas tem a vantagem de extrair a solução do solo na umidade equivalente ao momento de absorção da solução nutritiva pelas plantas (SILVA et al., 2000), enquanto o método de suspensão 1:2 tem como inconveniente a diferença elevada entre o conteúdo relativo de água na solução diluída quando comparada ao solo em que se encontra a planta, ou até entre os diferentes tipos de solos (arenosos e argilosos) em que é praticada a agricultura pois, segundo Rhoades et al. (2000) apud Silva (2002) a diferença entre os valores de condutividade elétrica nos diferentes tipos de solos é elevada e dificulta uma avaliação precisa por este método.

Silva et al. (2000), em estudos sobre o monitoramento da condutividade elétrica através da utilização de extratores de cápsulas porosas, recomendam a utilização de tensiômetros para o conhecimento da umidade do solo no momento da extração da solução, pois o conhecimento deste valores, possibilita a correção da CE

através de uma umidade padrão, como por exemplo, o método do extrato de saturação. Dentre outras vantagens dos extratores com cápsulas porosas, cita-se a possibilidade de realizar correções na aplicação de fertilizantes através da fertirrigação, com auxílio de testes rápidos para os teores de nitrato e potássio na solução do solo (SILVA et al., 2012b), durante qualquer etapa do cultivo, evitando problemas de deficiência nutricional nas plantas.

4.2. Cultivo de beterraba e sua tolerância aos sais (Experimento II)

4.2.1. Aspectos químicos na solução do solo

Na Tabela 6 é apresentado o resultado da análise de variância para as características químicas do solo utilizado no ensaio. Observa-se que a salinidade do solo influenciou todas as concentrações de nutrientes no solo, enquanto o fator cultivar apenas apresentou efeito significativo na condutividade elétrica da solução do solo (CE-sol) e na concentração de magnésio (Mg). O fator manejo da fertirrigação apresentou diferenças significativas na concentração de todos os nutrientes apresentados, o que demonstra assim, a diferença de cada manejo na cultura da beterraba. Observa-se que para a maioria das variáveis, a interação dentre os fatores manejo e salinidade e manejo e cultivar, apresentaram diferenças significativas, dessa forma, foram desdobradas as análises de variância e realizadas análises de regressões em relação ao fator salinidade e para os fatores manejo da fertirrigação e cultivar foi aplicado o teste de média de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica e concentrações de macronutrientes médias ao longo do ciclo na solução do solo.

Causa da variação	Teste F						
	GL	CE-sol	P	K	Ca	Mg	pH
Blocos	3	0,136 ^{ns}	0,838 ^{ns}	0,764 ^{ns}	3,638 ^{ns}	1,207 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Salinidade (S)	4	204,858**	153,092**	54,515**	71,321**	78,87**	1,70 ^{ns}
Cultivar (C)	1	4,121*	0,857 ^{ns}	1,398 ^{ns}	2,521 ^{ns}	10,814**	1,31 ^{ns}
Manejo (M)	1	11,715**	328,637**	49,993**	13,077**	69,190**	0,63 ^{ns}
S x C	4	0,490 ^{ns}	2,328 ^{ns}	1,675 ^{ns}	2,200 ^{ns}	0,360 ^{ns}	0,32 ^{ns}
S x M	4	0,763 ^{ns}	5,313**	10,982**	8,565**	2,792*	1,35 ^{ns}
C x M	1	2,904 ^{ns}	139,999**	4,346*	13,723**	2,395 ^{ns}	0,07 ^{ns}
S x C x M	4	0,366 ^{ns}	4,358**	0,721 ^{ns}	0,503 ^{ns}	1,436 ^{ns}	0,67 ^{ns}
C. V (%)		12,02	8,75	14,49	9,03	13,09	2,85

** e *: significativo respectivamente a 1%, 5% para teste F.

ns: não significativo para teste F.

A Figura 14 apresenta a diferença entre as médias das cultivares analisadas pelo teste de Tukey a 5%. Percebe-se que a cultivar Early Wonder apresentou as maiores médias de CE-sol, com diferenças no tratamento S3 do manejo tradicional (Figura 14A) tal variação, possivelmente se deve pelo maior consumo de água e nutrientes pela cultivar Early Wonder em condições de temperaturas maiores que 23°C (FILGUEIRA, 2003) a qual foi submetida. Para a concentração de magnésio (Mg) no solo, houve diferenças entre as médias no manejo por controle no tratamento S1 (Figura 14D) possivelmente devido ao pH da solução do solo se encontrar numa faixa diferente para as cultivares, nos valores de 6,8 e 5,3 respectivamente, acarretando em uma maior disponibilidade do nutriente (SOUZA et al., 2007) para a cultivar Early Wonder no período da avaliação, tal efeito pode ser explicado pela frequência de aplicação de fertilizantes via fertirrigação elevando o pH do solo.

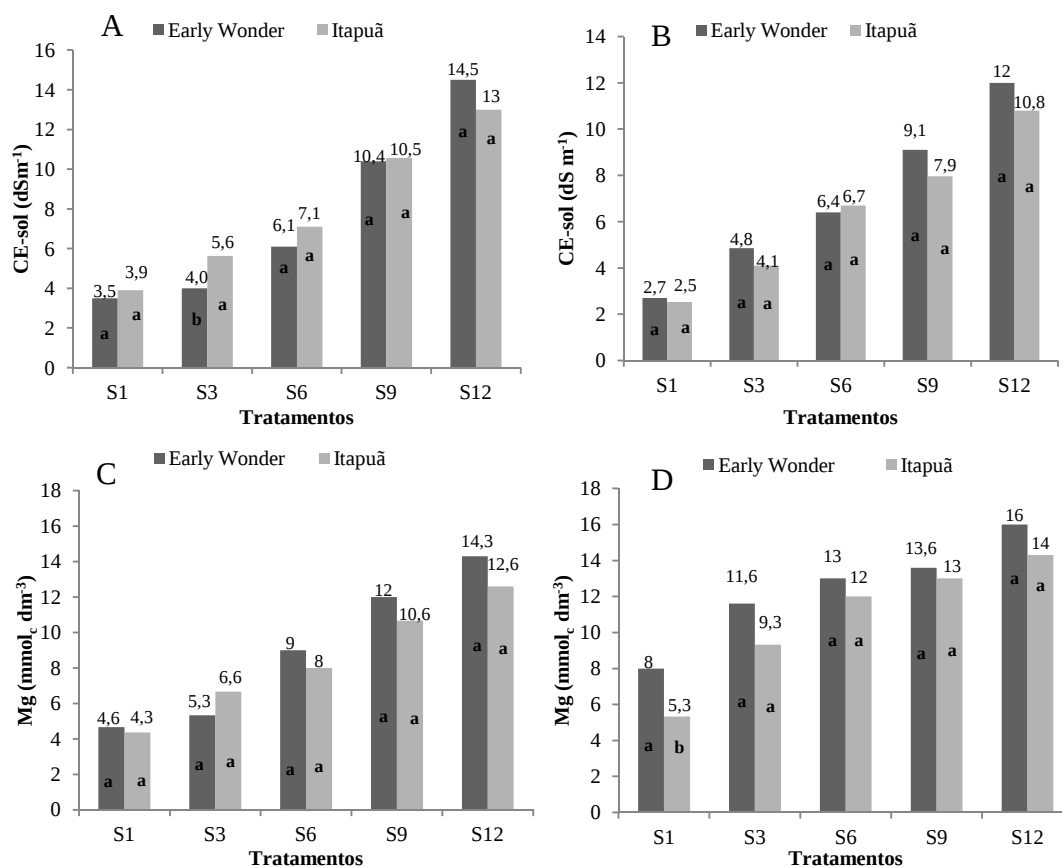


Figura 14. Comparação do teste de médias de Tukey a 5% para a CE-sol no manejo tradicional (A) e por Controle (B) e concentração de magnésio no manejo tradicional (C) e por controle (D).

A Tabela 7, apresenta a análise de variância para a cultivar Early Wonder. Houve diferenças significativas tanto para o fator salinidade como fator manejo para as variáveis fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Enquanto que para a interação dos fatores as variáveis potássio e magnésio apresentaram efeito significativo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica e concentrações de macronutrientes médias ao longo do ciclo na solução do solo para a cultivar Early Wonder.

Causa da variação	Teste F						
	GL	CE-sol	P	K	Ca	Mg	pH
Blocos	3	0,98 ^{ns}	0,772 ^{ns}	0,044 ^{ns}	2,327 ^{ns}	0,214 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Salinidade (S)	4	88,20**	81,72**	103,21**	117,8**	35,893**	1,07 ^{ns}
Manejo (M)	1	1,38 ^{ns}	609,46**	34,87**	88,9**	42,795**	0,56 ^{ns}
S x M	4	0,61 ^{ns}	0,42 ^{ns}	21,20**	18,13**	2,772 ^{ns}	0,76 ^{ns}
C.V (%)		7,59	7,59	8,46	4,86	13,22	2,85

**·: significativo a 1% de probabilidade para teste F.

^{ns}: não significativo pelo teste F.

A Figura 15 apresenta a dispersão dos dados para a cultivar Early Wonder e a equação de ajuste para os valores médios ao longo do ciclo para as variáveis condutividade elétrica, fósforo, potássio, magnésio e cálcio. Tanto para a condutividade elétrica na solução do solo como para os macronutrientes apresentados, houve um ajuste linear crescente em função do aumento dos níveis de condutividade elétrica no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2002) em estudos com pimentão em ambiente protegido. Percebe-se que os níveis de sais no manejo com controle são inferiores aos do manejo tradicional, com exceção do magnésio, demonstrando assim, a eficiência deste método para o controle da concentração iônica. Blanco (2011) em estudos sobre a concentração iônica na solução do solo no cultivo do tomateiro fertirrigado, apresentou resultados semelhantes ao manejo tradicional indicando uma evolução da disponibilidade dos nutrientes de acordo com o aumento da condutividade elétrica.

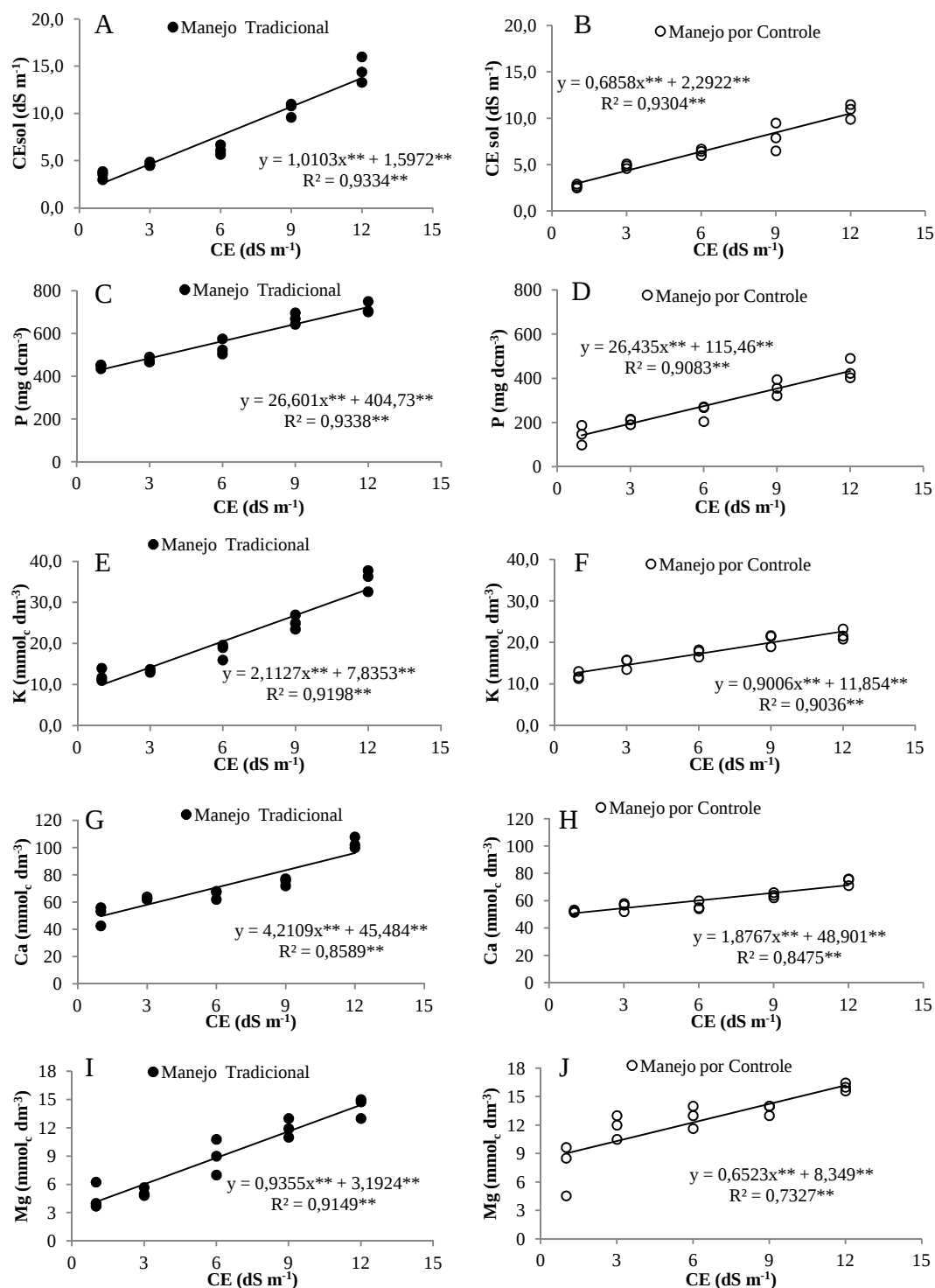


Figura 15. Efeito da CE inicial no extrato de saturação do solo para a cultivar Early Wonder sobre: condutividade elétrica no manejo tradicional (A) e por controle (B); fósforo no manejo tradicional (C) e por controle (D); potássio no manejo tradicional (E) e por controle (F); cálcio no manejo tradicional (G) e por controle (H); magnésio no manejo tradicional (I) e por controle (J) ao longo do ciclo. **significativo a 1% de probabilidade.

A Figura 16 apresenta a comparação entre as médias dos macronutrientes nos diferentes manejos da fertirrigação. Observa-se que houve uma quantidade maior de macronutrientes no manejo tradicional da fertirrigação devido à aplicação sem controle que o mesmo proporcionou. Apenas na concentração de magnésio o manejo por controle superou as quantidade de sais aplicadas, tal efeito deve-se ao pH encontrado durante a coleta das amostras que apresentou valores menores para o manejo tradicional, influenciando na disponibilidade deste nutriente na solução do solo (SOUSA et al., 2007) como também, o controle realizado pelos manejos da fertirrigação em que foi adicionado quantidades maiores de magnésio no manejo com controle, afim de manter a concentração inicial do mesmo nos valores estabelecidos no início do ciclo. Houve diferenças entre as médias nos tratamentos S1, S3 e S6 para a quantidade de fósforo no solo, enquanto o potássio o tratamento S12 apresentou variação nas médias estudadas. Os valores de cálcio (Figura 16C) apresentaram diferenças entre os manejos da fertirrigação no tratamento S3, S9 e S12. O magnésio os tratamentos S3 e S6 apresentaram diferenças significativas em relações aos manejos estudados.

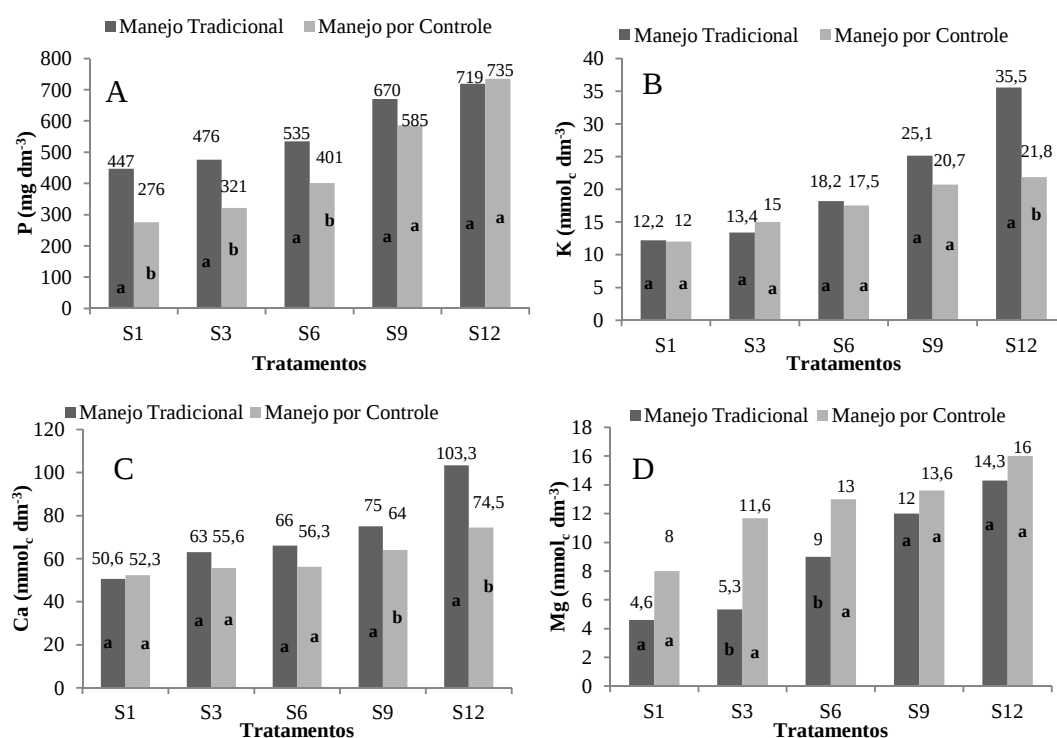


Figura 16. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para as concentrações dos macronutrientes fósforo (A), potássio (B), cálcio (C), magnésio (D) na cultivar Early Wonder nos diferentes manejos da fertirrigação.

Na Tabela 8 percebe-se que o fator salinidade do solo apresentou efeito significativo em todas as variáveis analisadas, exceto o pH do solo para a cultivar Itapuã. O fator manejo não apresentou efeito significativo nas variáveis condutividade elétrica (CE-sol) e pH da solução do solo. Para a interação dos fatores salinidade e manejo as concentrações de potássio e cálcio apresentaram efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste de F.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica e concentrações médias de macronutrientes ao longo do ciclo na solução do solo para a cultivar Itapuã

Causa da variação	Teste F						
	GL	CE-sol	P	K	Ca	Mg	pH
Blocos	3	0,981 ^{ns}	0,772 ^{ns}	0,044 ^{ns}	2,327 ^{ns}	0,214 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Salinidade (S)	4	88,20**	81,72**	103,21**	117,86**	35,89**	0,56 ^{ns}
Manejo (M)	1	1,387 ^{ns}	609,46**	34,87**	88,92**	42,79**	1,07 ^{ns}
S x M	4	0,611 ^{ns}	0,428 ^{ns}	21,204**	18,13**	2,772 ^{ns}	0,76 ^{ns}
CV (%)		11,12	10,02	19,14	10,30	13,53	2,95

** significativo a 1% de probabilidade para o teste F. ^{ns}: não significativo para teste F.

Os diagramas de dispersão dispostos na Figura 17 apresentam ajustes lineares para as concentrações de macronutrientes estudados para a cultivar Itapuã. Em todos os diagramas as variáveis apresentam correlação com os níveis da salinidade estudados. Nota-se que o manejo da fertirrigação por controle apresentou menores valores para todas as variáveis apresentadas, ficando evidente que as concentrações dos nutrientes no solo foram mantidas estáveis desde o processo de salinização dos vasos. Com a manutenção dos níveis de nutrientes no solo, o efeito dos sais na planta poderá ser reduzido por tal controle trazendo efeitos benéficos às plantas em condutividade elétricas de níveis mais baixos. Silva et al. (2003), em estudos sobre a solução do solo e o uso de testes rápidos observaram que é possível com auxílio dos extratores com cápsulas porosas, controlar os níveis de nitrato e potássio na solução do solo com boa precisão, comprovando a importância do uso de tal método no controle nutricional das plantas.

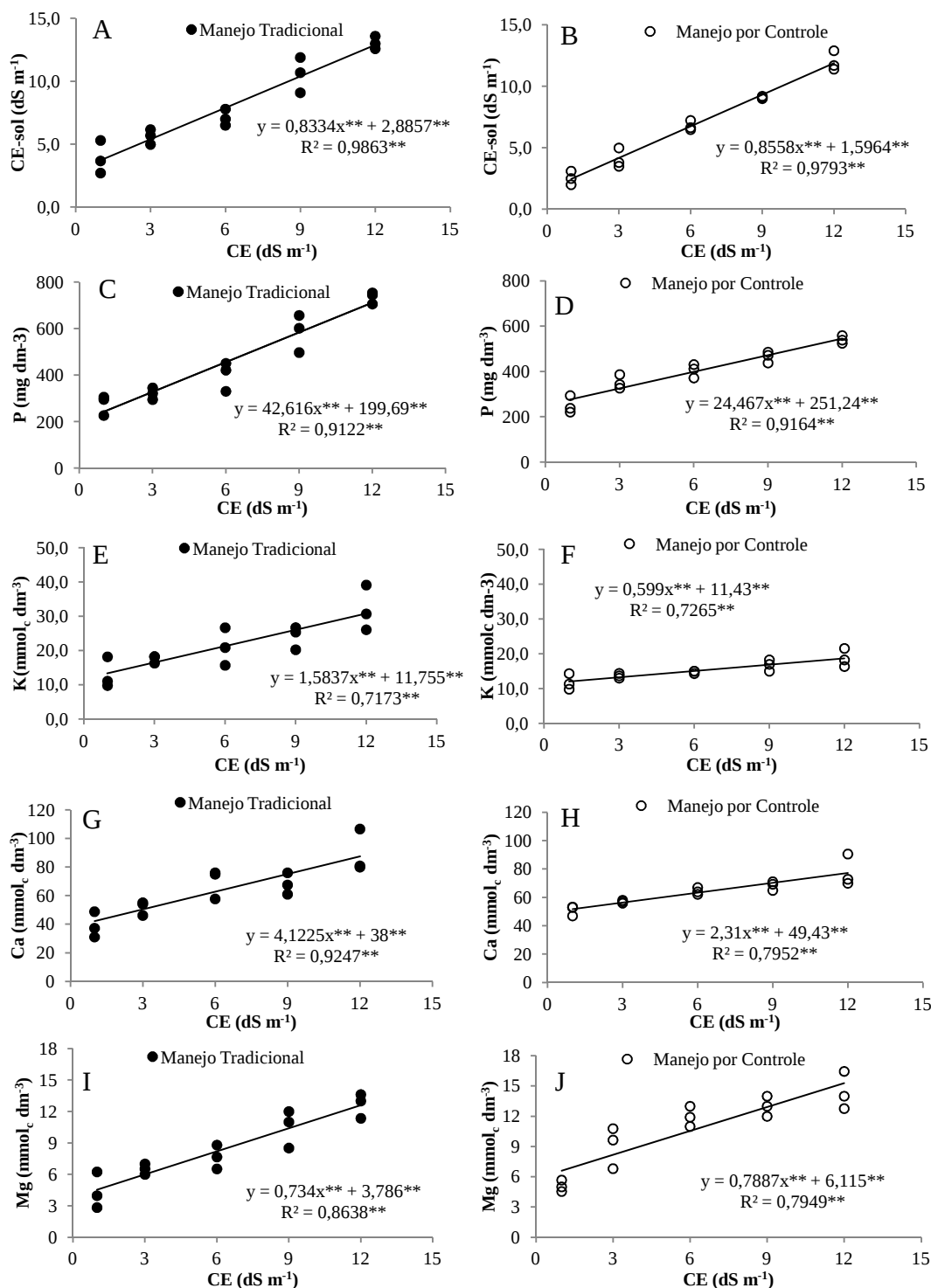


Figura 17. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapua entre a CE inicial do extrato de saturação e: condutividade elétrica no manejo tradicional (A) e por controle (B); fósforo no manejo tradicional (C) e por controle (D); potássio no manejo tradicional (E) e por controle (F); cálcio no manejo tradicional (G) e por controle (H); magnésio no manejo tradicional (I) e por controle (J) ao longo do ciclo. **significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 18, observa-se a comparação das médias dos macronutrientes entre os manejos da fertirrigação para a cultivar Itapuã no teste de Tukey a 5%. O manejo tradicional apresentou em todos os macronutrientes com exceção do magnésio, médias superiores ao manejo por controle. Explica-se tal efeito as sucessivas aplicações de fertilizantes em cada evento de irrigação no manejo tradicional, proporcionando assim a salinização dos solos em níveis elevados. Confirma-se por meio do teste de médias que houve uma quantidade maior de magnésio no manejo por controle da fertirrigação (Figura D), tal efeito é explicado pela aplicação deste nutriente ao longo do ciclo para que o mesmo volta-se aos valores iniciais de cultivo na solução do solo. Como proposto inicialmente para o manejo através do uso de extratores.

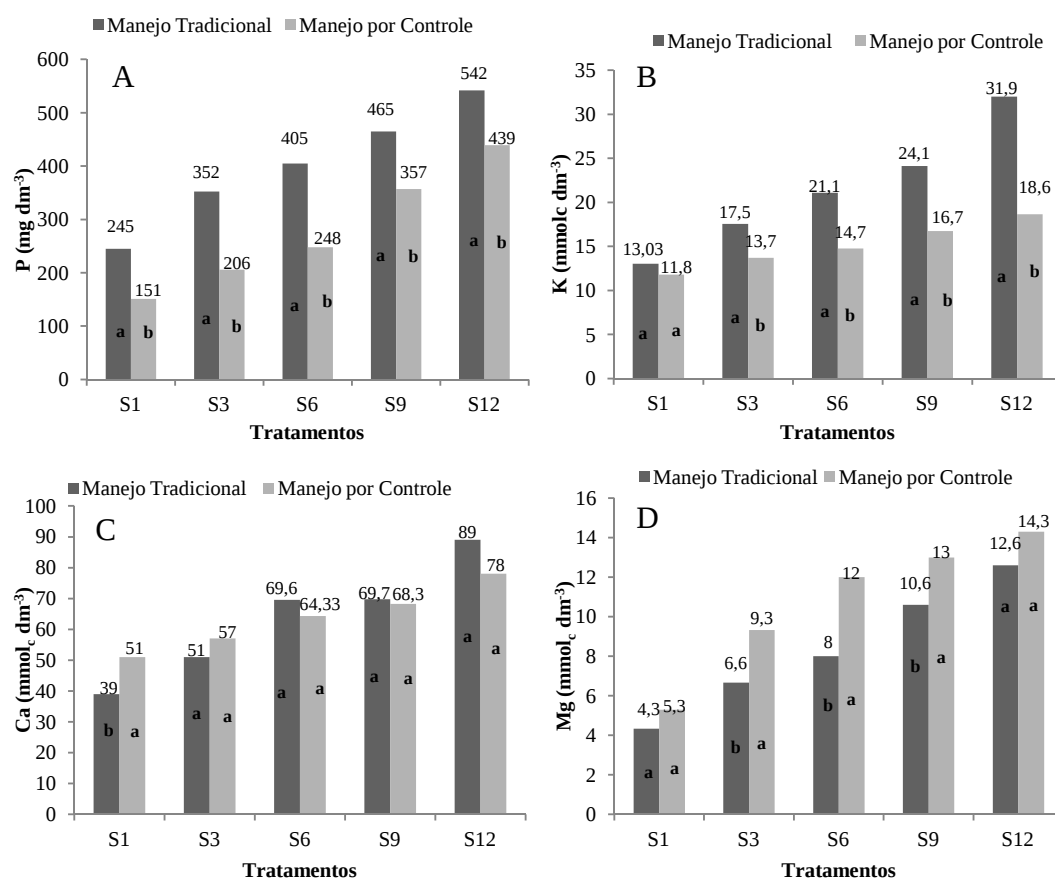


Figura 18. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para as concentrações dos macronutrientes fósforo (A), potássio (B), cálcio (C), magnésio (D) na cultivar Itapuã nos diferentes manejos da fertirrigação.

Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.2.2. Monitoramento da salinidade do solo e pH

Na Figura 19 estão apresentados os valores de condutividade elétrica (CE) da solução do solo extraída por meio de cápsulas porosas de cerâmicas instaladas a 15 cm de profundidade para os diferentes tipos de manejos de fertirrigação ao longo do ciclo da cultura da beterraba. Nota-se que para a cultivar Early Wonder submetida ao manejo tradicional (Figura 19A) houve uma queda na condutividade elétrica da solução do solo dos 7 aos 22 dias após transplantio (DAT) provavelmente devido a maior exigência nutricional da planta. Aos 29 DAT nota-se um aumento crescente da CE até o final do ciclo da cultura.

No manejo controlado (Figura 19B) observa-se que a solução do solo manteve-se constante dos 8 aos 29 DAT para os tratamentos de salinidade de 1, 3 e 6 dS m^{-1} , enquanto que para os maiores níveis salinos (9 e 12 dS m^{-1}) houve uma oscilação com queda dos valores aos 8 DAT até 22 DAT e aumento crescente a partir de 29 DAT até o final do ciclo de cultivo.

Segundo Grangeiro et al. (2007), em experimento realizado com a cultivar Early Wonder, a maior demanda de nutriente exigida pela cultura aconteceu entre 30 e 50 dias após a semeadura das plantas para a maioria dos nutrientes estudados. Tal período coincide com os apresentados no experimento podendo assim ser explicado a queda dos níveis de salinidade neste período. Medeiros et al. (2011), em estudos sobre a tolerância da cultura do tomate a salinidade, atribuíram a queda da condutividade elétrica da solução do solo à composição da solução nutritiva aplicada via fertirrigação pois talvez a composição possua baixo nível salino. Silva (2002) e Silva et al., (1999) estudando o controle da salinidade do solo observaram que com a utilização de extratores de cápsulas porosas é possível ter o controle da salinidade do solo, principalmente ao longo do ciclo da cultura e para ajuste e correção das quantidades de fertilizantes a serem aplicadas. Eloi et al. (2011) demonstram em cultivo de tomateiro fertirrigado, que por meio de estudos envolvendo o uso de fertirrigação controlada por extratores com cápsulas porosas é possível manter o nível adequado da CE para maximizar a produção.

Para a cultivar Itapuã o manejo tradicional (Figura 19C) apresentou queda no nível da salinidade aos 8 DAT e voltou a crescer após os 20 DAT, atingindo valores elevados até o final do ciclo. Para o manejo (Figura 19D) controlado os valores da CE foram mantidos quase inalterados até os 22 DAT, apartir de então houve um acréscimo até o final do ciclo. Segundo Silva (2002), outro aspecto em que se pode avaliar como benéfico o manejo da fertirrigação via extratores de solução do solo é a constância dos valores das variáveis determinadas em leituras realizadas sucessivamente durante o experimento, reforçando assim a proposição de monitorar a concentração total ou parcial de íons ao longo do tempo em local fixo.

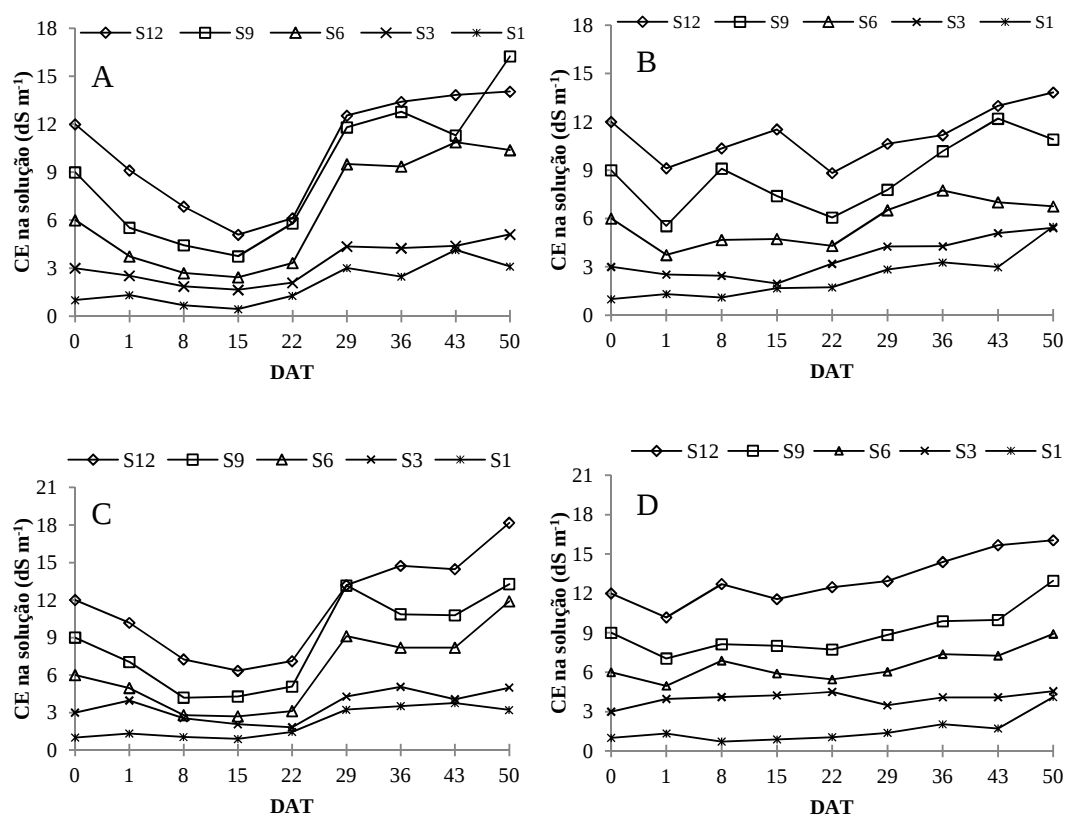


Figura 19. Valores da condutividade elétrica na solução do solo ao longo do ciclo da cultura para: (A) cultivar EarlyWonder com manejo de fertirrigação tradicional, (B) cultivar Wonder para o manejo de fertirrigação controlado, (C) cultivar Itapuã com manejo de fertirrigação tradicional, (D) cultivar Itapuã para o manejo de fertirrigação controlado.

Além do controle da CE proporcionado pelos extratores de solução do solo, vale resaltar também que foi possível através deste método determinar a concentração de diversos nutrientes como feito por Silva et al. (2000) monitorando a concentração de potássio no solo em cultivo de tomate e Souza et al. (2012) em estudos sobre a solução do solo em citrus fertirrigado afirmam que a grande vantagem deste método é justamente o seu uso no manejo da fertirrigação com auxílio de testes rápidos como a medição dos teores de nitrato e potássio (JIMÉNEZ, et al. 2005), além da elevação dos teores de Na^+ e outros elementos que em excesso podem causar problemas de toxicidade as plantas como afirmam Medeiros et al. (2010). Porém, ainda são necessários testes sobre o momento adequado para extração da solução do solo, na qual represente uma situação próxima da real quando do momento de equilíbrio de íons no solo como feito por Nagpal (1982) em estudos sobre o transporte de nutrientes com auxílio de extratores com cápsulas porosas e o melhor momento para a coleta da solução do solo.

Na Figura 20, observa-se os valores de pH para as diferentes cultivares e manejos da fertirrigação. Não houve uma variação de pH entre os tratamentos, mantendo-se entre 5,5 e 6,5 e em algumas ocasiões elevando-se a 7,0. Segundo Filgueira (2003), a cultura da beterraba é altamente exigente quando à acidez do solo, produzindo melhor na faixa de 6,0 a 6,8. Não houve nenhum tipo de controle com relação ao pH devido o mesmo atingir níveis satisfatórios durante o seu monitoramento.

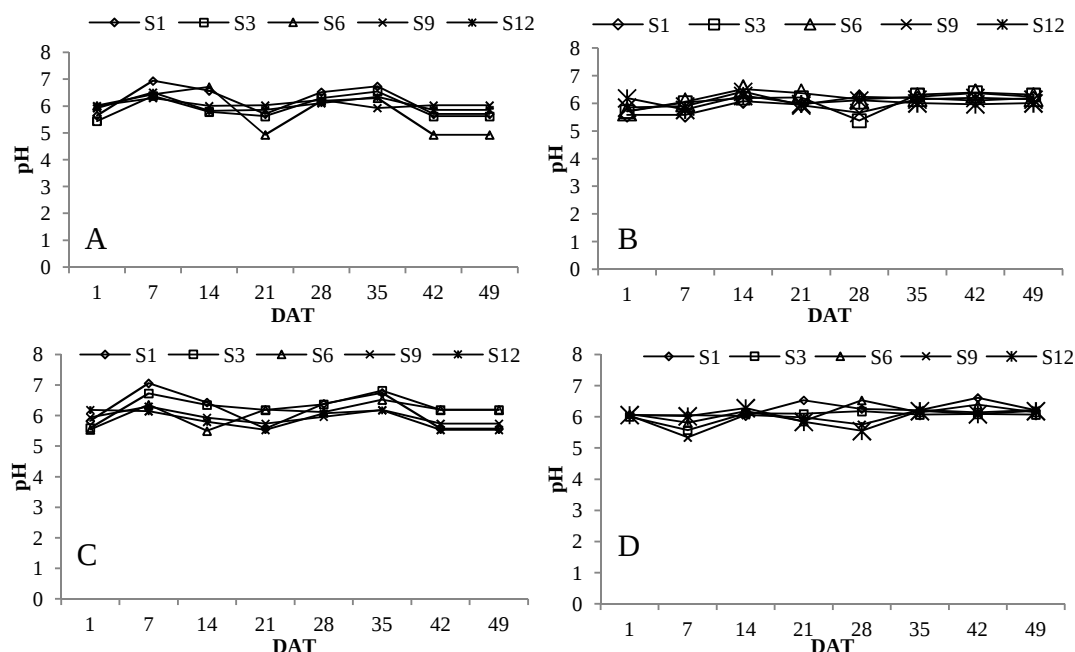


Figura 20. Valores de pH na solução do solo em função da salinidade da solução do solo ao longo do ciclo da cultura para: (A) cultivar Early Wonder com manejo de fertirrigação tradicional e para o manejo de fertirrigação controlado (B) e cultivar Itapuã com manejo de fertirrigação tradicional (C), e para o manejo de fertirrigação controlado (D).

4.2.3 Distribuição dos sais nos solos

Nos experimentos em vasos, segundo Silva (2002), a interferência causada pelas paredes do recipiente na distribuição de água e sais pode resultar em uma situação que favoreça o aumento ou a redução da concentração de sais na região radicular, podendo interferir na tolerância da cultura. Segundo Daker (1984), ligeiras diferenças na textura do solo podem provocar um movimento desigual na distribuição de água nas camadas do solo, acarretando sua desuniformidade na acumulação de sais ao longo do perfil. Com isso, é importante que em ensaios conduzidos em vasos, a distribuição espacial da condutividade elétrica seja avaliada para que se obtenha um resultado mais preciso das condições às quais a cultura foi submetida.

Como se observa na Figura 21, a salinidade do solo mostrou uma distribuição espacial desuniforme, em corte transversal, para a salinidade 1dS m^{-1} para o

manejo tradicional (Figura 21A) e manejo por controle (Figura 21B). A salinidade na camada de 0 a 10 cm onde se concentra a maior parte do sistema radicular foi superior a 3 dS m^{-1} (3,6 a 4,0 dS m^{-1} aproximadamente), enquanto que para as camadas inferiores ficou entre 4 e 2,5 dS m^{-1} para os manejos tradicional e controlado respectivamente.

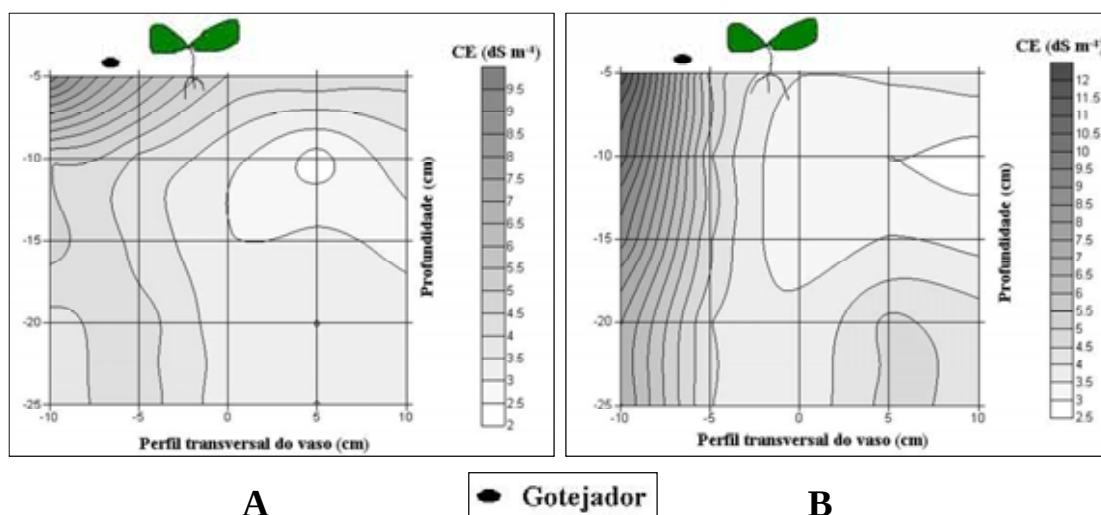


Figura 21. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 1 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).

Na Figura 22 observa-se a distribuição espacial da condutividade elétrica para a salinidade inicial de 3 dS m^{-1} , os maiores valores de CE foram encontrados na região próxima à superfície do solo e sob o gotejador, diminuindo com a profundidade, havendo formações de isolinhas bem definidas para ambos os manejos da fertirrigação. Segundo Hofmman et al. (1992), este fato pode ser atribuído à alta frequência de fertirrigação, bem como à maior evaporação e extração de água pelas plantas na camada superficial e próxima ao gotejador.

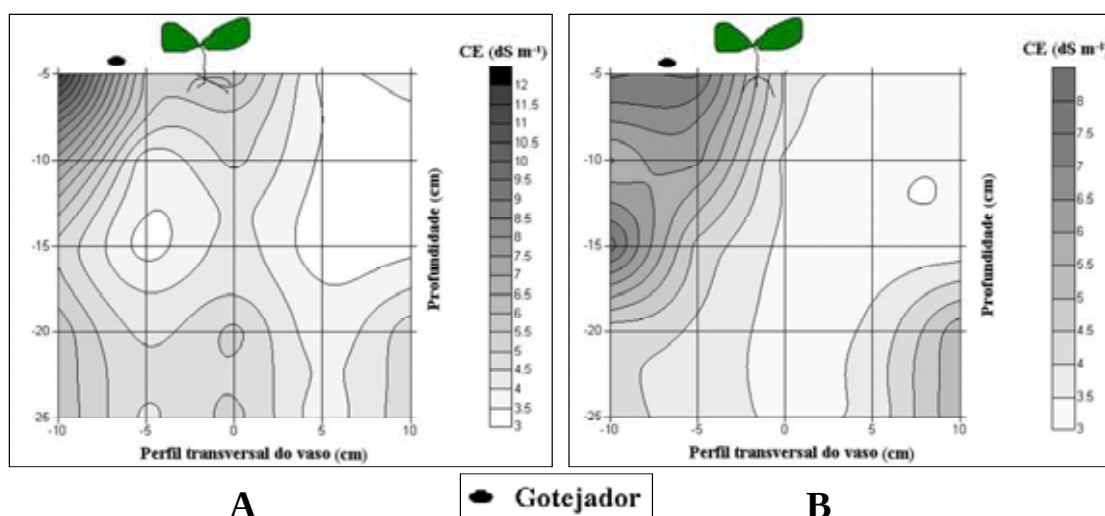


Figura 22. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 3 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).

Na Figura 23, observa-se a distribuição espacial para a salinidade inicial 6 dS m^{-1} ao longo do vaso. Os maiores valores de CE foram encontrados nas camadas mais profundas do vaso com valores de 6 a $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ para o manejo tradicional e 5,5 a $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ para o manejo por controle. Segundo Dias (2004), provavelmente o acúmulo de sais em camadas mais profundas ocorre devido o processo de deposição de sais precipitados e consequente solubilização destes no preparo da solução diluída para a determinação da CE. Silva (2002) afirma que o incremento da salinidade possivelmente funciona como estoque de nutrientes, acumulados nas camadas adjacentes, os quais movimentam-se para o sistema radicular por difusão. De acordo com Ayers e Westcot (1991), após se atingir o equilíbrio, a concentração de sais aumenta nas camadas mais profundas devido ao fato de que a água de irrigação evapotranspirada pela cultura deixa os sais na zona radicular para serem deslocados por irrigações subsequentes para sua parte inferior, onde se acumulam até serem lixiviados a maiores profundidades.

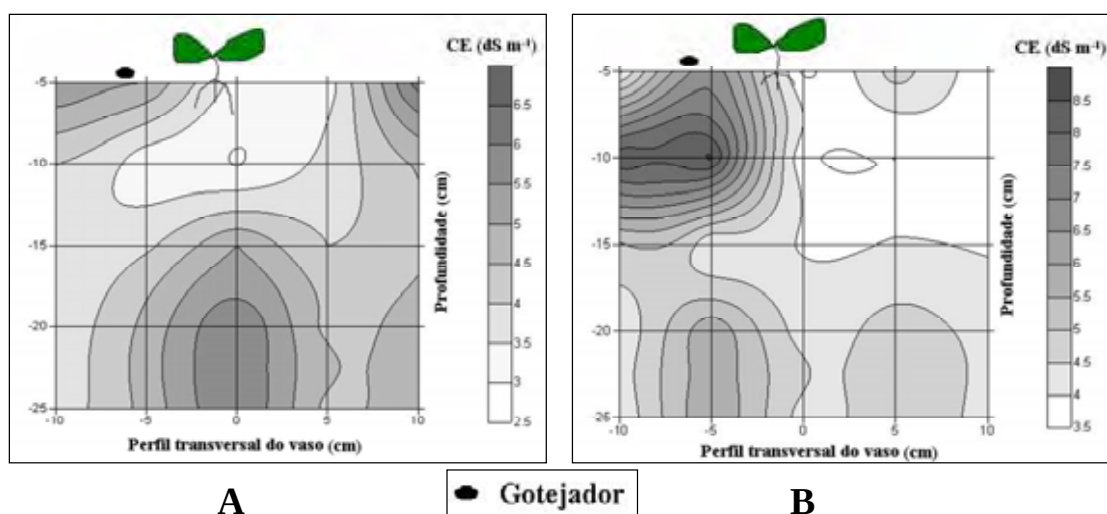


Figura 23. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 6 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).

Na Figura 24, observa-se a distribuição espacial para a salinidade inicial de 9 dS m^{-1} . Os menores valores foram observados próximos ao sistema radicular da cultura possivelmente devido à absorção de nutrientes pela planta com valores de 3 a $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Os maiores valores foram em torno de 7 a $9,5 \text{ dS m}^{-1}$ para o manejo tradicional e 8 a $11,5 \text{ dS m}^{-1}$ para o manejo por controle nas camadas de 15 a 20 cm respectivamente.

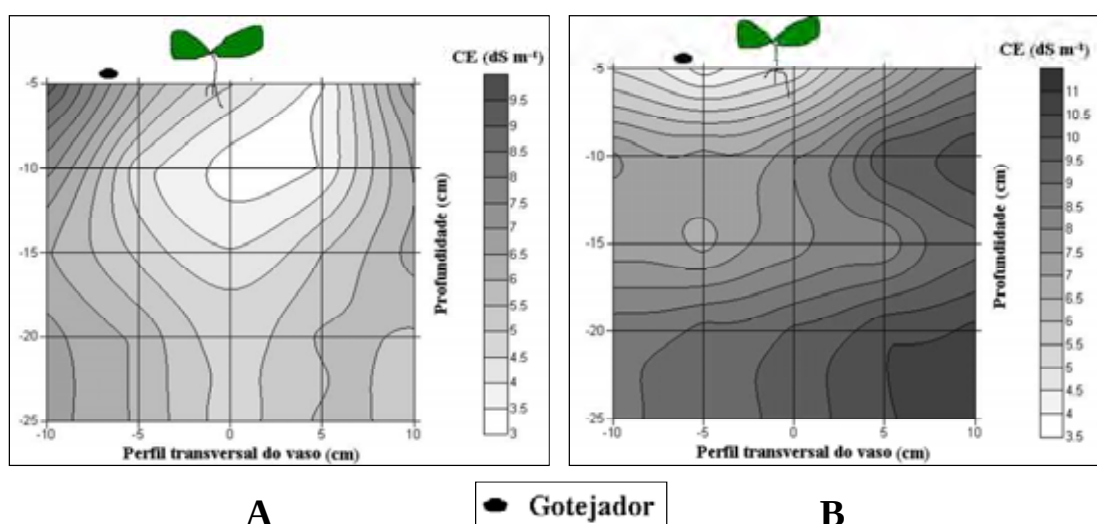


Figura 24. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 9 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).

Na Figura 25 é apresentada a distribuição espacial para salinidade inicial de 12 dS m^{-1} , com indicação de valores de 5,5 a 8 para as camadas superficiais do vaso e próximas ao sistema radicular da planta. A partir da profundidade de 10 cm houve um aumento da salinidade nas maiores profundidades do vaso. No manejo tradicional (Figura 25A) os maiores valores encontrados foram de 9 a 14 dS m^{-1} e para o manejo por controle (Figura 23B) os valores de 9 a 12 dS m^{-1} , encontrados entre as camadas 15 e 20 cm de profundidade. Valores semelhantes foram encontrados por Dias (2004) em estudos com salinidade e cultivo de meloeiro onde o mesmo observou que os tratamentos com maior quantidade de sais apresentaram valores de CE nas camadas mais profundas do solo.

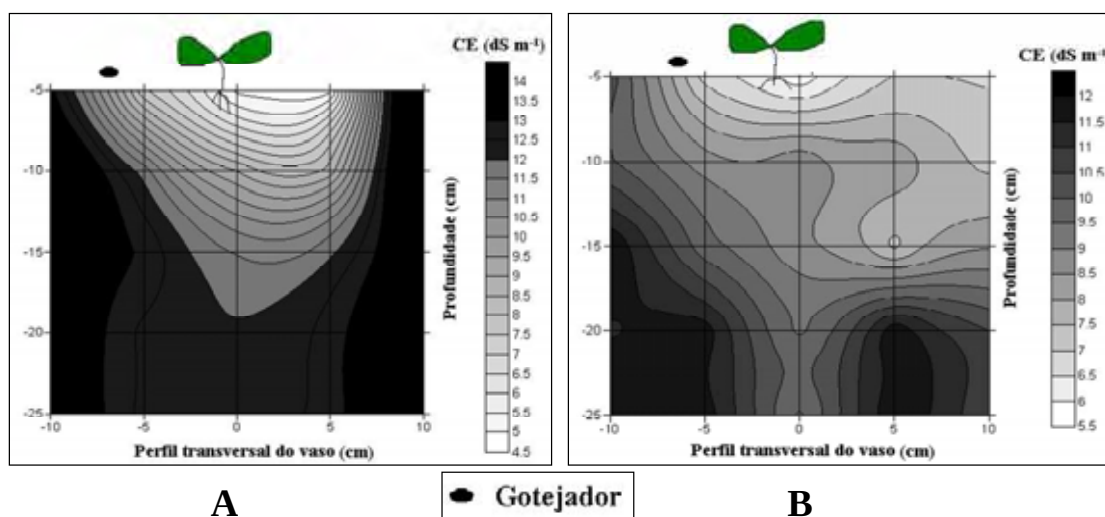


Figura 25. Distribuição espacial da condutividade elétrica nos vasos com salinidade inicial de 12 dS m^{-1} para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B).

4.2.4 Comparação entre medidas de condutividade elétrica e concentração iônica determinadas nas soluções extraídas pela capsula porosa e no extrato de solução de saturação

Na Figura 26 é apresentada uma regressão linear entre os valores de condutividade elétrica medidos no extrato de saturação e estimados a partir da condutividade elétrica da solução do solo com correção da umidade do solo. A correlação dos valores apresentou coeficiente de determinação significativo, demonstrando assim que os resultados encontrados podem ser considerados satisfatórios, levando-se em

consideração que a determinação da umidade do solo foi realizada utilizando-se tensiômetros, os quais implicam em medida indireta e de menor precisão.

Os valores de CE encontrados pelos extratores e corrigidos com a umidade do solo subestimaram os valores de CE da pasta saturada apenas em 1%, sendo então indicado para determinação e utilização nas decisões e manejo da fertirrigação. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2003), em estudos sobre a utilização de testes rápidos de nitrato e potássio na solução do solo, com o auxílio de extratores com cápsulas porosas.

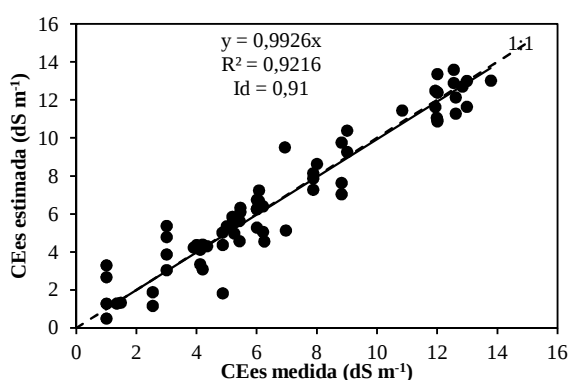


Figura 26. Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação, medido e estimado a partir da condutividade elétrica da solução obtida com extrator de capsula com correção em função da umidade para o solo utilizado no experimento II.

4.2.5 Características vegetais

4.2.5.1 Altura das plantas

A altura das plantas foi afetada significativamente para o fator salinidade excetuando-se a análise realizada aos 20 dias após o transplântio (DAT). Para o fator cultivar a altura das plantas foi afetada significativamente aos 40 e 50 DAT, enquanto para o fator manejo aos 20 e 30 DAT. A maioria das interações não apresentou significância como se pode observar na Tabela 9, exceto as análises realizadas aos 40 e 50

DAT que apresentaram efeito significativo para a interação salinidade e manejo, sendo assim, foram realizadas análises em relação a cada cultivar.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para altura de planta em função de níveis de salinidade para diferentes tipos de cultivar e manejo

Causa da variação	Teste F				
	GL	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Blocos	3	0,770 ^{ns}	0,820 ^{ns}	0,252 ^{ns}	1,200 ^{ns}
Salinidade (S)	4	1,962 ^{ns}	4,528**	12,334**	18,958**
Cultivar (C)	1	3,150 ^{ns}	0,162 ^{ns}	13,224**	4,117**
Manejo (M)	1	8,859**	6,510*	1,235 ^{ns}	1,442 ^{ns}
S x C	4	1,104 ^{ns}	0,514 ^{ns}	0,278 ^{ns}	0,199 ^{ns}
S x M	4	0,526 ^{ns}	1,086 ^{ns}	10,291**	7,787**
C x M	1	1,134 ^{ns}	0,649 ^{ns}	1,235 ^{ns}	0,290 ^{ns}
S x C x M	4	0,418 ^{ns}	0,145 ^{ns}	0,622 ^{ns}	0,307 ^{ns}
C.V (%)		20,61	12,38	5,64	6,28

** e *: significativo respectivamente a 1%, 5% para teste F.

^{ns}: não significativo para teste F.

Na Figura 27A apresenta-se o teste de média para as cultivares aos 40 DAT no manejo da fertirrigação tradicional. Percebe-se que houve diferença significativa apenas no tratamento S12 entre as cultivares, enquanto nos demais tratamentos houve uma resposta semelhante das plantas aos níveis salinos a que foram submetidas. Na Figura 27B, o manejo da fertirrigação por controle apresentou diferenças nos tratamentos S3 e S6, com a cultivar Itapuã apresentando os maiores valores entre todos os tratamentos propostos. Segundo Fageria e Gheyi, 1997 a tolerância dos sais nas plantas varia de acordo com estágio fenológico da mesma, devendo-se selecionar sempre cultivares tolerantes nos estágios críticos das plantas. A cultivar Itapuã apresenta-se mais tolerante aos elevados níveis de sais que a cultivar Early Wonder em relação a altura das plantas fator esse, citado por Fageria e Ghey (1997), como o parâmetro mais sensível à salinidade podendo-se determinar a tolerância através do mesmo.

Na Figura 27C observa-se a comparação das médias entre as cultivares no manejo tradicional aos 50 DAT. A cultivar Itapuã apresentou os maiores valores dentre os tratamentos estudados, nota-se também, diferenças entre as médias nos

tratamentos S1 e S3, demonstrando maior desenvolvimento da cultivar Itapuã sobre a Early Wonder. Na Figura 27 D, a diferenças de médias foram apresentadas apenas no tratamento S6 aos 50 DAT, indicando melhor adaptação da cultivar Itapuã na condição salina. Provavelmente, por ser uma cultivar local, as condições climáticas favoreceram a adaptação dessa cultura ao estresse salino como afirmam, Fageria e Gheyi, (1997) indicando que cultivares com melhores adaptações ao clima apresentam maior tolerância ao excesso de sais. Portanto, ao depender do clima e das variedades das culturas a produtividade pode variar de maneira significativa como afirmam Pidgeon et al. (2001). em estudos sobre o clima e seus impactos na produtividade da cultura da beterraba na Europa.

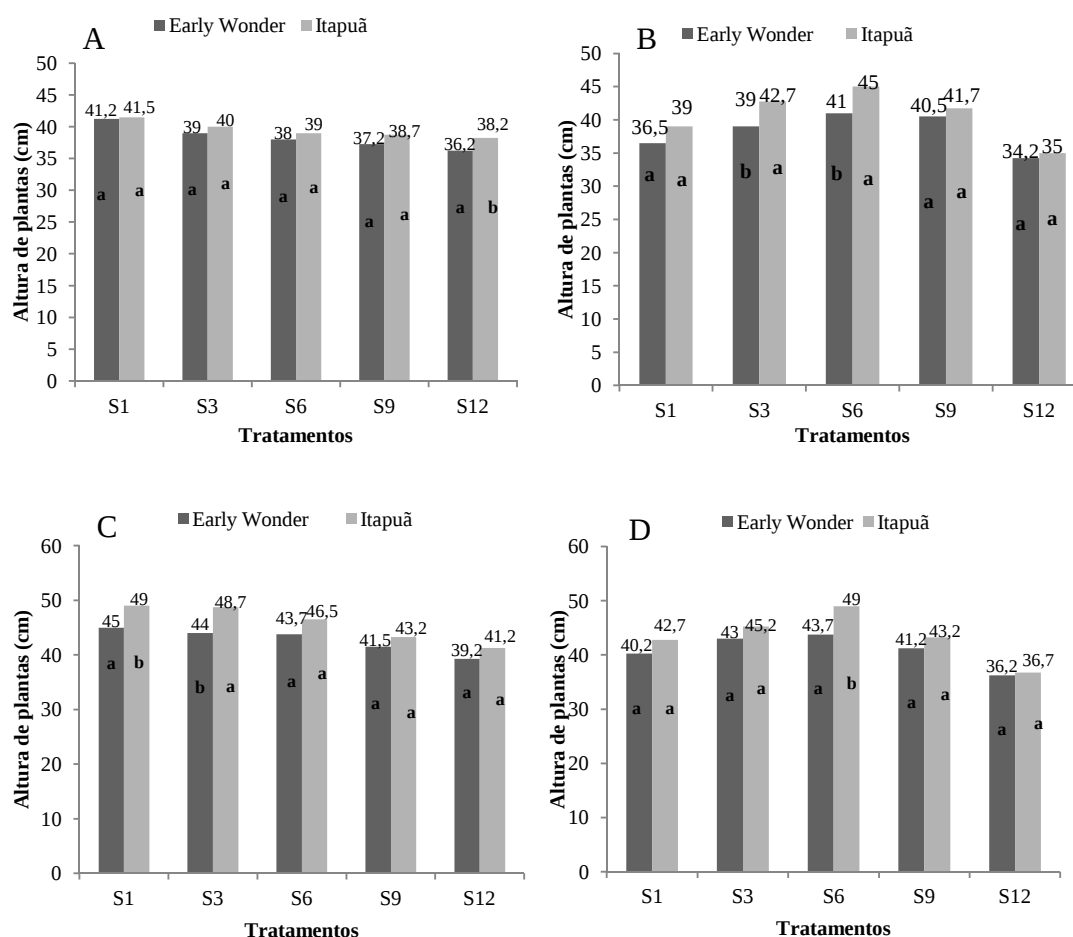


Figura 27. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5%, para a variável altura de plantas para as diferentes cultivares no manejo da fertirrigação tradicional (A) e controlado (B) aos 40DAT e manejo tradicional (C) e controlado (D) aos 50 DAT.

Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 10, observa-se que para a cultivar Early Wonder, as análises de variância realizadas apresentaram para o fator salinidade efeito significativo para todas as variáveis ao nível de 1 e 5% de probabilidade, excetuando-se aos 30 DAT, que apresentou efeito significativo para o manejo da fertirrigação. A interação apresentou significância para os 40 e 50 DAT.

A altura média das plantas realizada no dia da colheita apresentada na Figura 28, atingiram valores médios de 40 cm para o manejo tradicional e 42 cm para o manejo por controle. Estes resultados contrastam com os apresentados por Barcelos (2010), trabalhando com fertirrigação e com a cultivar Early Wonder que alcançou valores médios de 32 a 34 cm aos 60 DAT. Portanto, tais resultados asseguram que não ocorreu limitação o crescimento das plantas ocasionadas pelo plantio em vasos, visto que, os valores da altura da planta foram superiores aos encontrados por Barcelos (2010) em experimento conduzido no solo.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para a altura de planta em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder.

Causa da variação	Teste F				
	GL	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Blocos	3	1,447 ^{ns}	0,974 ^{ns}	0,291 ^{ns}	1,469 ^{ns}
Salinidade (S)	4	3,411*	1,685 ^{ns}	3,842*	7,763**
Manejo (M)	1	2,141 ^{ns}	6,255*	0,291 ^{ns}	1,118 ^{ns}
S x M	4	0,642 ^{ns}	0,969 ^{ns}	3,781*	3,051*
CV(%)		18,29	9,01	6,66	7,41

** e *: significativo respectivamente a 1%, 5% para teste F.

^{ns}: não significativo para teste F.

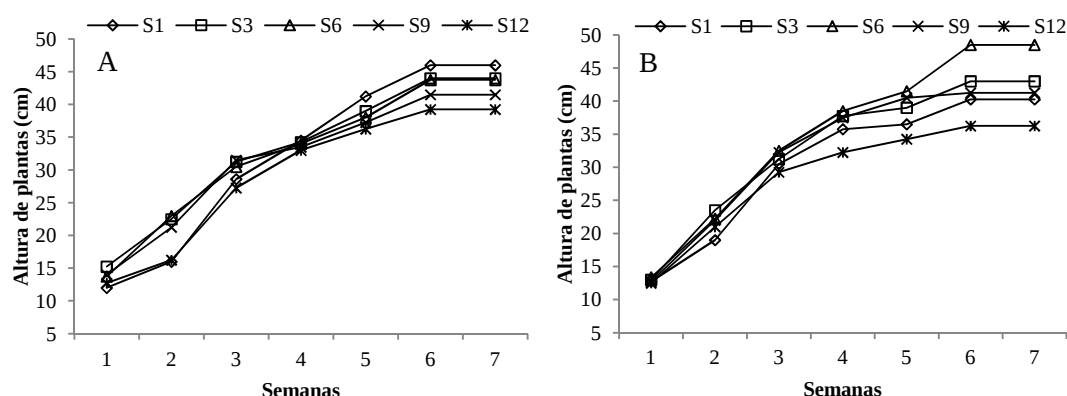


Figura 28. Altura de plantas para os diferentes níveis de salinidade: (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Early Wonder.

A Figura 29 apresenta o teste de médias de Tukey a 5% para o fator manejo da fertirrigação aos 30 DAT. Percebe-se que houve diferença significativa apenas no tratamento S6. Porém, as médias do manejo por controle foram maiores em todos os tratamentos apresentados. O efeito significativo para o fator manejo da fertirrigação difere das pesquisas realizadas por Dias (2004) e Silva (2002) em que os diferentes manejos da fertirrigação para as culturas do melão e pimentão não apresentaram efeito significativo quando comparados. Possivelmente, a tolerância da cultura da beterraba por ser elevada pode ter interferido de maneira positiva no manejo por controle.

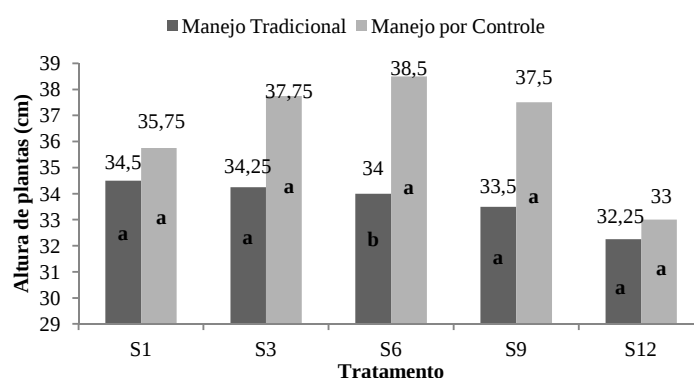


Figura 29. Comparação de médias de altura de plantas pelo teste de Tukey a 5%, para os manejos da fertirrigação para a cultivar Early Wonder aos 30 DAT. Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As análises de regressão apresentadas nos gráficos A e B da Figura 30, são referentes à altura das plantas para a cultivar Early Wonder realizados aos 20 DAT para o manejo tradicional e controlado com médias de 19,8 e 21,55 cm de altura respectivamente. Em ambos, nota-se um ajuste polinomial quadrático, ou seja, a salinidade proporcionou um maior crescimento da planta até um máximo obtido, aproximadamente com a salinidade inicial de 6 dS m^{-1} , ocorrendo um decréscimo da altura para valores maiores. Entretanto a partir dos 30 DAT o manejo tradicional (Figura 30C) mostra um ajuste linear decrescente com média de 33,85 cm, enquanto o manejo por controle (Figura 30D) apresentou altura média de 36,35 cm com ajuste polinomial quadrático.

Aos 40 e 50 DAT o manejo tradicional apresenta um decréscimo na altura de acordo com incremento da salinidade com ajuste linear para a dispersão. Tal reação foi provocada provavelmente pelo desequilíbrio nutricional na planta causado pelo excesso de sais assim como o ajuste osmótico para sobrevivência da planta. O manejo controlado apresentou um crescimento nos valores encontrados até a salinidade de 6 dS m^{-1} , devido a manutenção dos níveis de sais do solo permitindo um aumento na altura das plantas.

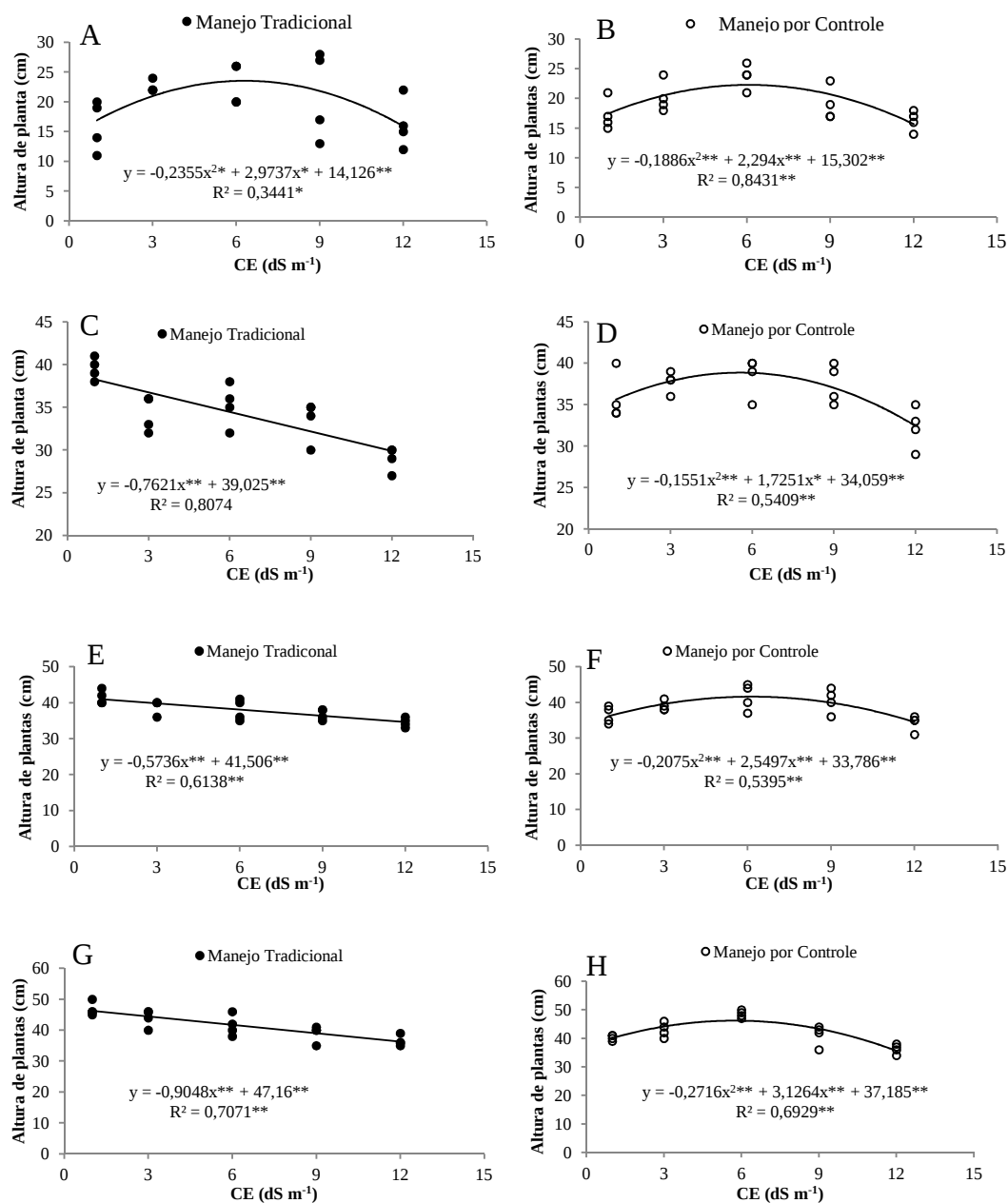


Figura 30. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Early Wonder entre: altura de plantas aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), altura de plantas aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), altura de plantas aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), altura de plantas aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H).

** e *: Significativo respectivamente a 1 e 5% de probabilidade.

Na Tabela 11, verifica-se que o fator salinidade para a cultivar Itapuã afetou significativamente a altura das plantas com exceção dos 20 DAT. O fator manejo da fertirrigação só proporcionou diferença significativa para a análise aos 20 DAT verificando assim, que o fator manejo só foi significativo com a ausência do fator salinidade neste período. Houve efeito significativo por parte da interação dos fatores salinidade e manejo nos 40 e 50 DAT.

Tabela 11. Resumo da análise de variância para a altura de planta em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.

Causa da variação	Teste F				
	GL	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Blocos	3	0,525 ^{ns}	0,315 ^{ns}	0,806 ^{ns}	0,310 ^{ns}
Salinidade (S)	4	0,136 ^{ns}	3,030*	10,693**	13,349**
Manejo (M)	1	7,165*	1,310 ^{ns}	3,524 ^{ns}	0,339 ^{ns}
S x M	4	0,348 ^{ns}	0,307 ^{ns}	8,385**	6,118**
CV (%)		22,95	10,15	4,62	4,99

**e *: Significativo respectivamente a 1%, 5% para teste F. ns: não significativo para teste F.

Na Figura 31 pode-se observar a altura das plantas ao longo do ciclo da cultivar Itapuã para os diferentes manejos da fertirrigação. Nota-se que o crescimento para ambos os manejos mostrou-se uniforme até a terceira semana do ciclo. A partir da quarta semana, o tratamento S12, para ambos os manejos, apresentou um crescimento menor que os demais tratamentos, enquanto que o tratamento S1, para o manejo tradicional, apresentou a maior altura dentre as demais plantas. Por outro lado, no manejo controlado, o tratamento S6 apresentou os maiores valores, atingindo em média 49 cm de altura. Dentre os vários efeitos adversos da salinidade, o crescimento das plantas é um dos mais visíveis, tal efeito deve-se a adaptação da planta ao ambiente a qual ela está submetida, segundo Chen e Jiang (2010), existem algumas estratégias das plantas para a sobrevivência em meio salino, como o acúmulo de solutos orgânicos, tais como a prolina, além do controle dos movimentos dos íons, que permitem a absorção de elevadas concentrações de íons orgânicos, contudo, o estresse salino prejudica o crescimento da

planta devido aos íons citotóxicos que são absorvidos e o gasto de energia deslocado para sua adaptação.

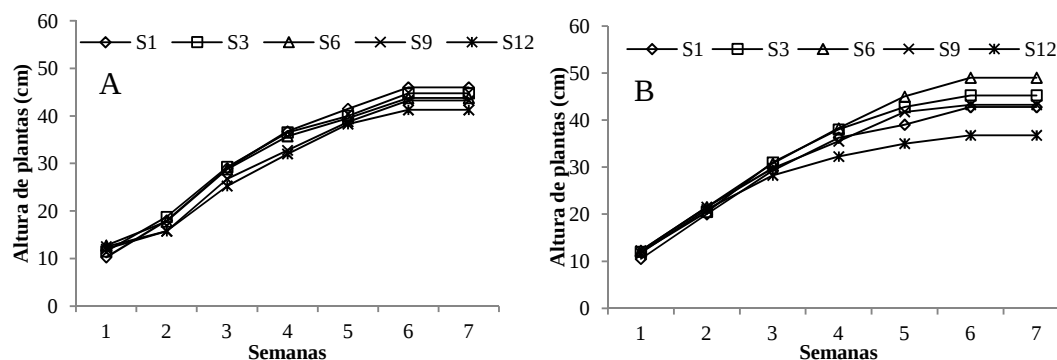


Figura 31. Altura de plantas em função do tempo para os diferentes níveis de salinidade: (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Itapuã.

A Figura 32 apresenta o resultado do teste de médias para o manejo da fertirrigação aos 20 DAT. O manejo por controle apresentou as maiores médias dentre os tratamentos, porém, observa-se que as médias entre os manejos da fertirrigação para os níveis de salinidade estudados não diferiram estatisticamente entre si, exceto no tratamento S9 que apresentou diferenças entre as médias, com maiores valores para o manejo por controle.

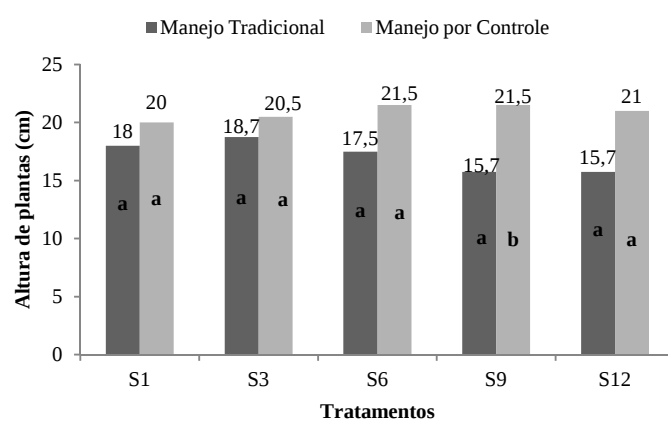


Figura 32. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%, para os manejos da fertirrigação para a cultivar Itapuã aos 20 DAT.

Médias com mesma letra entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Figura 33 pode-se observar a altura das plantas para a cultivar Itapuã nos diferentes manejos de fertirrigação. Aos 20 DAT (Figura 33A) houve uma tendência de redução na altura das plantas para o manejo tradicional no valor de 3,2%, para cada unidade de CE incrementada no solo, o ajuste da equação foi linear decrescente com coeficiente de determinação (R^2) de 0,73, o que retrata uma boa correlação entre altura de plantas e a salinidade inicial do solo. O manejo por controle aos 20DAT (Figura 33B) apresentou ajuste polinomial com aumento progressivo da altura das plantas até a salinidade limiar de $5,64 \text{ dS m}^{-1}$.

Aos 30 DAT o manejo tradicional (Figura 33C) da fertirrigação apresentou, para a altura de plantas em função da salinidade do solo, um ajuste linear com redução da altura das plantas de 3,53% para cada aumento unitário da condutividade elétrica na solução do solo, o coeficiente de correlação (R^2) apresentado foi de 0,612. O manejo por controle (Figura 33D) aos 30DAT apresentou um ajuste polinomial quadrático com decréscimo da altura das plantas a partir de $6,54 \text{ dS m}^{-1}$. Almodares e Sharif (2007), em estudos sobre a qualidade da água de irrigação na biomassa da beterraba, mostram que houve uma queda na produção da cultura de acordo com a cultivar e a condutividade elétrica da água. Moreno et al. (2001) estudando a cultura da beterraba utilizando irrigação com água de qualidade inferior, mostram que a salinidade afetou o desenvolvimento da cultura, porém a produção se manteve constante, sendo assim, são necessárias técnicas para utilização de águas salinas, assim como um manejo adequado em áreas afetadas pelo excesso de fertilizantes.

Aos 40DAT as plantas submetidas ao manejo controlado (Figura 33E) apresentaram um decréscimo de 6,6% de acordo com o incremento unitário da condutividade elétrica, enquanto que para o manejo por controle (Figura 33F), houve um acréscimo nos valores da altura das plantas com o incremento da salinidade até o limiar de $5,99 \text{ dS m}^{-1}$ a partir de então, observou-se uma queda nos valores da altura das plantas com o aumento da condutividade elétrica o que representa um efeito negativo da salinidade do solo no desenvolvimento da cultura.

Aos 50 DAT o ajuste da equação para o manejo tradicional (Figura 33G) foi linear com decréscimo de 3,93% na altura das plantas de acordo com o aumento unitário da condutividade elétrica no solo. O manejo controlado aos 50 DAT (Figura 33H) apresentou um ajuste polinomial quadrático com coeficiente de determinação de 0,86 e aumento máximo da altura das plantas até a condutividade elétrica de 5,47 dS m⁻¹.

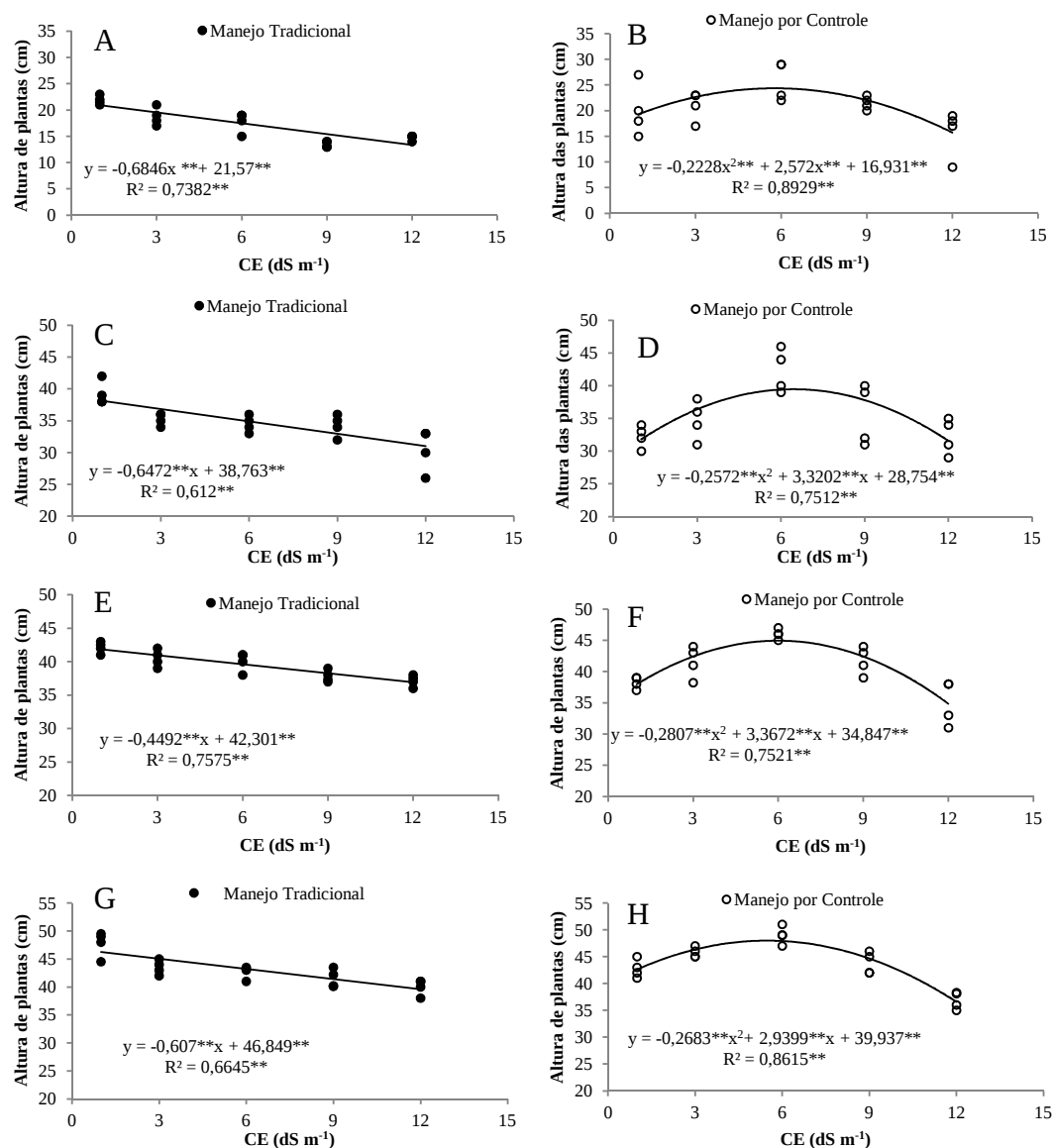


Figura 33. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapuã entre: altura de plantas aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), altura de plantas aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), altura de plantas aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), altura de plantas aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H).

**e*: significativo a 5% de probabilidade.

4.2.5.2 Diâmetro do pecíolo

Na Tabela 12 pode-se verificar que para as diferentes épocas estudadas a variável diâmetro do pecíolo diferiu significativamente em função da salinidade do solo e manejo da fertirrigação, assim como na interação dentre estes fatores. Para o fator cultivar a análise apresentou significância apenas para os 50 DAT respectivamente. Procedendo-se assim as análises das cultivares Early Wonder e Itapuã de forma separada.

Tabela 12. Resumo da análise de variância para diâmetro do pecíolo em função de níveis de salinidade, para diferentes tipos de cultivar e manejo.

Causa da variação	Teste F				
	GL	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Blocos	3	0,452 ^{ns}	0,933 ^{ns}	0,373 ^{ns}	1,081 ^{ns}
Salinidade (S)	4	44,158**	60,915**	86,394**	38,097**
Cultivar (C)	1	1,221 ^{ns}	0,427 ^{ns}	0,224 ^{ns}	26,106**
Manejo (M)	1	19,543**	20,930**	32,188**	9,886**
S x C	4	2,324 ^{ns}	3,156*	1,900 ^{ns}	0,328 ^{ns}
S x M	4	19,288**	22,235**	37,497**	23,499**
C x M	1	1,221 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,373 ^{ns}	0,618 ^{ns}
S x C x M	4	1,815 ^{ns}	1,115 ^{ns}	1,074 ^{ns}	0,328 ^{ns}
CV(%)		14,80	9,75	7,79	7,87

** e *: significativo a 1% , 5% de probabilidade para teste F. ns: não significativo para teste F

A Figura 34A mostra a comparação de médias para a cultivar C1 (Early Wonder) e C2 (Itapuã) pelo teste de Tukey a 5% para o manejo tradicional. Observa-se que não houve diferença entre as cultivares embora, C2 apresente maiores médias entre todos os tratamentos quando comparados a C1. A Figura 34B mostra a comparação de médias para as cultivares C1 e C2 no manejo por controle, percebe-se que houve diferença significativa entre as médias nos tratamentos S3 e S12 com as maiores médias apresentadas pela cultivar C2. Ghoulam et al. (2002) estudando os efeitos de diferentes águas salinas em 5 cultivares de beterraba açucareira, concluíram que a salinidade da água afetou de maneira significativa a qualidade comercial das cultivares estudadas conforme o incremento da salinidade. Dadkhah (2011) estudando a exposição de duas cultivares ao efeito da

salinidade na água de irrigação, concluiu que os elevados níveis de sais no solo influenciaram de forma negativa nos parâmetros fisiológicos e de crescimento da cultura.

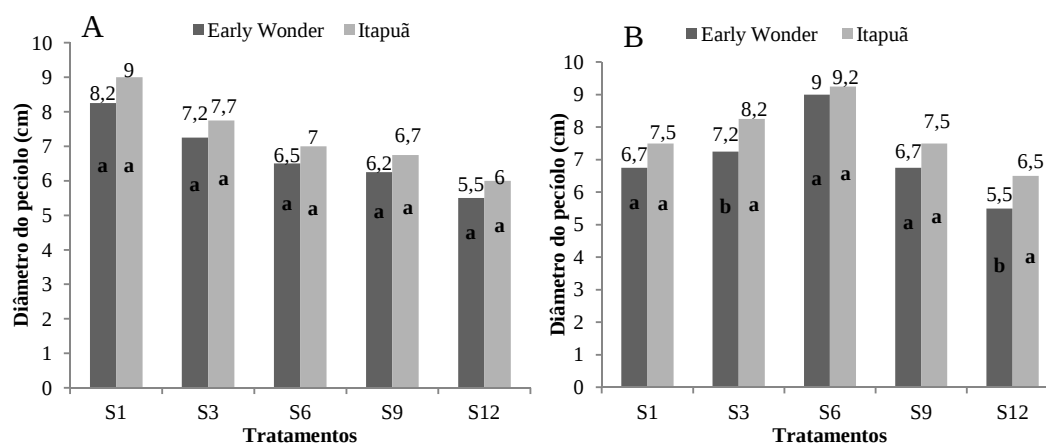


Figura 34. Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5%, para a variável diâmetro do pecíolo para as diferentes cultivares no manejo tradicional (A) e por controle (B) aos 50DAT.

Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 13, pode-se observar que para a cultivar Early Wonder o diâmetro do pecíolo foi influenciado significativamente pelos fatores salinidade e manejo da fertirrigação em todas as épocas analisadas. Coomprovando através do desdobramento que ambos os fatores tiveram efeitos independentes na planta. A interação entre os fatores apresentou efeito significativo em todos os períodos de avaliação.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para o diâmetro do pecíolo em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder.

Causa da variação	Teste F				
	GL	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Blocos	3	0,802 ^{ns}	0,416 ^{ns}	0,167 ^{ns}	1,670 ^{ns}
Salinidade (S)	4	29,094**	19,774**	18,000**	18,510**
Manejo (M)	1	20,050**	7,941*	42,062**	9,505*
S x M	4	17,153**	6,750**	31,437**	11,552**
CV(%)		12,69	10,59	7,39	8,69

** e *: significativo a 1% , 5% de probabilidade para teste F.

ns: não significativo para teste F

Na Figura 35 estão apresentados os valores da variável diâmetro do pecíolo ao longo do ciclo da cultura nos diferentes manejos de fertirrigação para a cultivar Early Wonder. Nota-se que os valores foram semelhantes entre os tratamentos excetuando-se para a salinidade de 6 dS m^{-1} , que apresentou diferenças entre os manejos propostos.

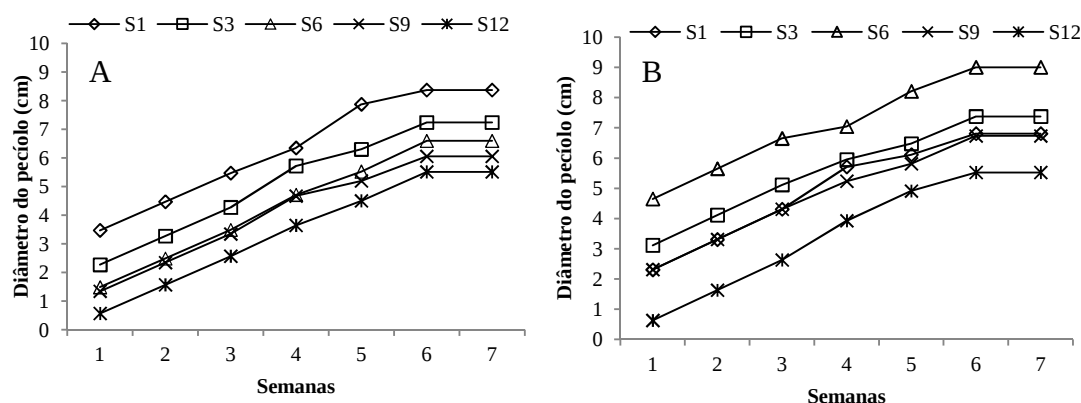


Figura 35. Diâmetro do pecíolo para os diferentes níveis de salinidade : (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Early Wonder.

Na Figura 36 apresenta-se a comparação das médias pelo teste de Tukey para a cultivar Early Wonder nos diferentes manejos da fertirrigação propostos. Houve diferença estatística entre as médias observadas nos tratamentos S1 aos 20, 40 e 50 dias após o transplântio (DAT), proporcionado pelos maiores níveis de sais no solo referente ao manejo tradicional que impulsionou o desenvolvimento do pecíolo. O tratamento S6 apresentou diferenças entre os manejos em todos os períodos analisados, com maior desenvolvimento da cultura no manejo da fertirrigação através do controle de íons que apresentou os maiores valores dentre os manejos ao longo do ciclo da cultura. Silva (2002) e Dias (2004) submetendo as culturas de pimentão e melão respectivamente aos diferentes manejos de fertirrigação, não observaram diferenças entre os manejos observados com relação às características vegetais das plantas. Possivelmente por ser a beterraba uma cultura que apresenta boa tolerância a elevados níveis de sais, como afirma Katerji et al. (2001), em estudos sobre a tolerância da beterraba a salinidade, a ação dos

manejos da fertirrigação nas características vegetais desta cultura pode ser estudada com mais precisão.

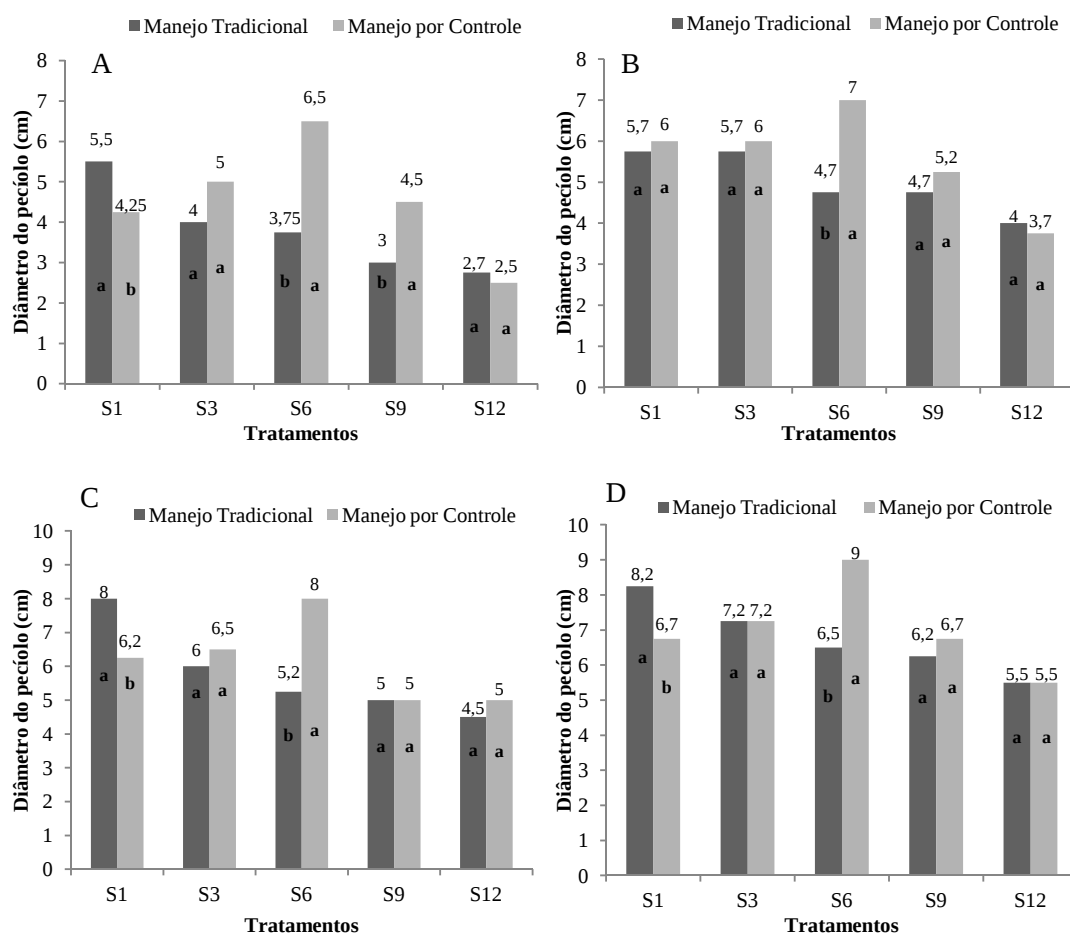


Figura 36. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Early Wonder aos 20 DAT (A); 30DAT (B); 40 DAT (C) e 50 DAT (D).

Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As regressões do diâmetro do pecíolo estão apresentadas na Figura 37. Aos 20 DAT (Figura 37A) o diâmetro do pecíolo para o manejo tradicional apresentou ajuste linear com decréscimo de 4,66% para cada incremento unitário da salinidade. Para o manejo por controle (Figura 37B) o ajuste foi polinomial com queda dos valores na CE limiar de 5,51 dS m⁻¹. Aos 30 DAT o manejo tradicional (Figura 37 C) apresentou

decréscimo médio de 5,58% de acordo com o incremento da salinidade do solo enquanto o manejo por controle (Figura 37D) houve acréscimo com o incremento da salinidade de 3,57% até a salinidade limiar de $5,06 \text{ dSm}^{-1}$, e decréscimo a partir de então no valor de 6,25%.

Aos 40 DAT (Figura 37E) para o manejo tradicional o ajuste linear apresentou decréscimo de 3,27%, enquanto para o manejo por controle (Figura 37F) houve acréscimo de 3,57% até a CE de $5,54 \text{ dS m}^{-1}$, e decréscimo de 7% para maiores valores de CE. Aos 50 DAT o manejo tradicional (Figura 37G) apresentou ajuste linear com decréscimo 3,0% no diâmetro do pecíolo para cada acréscimo unitário da condutividade elétrica. Para o manejo por controle (Figura 37H) o ajuste foi polinomial com acréscimo de 4,3% com o aumento da condutividade elétrica até o limiar de $5,59 \text{ dSm}^{-1}$, a partir de então houve um decréscimo nos valores do diâmetro do pecíolo no percentual de 5,86%.

Na literatura não existem muitos trabalhos descrevendo avaliações sobre o pecíolo desta cultura, porém, percebe-se pelos resultados que houve influência significativa do fator salinidade no diâmetro do pecíolo, devendo-se considerar esta variável importante para avaliações de crescimento. Em estudos sobre o manejo da irrigação associada à cobertura morta vegetal no cultivo da beterraba Carvalho et al. (2011) observaram que não houve interferência entre as diferentes coberturas mortas no diâmetro do pecíolo, enquanto Guimarães et al. (2002) estudando a produção de mudas de beterraba em diferentes métodos observaram valores distintos do diâmetro do pecíolo conforme o crescimento da planta em mudas produzidas em bandejas e em plantio direto. Portanto, o desenvolvimento da cultura da beterraba diferencia-se muito no método de plantio e no manejo aplicado, devendo-se sempre observar a disponibilidade de área e os demais recursos naturais, para se adotar o melhor manejo tanto na produção de mudas (plantio em bandejas ou direto), quanto no método de irrigação a ser utilizado para o cultivo desta hortaliça.

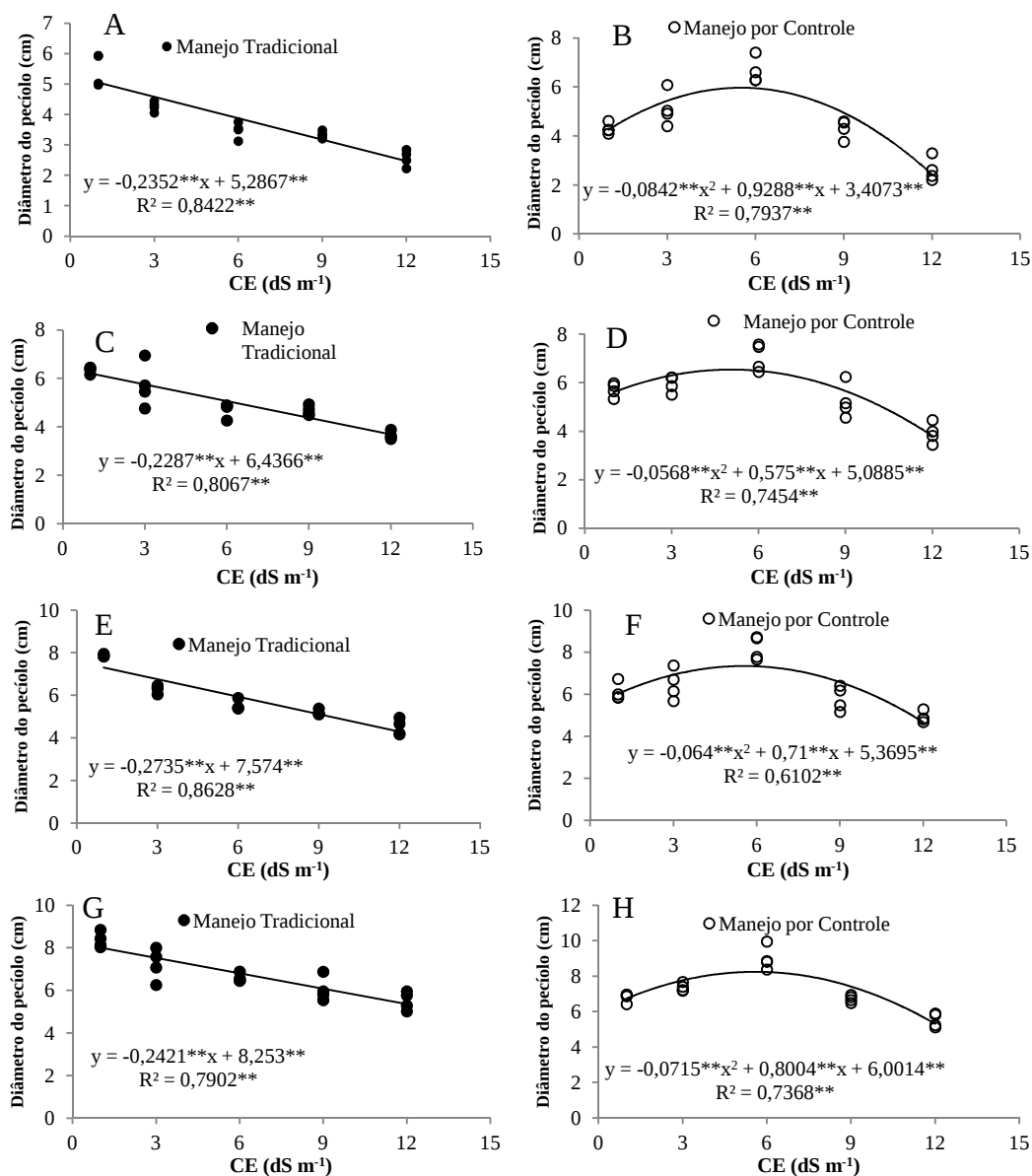


Figura 37. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar wonder entre: diâmetro do pecíolo aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), diâmetro do pecíolo aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), diâmetro do pecíolo aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), diâmetro do pecíolo aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H).
 ** significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 14, observar-se que para a cultivar Itapuã os fatores salinidade do solo e manejo da fertirrigação, influenciaram de forma significativa as

análises para todos as épocas e que foram feitas as medições do diâmetro do pecíolo, assim como a interação destes fatores.

Tabela 14. Resumo da análise de variância para diâmetro do pecíolo em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.

Causa da variação	GL	Teste F			
		20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Tratamentos:	GL				
Blocos	3	1,671 ^{ns}	2,299 ^{ns}	0,783 ^{ns}	1,141 ^{ns}
Salinidade (S)	4	21,654**	49,792**	44,364**	22,009**
Manejo (M)	1	4,893*	14,143**	14,087**	9,507**
S x M	4	7,158**	18,818**	10,908**	13,548**
CV (%)		15,98	8,85	8,29	6,79

** e* Significativo a 1%, 5% de probabilidade para teste F. ^{ns}: não significativo para teste F.

Na Figura 38 apresentam-se os valores do diâmetro do pecíolo durante todo o ciclo da cultura para os diferentes manejos da fertirrigação. Os valores começam a variar a partir da segunda semana com diferenças para ambos os manejos e valores de crescimento de acordo com o tratamento avaliado.

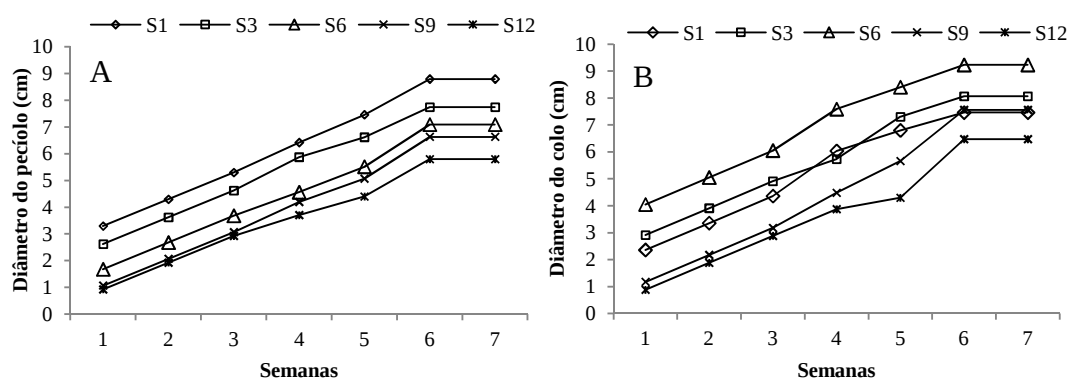


Figura 38. Diâmetro do pecíolo para os diferentes níveis de salinidade : (A) manejo tradicional de fertirrigação e (B) manejo controlado de fertirrigação para a cultivar Itapuã.

A Figura 39 apresenta os gráficos das médias do diâmetro do pecíolo nos manejos tradicionais e por controle da fertirrigação submetidos ao teste de

Tukey a 5% de probabilidade. Observa-se que houve um crescimento do pecíolo no tratamento S6 para o manejo por controle maior do que os demais tratamentos propostos em todas as épocas analisadas. Tal resultado indica que a manutenção da condutividade elétrica no nível de 6 dS m^{-1} através do controle com extratores é benéfica para a cultura, proporcionando um maior desenvolvimento do pecíolo.

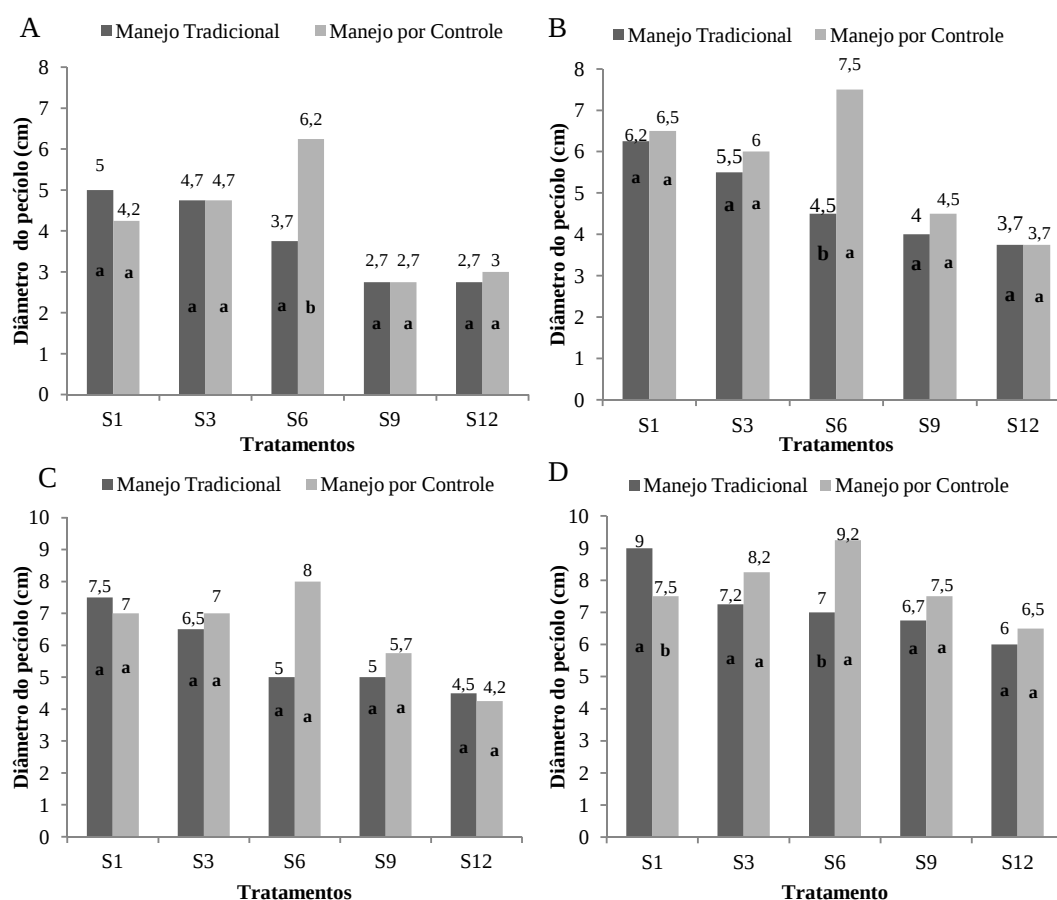


Figura 39. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Itapuã aos 20 DAT (A); 30DAT (B); 40 DAT (C) e 50 DAT (D).

Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As regressões de diâmetro do pecíolo em função da salinidade para a cultivar Itapuã, estão dispostas na Figura 40. Para as análises realizadas para o manejo tradicional o ajuste foi linear com decréscimo em função do incremento da salinidade. Para

o manejo por controle o ajuste foi polinomial quadrático com valor de tolerância próxima de 6 dS m⁻¹, variando entre o aumento e decréscimo do diâmetro do pecíolo entre a condutividade elétrica citada anteriormente.

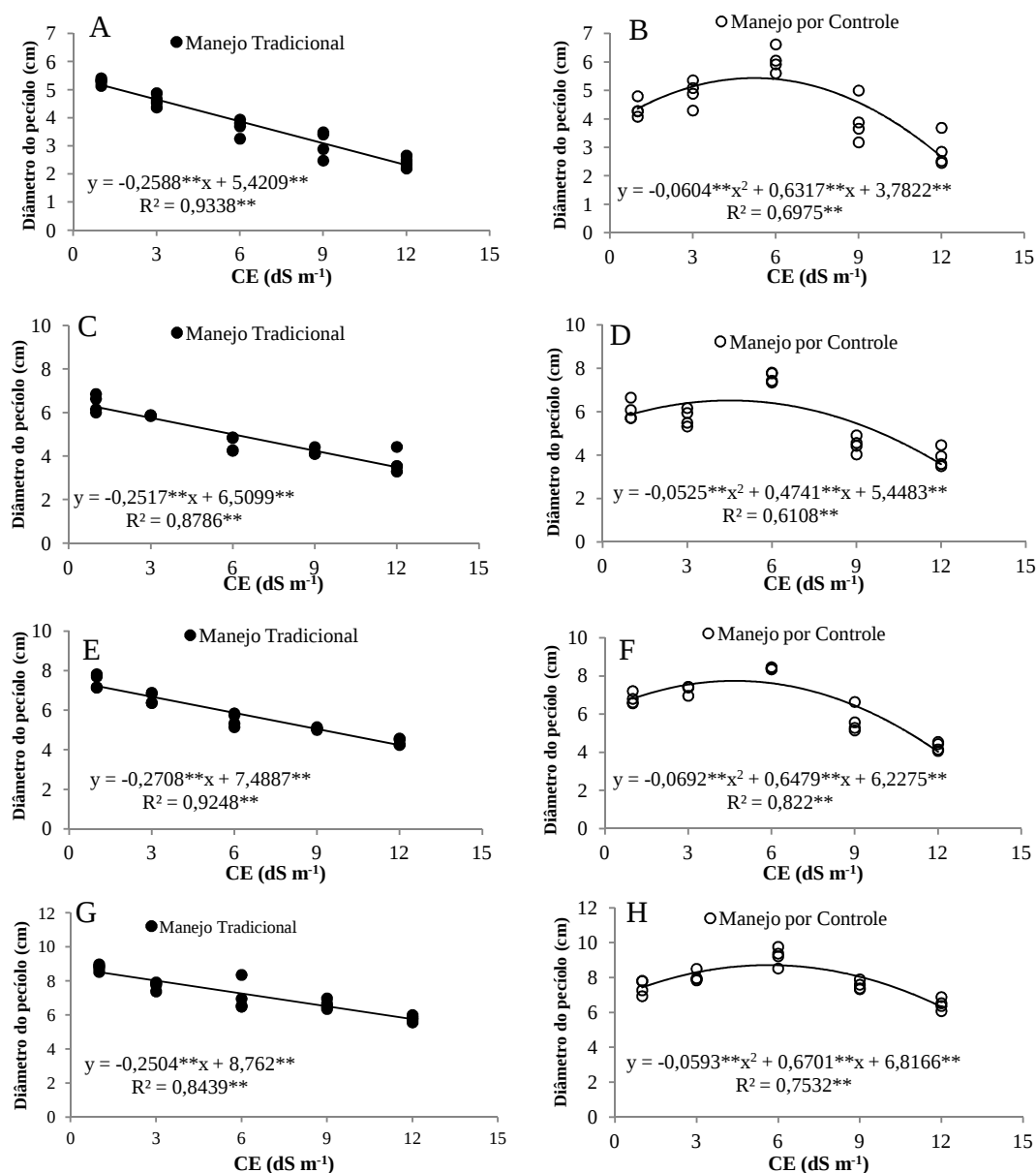


Figura 40. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapua em função da condutividade elétrica entre: diâmetro do pecíolo aos 20 DAT com manejo tradicional (A) e controlado (B), diâmetro do pecíolo aos 30 DAT com manejo tradicional (C) e controlado (D), diâmetro do pecíolo aos 40 DAT com manejo tradicional (E) e controlado (F), diâmetro do pecíolo aos 50 DAT com manejo tradicional (G) e controlado (H).

***: significativo a 1% de probabilidade.

4.2.5.3 Número de folhas

Na Tabela 15 pode-se verificar que a variável número de folhas não foi afetada por nenhum dos fatores analisados, corroborando com os resultados alcançados por Moreno et al. (2001) que não verificaram efeito significativo em relação a parte aérea de plantas de beterraba açucareira quando estas foram submetidas a áreas com excesso de NaCl no solo.

Tabela 15. Resumo da análise de variância para o número de folhas em função de níveis de salinidade para diferentes tipos de cultivar e manejo.

Causa da variação		Teste F			
		20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Tratamentos:	GL				
Blocos	3	0,851 ^{ns}	1,426 ^{ns}	1,070 ^{ns}	1,114 ^{ns}
Salinidade (S)	4	0,626 ^{ns}	0,451 ^{ns}	1,182 ^{ns}	0,143 ^{ns}
Cultivar (C)	1	0,851 ^{ns}	0,140 ^{ns}	0,256 ^{ns}	1,726 ^{ns}
Manejo (M)	1	0,095 ^{ns}	0,389 ^{ns}	0,114 ^{ns}	0,579 ^{ns}
S x C	4	2,007 ^{ns}	2,240 ^{ns}	0,948 ^{ns}	1,224 ^{ns}
S x M	4	2,044 ^{ns}	2,240 ^{ns}	0,735 ^{ns}	0,579 ^{ns}
C x M	1	0,851 ^{ns}	1,260 ^{ns}	1,070 ^{ns}	0,579 ^{ns}
S x C x M	4	0,414 ^{ns}	1,960 ^{ns}	1,296 ^{ns}	1,105 ^{ns}
C.V (%)		11,15	11,26	14,31	16,69

ns: não significativo para teste F.

4.2.5.4 Diâmetro e comprimento da raiz

A análise de variância cujo resumo encontra-se na Tabela 16, evidencia que a variável diâmetro da raiz diferiu significativamente em função dos fatores salinidade inicial, cultivar e manejo da fertirrigação, enquanto a variável comprimento da raiz apresentou efeito significativo nos fatores salinidade e manejo da fertirrigação. Não houve efeito significativo entre as interações estudadas, portanto para facilitar a compreensão das análises, estudou-se as variáveis para cada tipo de cultivar. As variáveis cultivar e manejo da fertirrigação por serem qualitativas, aplicou-se o teste de médias de Tukey a 5%.

Tabela 16. Resumo da análise de variância para o diâmetro e comprimento das raízes em função dos fatores salinidade, cultivar e manejo da fertirrigação.

Causa da variação	Teste F		
	GL	Diâmetro	Comprimento
Blocos	3	0,541 ^{ns}	0,460 ^{ns}
Salinidade (S)	4	4,952**	4,674**
Cultivar (C)	1	4,504*	3,804 ^{ns}
Manejo (M)	1	13,554**	12,909**
S x C	4	2,440 ^{ns}	2,250 ^{ns}
S x M	4	0,754 ^{ns}	0,869 ^{ns}
C x M	1	1,688 ^{ns}	1,781 ^{ns}
S x C x M	4	1,002 ^{ns}	1,122 ^{ns}
C. V (%)		12,77	10,74

** e *: Significativo a 1, 5% para teste F. ^{ns}: Não significativo para teste F.

A Figura 41 apresenta a comparação entre as médias do diâmetro da raiz para os diferentes manejos da fertirrigação entre as cultivares estudadas. Nota-se que houve diferenças entre as médias nos tratamentos S9 e S12 para ambos os manejos. A cultivar Itapuã apresentou os maiores valores de diâmetro da raiz entre os manejos da fertirrigação estudados, apresentando assim uma maior tolerância a salinidade do solo.

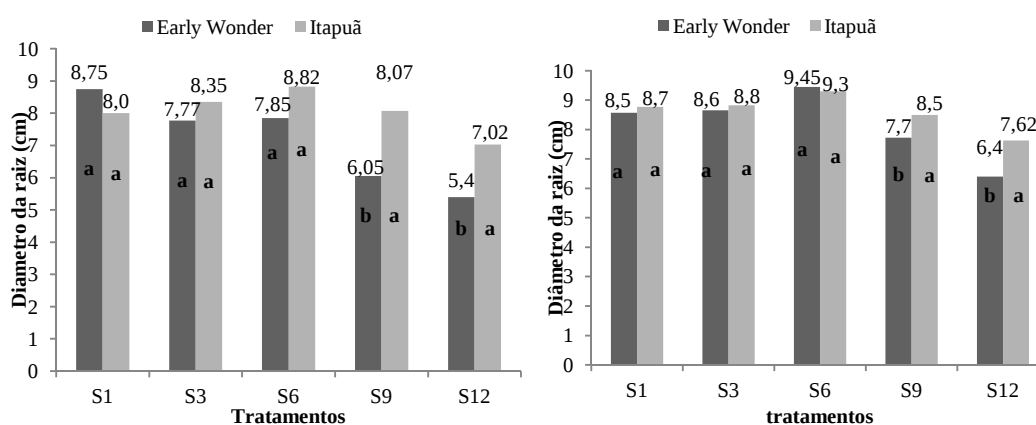


Figura 41. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% entre as cultivares para o diâmetro das raízes no manejo tradicional (A) e por controle (B).

Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 17, pode-se verificar que para a cultivar Early Wonder as variáveis diâmetro e comprimento da raiz diferiram significativamente ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F para os fatores salinidade e manejo da fertirrigação, a interação destes fatores não apresentou diferenças significativas.

Tabela 17. Resumo da análise de variância para diâmetro e comprimento da raiz em função da salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder.

Causa da variação	GL	Teste F	
		Diâmetro	Comprimento
Blocos	3	0,547	0,574
Salinidade (S)	4	14,795**	13,201**
Manejo (M)	1	12,237**	9,574**
S x M	4	1,367	2,214
C.V (%)		11,74	10,43

** e *: Significativo a 1, 5% para teste F. ^{ns}: não significativo para teste F.

O diâmetro da raiz foi afetado pela salinidade do solo mostrando ajuste linear decrescente para os dados de dispersão em relação ao manejo tradicional (Figura 42A). Para o manejo por controle (Figura 42B) o diâmetro da raiz apresentou um aumento de 2,8% para cada incremento unitário da condutividade elétrica até a salinidade limiar de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, a partir de então, houve um decréscimo do diâmetro da raiz de 13% para cada incremento unitário da condutividade elétrica. O comprimento da raiz apresentou para o manejo tradicional (Figura 42C), ajuste linear decrescente com queda de 3% para cada aumento unitário da condutividade elétrica. O manejo por controle (Figura 42D), apresentou ajuste polinomial quadrático para a dispersão dos dados com aumento de 1,82% para o comprimento da raiz de acordo com o incremento da condutividade elétrica da solução do solo até o limiar de $4,78 \text{ dS m}^{-1}$, quando houve a partir do limiar da CE um decréscimo do comprimento da raiz de 3,8% com o aumento unitário da salinidade.

Zarate et al. (2008) estudando a influência de espaçamentos entre plantas na produção da beterraba obtiveram diâmetro máximo da raiz de 65,5 mm, valores estes inferiores aos encontrados neste trabalho (110 mm) comprovando que não houve

influência dos vasos com relação a produção da cultura sendo a salinidade o único fator interferente no experimento.

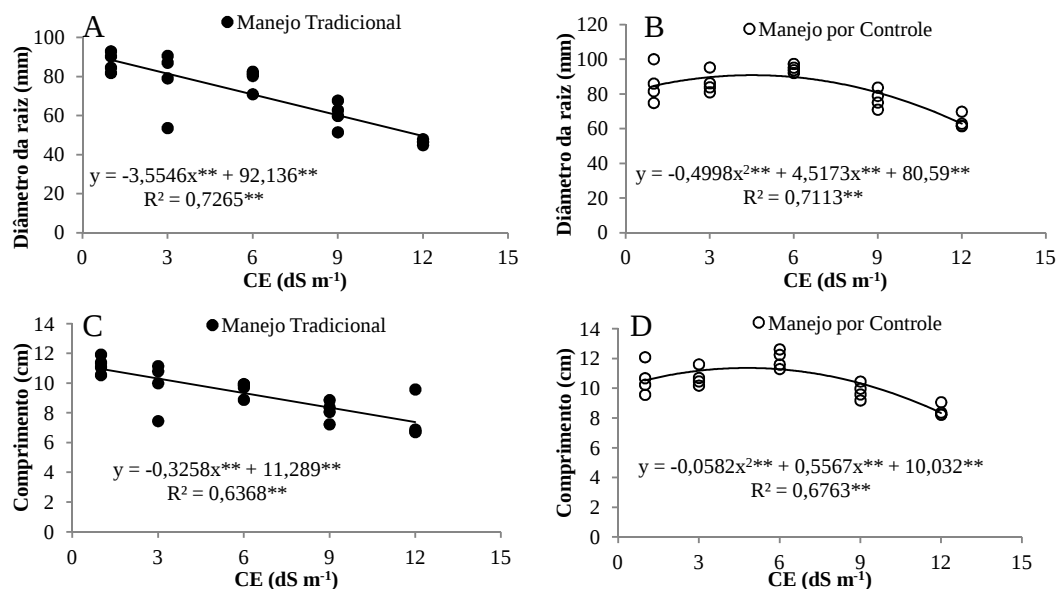


Figura 42. Diagrama de dispersão para: diâmetro das raízes no manejo tradicional (A) e por controle (B); comprimento das raízes para o manejo tradicional (C) e por controle para a cultivar Early Wonder.

*significativo a 1% de probabilidade

Para os diferentes manejos de fertirrigação no diâmetro da raiz cultivar (Figura 43A) o teste de média (Tukey) apresentou diferenças para os tratamentos S6 com 7,8 cm para o manejo tradicional (M1) e 9,4 cm para o manejo por controle (M2), e no tratamento S9 em que as médias foram de 6 e 7,72 cm para M1 e M2 respectivamente, o mesmo acontecendo para o comprimento da raiz (Figura 43B) em que houve diferenças entre os manejos nos tratamentos S6 e S9.

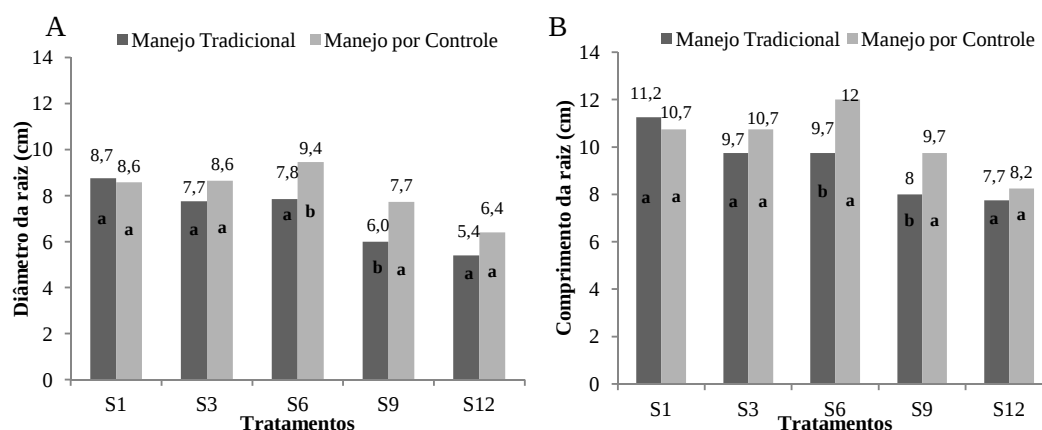


Figura 43. Comparação de médias entre os manejos da fertirrigação pelo teste de Tukey a 5% para o diâmetro (A) e comprimento das raízes (B) na cultivar Early Wonder.

Médias com mesma letra entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A Tabela 18 apresenta a análise de variância para a cultivar Itapuã. Os fatores salinidade do solo e manejo da fertirrigação apresentaram efeito significativo para as variáveis estudadas ao nível de 1 e 5% para o teste F. Não houve efeito significativo entre a interação dos fatores.

Tabela 18. Resumo da análise de variância para diâmetro e comprimento da raiz em função de níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã.

Causa da variação	Teste F		
	GL	Diâmetro	Comprimento
Blocos	3	0,627 ^{ns}	1,253 ^{ns}
Salinidade (S)	4	4,915**	4,595*
Manejo (M)	1	4,594 *	5,032**
S x M	4	0,061 ^{ns}	0,323 ^{ns}
C.V(%)		9,74	7,82

**e*: significativo a 1%, 5% para teste F; ns: não significativo para teste F.

Para a cultivar Itapuã (Figura 44A) não houve diferenças entre as médias no diâmetro da raiz para ambos os manejos da fertirrigação apresentados pelo teste de Tukey a 5%. Para o comprimento da raiz (Figura 44B), houve diferenças entre as

médias nos tratamentos S6 para os manejos da fertirrigação, com maior valor apresentado para o manejo por controle. Os manejos da fertirrigação não apresentaram diferenças impactantes nas variáveis estudadas, talvez a presença de sais no solo em ambos os manejos foi o principal fator que provocou a redução nas medições do diâmetro e comprimento da raiz, principalmente nos maiores níveis de CE na solução do solo.

Em experimentos com excesso de sais, Dias (2004) observou que os diferentes manejos da fertirrigação não apresentaram diferenças significativas no melão, diferentemente dos apresentados pela cultura da beterraba. Possivelmente, o manejo por controle da fertirrigação em culturas mais tolerantes ao excesso de sais, podem apresentar efeitos benéficos, podendo prevenir de maneira eficiente o acúmulo desnecessário de sais no solo, antes que a cultura sofra por seus efeitos. Silva et al. (2012b) afirmam que o controle da condutividade elétrica deve ser realizado com medições prévias através do uso de condutímetro portátil, antes e durante o cultivo, para garantir níveis adequados de adubos para a cultura.

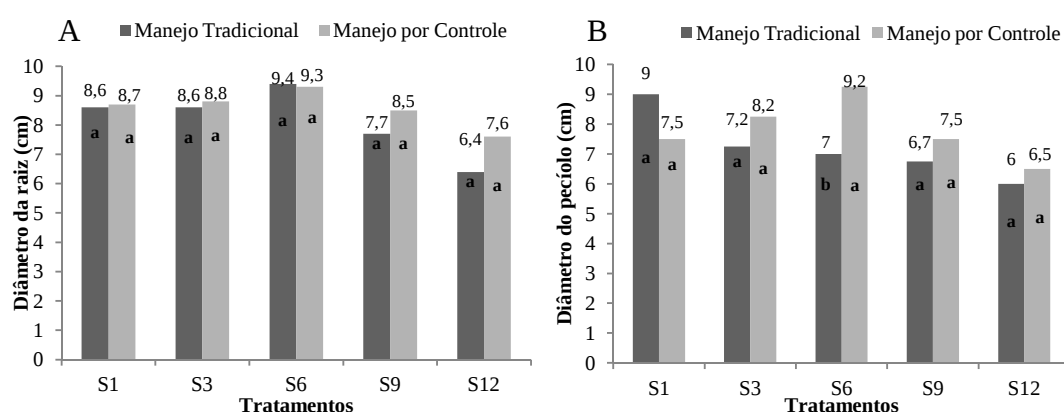


Figura 44. Comparação de médias entre os manejos da fertirrigação pelo teste de Tukey a 5% para o diâmetro (A) e comprimento das raízes (B) para a cultivar Itapuã. Médias com mesma letra entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Figura 45 observa-se o diagrama de dispersão para a cultivar Itapuã. O ajuste para as variáveis diâmetro e comprimento da raiz no manejo tradicional da fertirrigação apresentou ajuste linear com decréscimo de 2,52 e 2,73% respectivamente. O manejo por controle apresentou para o diâmetro da raiz (Figura 45B) e o comprimento da

raiz (Figura 45D) ajuste polinomial com aumento de 4,2 e 6,8% respectivamente para cada incremento unitário da CE na solução do solo até a salinidade limiar de 5,8 dS m⁻¹, com decréscimo a partir de então de 0,5 e 0,48% .

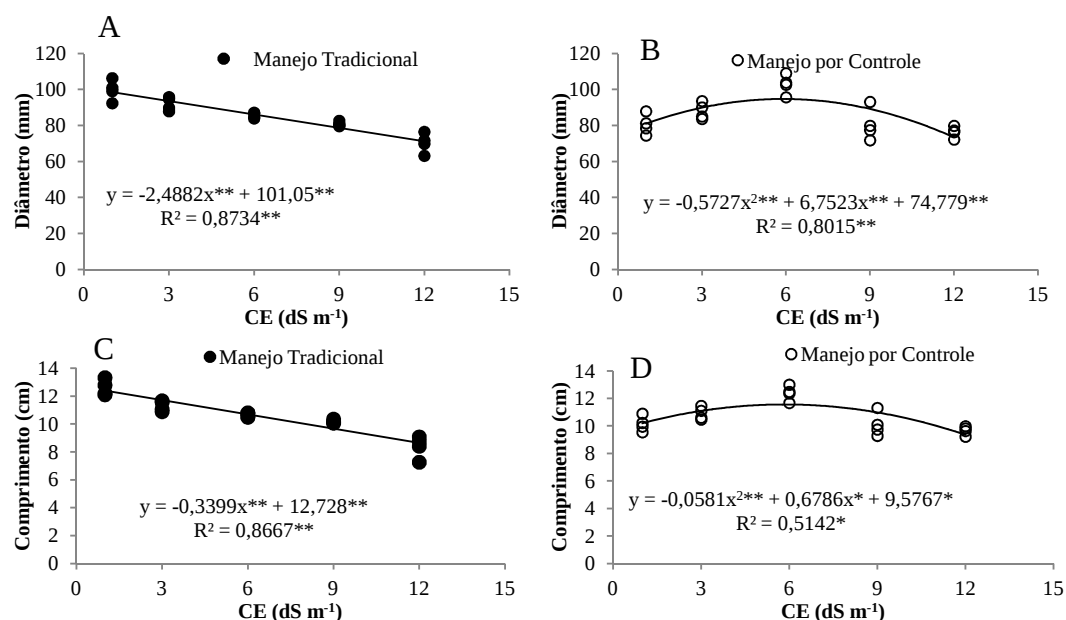


Figura 45. Diagrama de dispersão para: diâmetro das raízes no manejo tradicional (A) e por controle (B); comprimento das raízes para o manejo tradicional (C) e por controle (D) para a cultivar Itapua.

* e ** significativo a 1 e 5% de probabilidade

4.2.5.5 Massa da parte aérea e da raiz

Na Tabela 19 apresenta-se a análise de variância para as variáveis massa de matéria fresca da parte aérea (MFPA), massa de matéria fresca da raiz (MFR), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e massa de matéria seca da raiz (MSR). Pelo teste de F verificou-se que todas as variáveis diferiram significativamente a 1% em função da salinidade do solo assim como pela interação manejo e salinidade. Desta forma realizou-se o estudo em separado para os diferentes manejos da fertirrigação em função da salinidade da solução do solo. Katerji et al. (2003) em estudos com salinidade em cultivo de beterraba observaram um efeito significativo com relação ao fator salinidade na produção da cultura sendo considerada tolerante a salinidade.

Tabela 19. Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), em função dos níveis de salinidade, cultivar e manejo

Causa da variação	Teste F				
	GL	MFPA	MFR	MSPA	MSR
Blocos	3	1,588 ^{ns}	0,080 ^{ns}	0,087 ^{ns}	0,315 ^{ns}
Salinidade (S)	4	109,383**	30,765**	39,241**	42,867**
Cultivar (C)	1	0,133 ^{ns}	3,527 ^{ns}	66,587**	52,667**
Manejo (M)	1	3,147 ^{ns}	20,598**	33,632**	32,909**
S x C	4	1,240 ^{ns}	0,606 ^{ns}	0,273 ^{ns}	1,559 ^{ns}
S x M	4	29,253**	4,077**	12,255**	10,666**
C x M	1	1,793 ^{ns}	0,270 ^{ns}	3,606 ^{ns}	5,522*
S x C x M	4	0,726 ^{ns}	0,915 ^{ns}	1,018 ^{ns}	0,423 ^{ns}
C.V(%)		8,56	18,87	13,09	15,67

** e *: Significativo a 1%; 5% para o teste F; ns: não significativo para teste F.

A Figura 46 apresenta a comparação de médias das massas de matéria seca da parte aérea (Figura 46A) no manejo tradicional e por controle (Figura 46 B) para as duas cultivares estudadas. O manejo tradicional apresentou diferenças entre as médias dos tratamentos S6 e S9 para as diferentes cultivares estudadas. No manejo por controle houve diferenças entre as cultivares em todas as médias com excessão do tratamento S1. A massa de matéria seca da raiz (MSR) apresenta para o manejo tradicional (Figura 46C) diferenças entre as médias das cultivares no tratamento S12 enquanto no manejo por controle houve diferenças entre as médias em todos os tratamentos com excessão do tratamento S1.

Segundo Grangeiro et al. (2007) as raízes da beterraba correspondem a 48% da massa seca da planta quando a mesma apresenta-se em estado nutricional satisfatório, indicando a máxima produção da cultura. Neste experimento os maiores valores de matéria seca das raízes foram encontradas no tratamento S6, onde a condutividade elétrica (CE) da solução do solo foi mantida em um nível aproximado de 6 dS m⁻¹, produzindo satisfatoriamente no manejo por controle. Portanto, em cultivo protegido com problemas de salinidade do solo até o nível de CE de 6 dS m⁻¹, o produtor

rural poderá optar pelo cultivo desta cultura como fonte de renda até o estabelecimento de uma condutividade elétrica desejável para outras culturas.

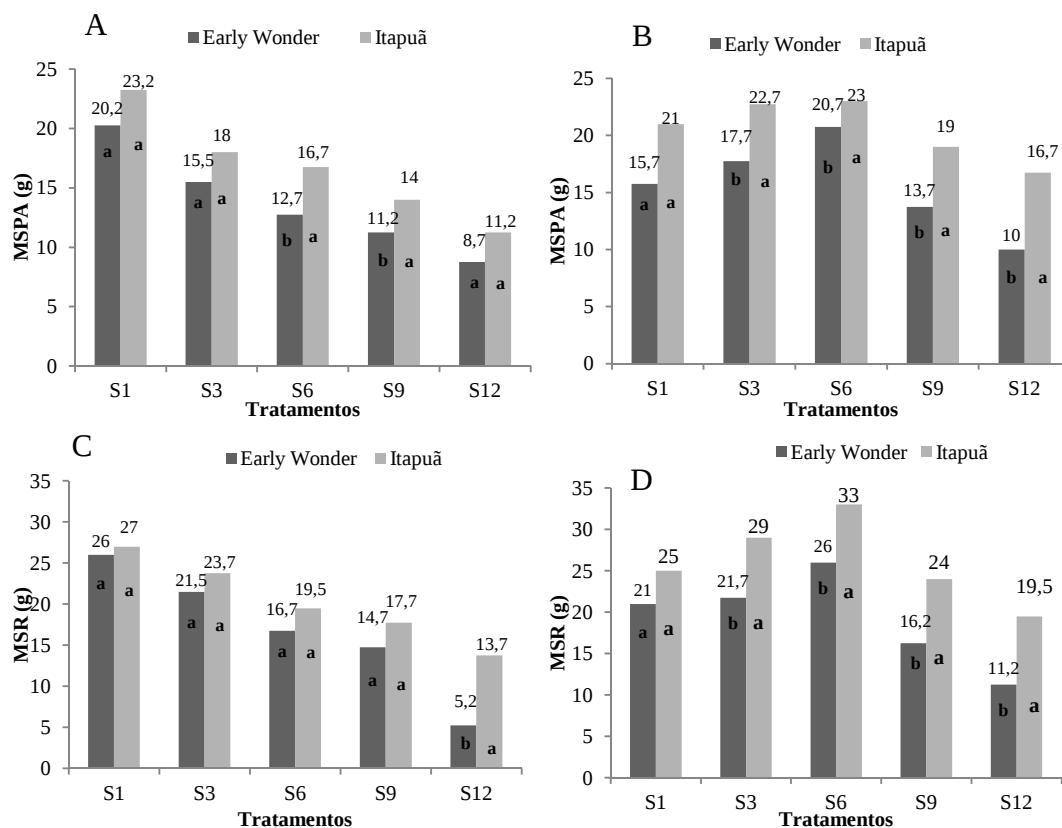


Figura 46. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para: a massa seca da parte aérea para as diferentes cultivares no manejo tradicional (A) e manejo por controle (B); massa seca da raiz no manejo tradicional (C) e por controle (D). Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para a cultivar Early Wonder (Tabela 20) todas as variáveis apresentaram efeito significativo (1 a 5% de probabilidade) para todos os fatores com exceção do fator bloco. Silva (2002) e Dias (2004) trabalhando com efeito dos sais em cultivo de pimentão e melão, respectivamente, observaram que o manejo adotado para o controle da salinidade não teve efeito significativo nas características vegetais das culturas quando comparada ao manejo tradicional, enquanto no presente experimento, a cultura da beterraba apresentou diferenças nas características vegetais entre os manejos adotados. Isto pode ter ocorrido possivelmente pela tolerância apresentada pela cultura da beterraba à

salinidade (AYERS; WESTCOT, 1997) ser maior do que as culturas do pimentão e meloeiro.

Tabela 20. Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), em função dos níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Early Wonder

Causa da variação	Teste F				
	GL	MFPA	MFR	MSPA	MSR
Blocos	3	0,223	1,517	1,459	0,516
Salinidade (S)	4	58,164**	12,428**	40,272**	4,495*
Manejo (M)	1	4,427*	12,817**	13,984**	23,243**
S x M	4	15,307**	3,958*	15,316**	4,457**
C.V(%)		8,98	19,63	10,97	20,27

** e*: Significativo a 1%;5% para teste F; ns: não significativo para teste F.

Para o manejo tradicional, a variável massa fresca da parte aérea para a salinidade inicial (Figura 47A) mostrou uma tendência de decréscimo com o incremento da salinidade. Para o manejo controlado (Figura 47B) o ajuste foi quadrático com o maior valor apresentado na CE de 4,58 dS m⁻¹. A variável massa fresca da raiz submetida ao manejo tradicional apresentou um ajuste linear decrescente de acordo com o incremento da salinidade com coeficiente de determinação de 0,726 (Figura 47C), enquanto que para ao manejo controlado (Figura 47D) o ajuste foi polinomial com coeficiente de determinação de 0,55. Para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) no manejo tradicional (Figura 47E), há forte evidência de que o aumento da condutividade elétrica na solução do solo em uma unidade implicará redução de 0,974 g por planta para o intervalo estudado (1 a 12 dS m⁻¹). No manejo por controle (Figura 47F) a massa fresca da parte aérea apresentou ajuste polinomial quadrático com queda na MSPA na CE ao nível de 4,9 dS m⁻¹. Na massa seca da raiz o manejo tradicional (Figura 47G) apresentou redução de 1,72 g planta⁻¹ para cada aumento unitário da CE no solo, enquanto o manejo por controle (Figura 47H) apresentou decréscimo da MSPA a partir da CE limiar de 4,41dS m⁻¹.

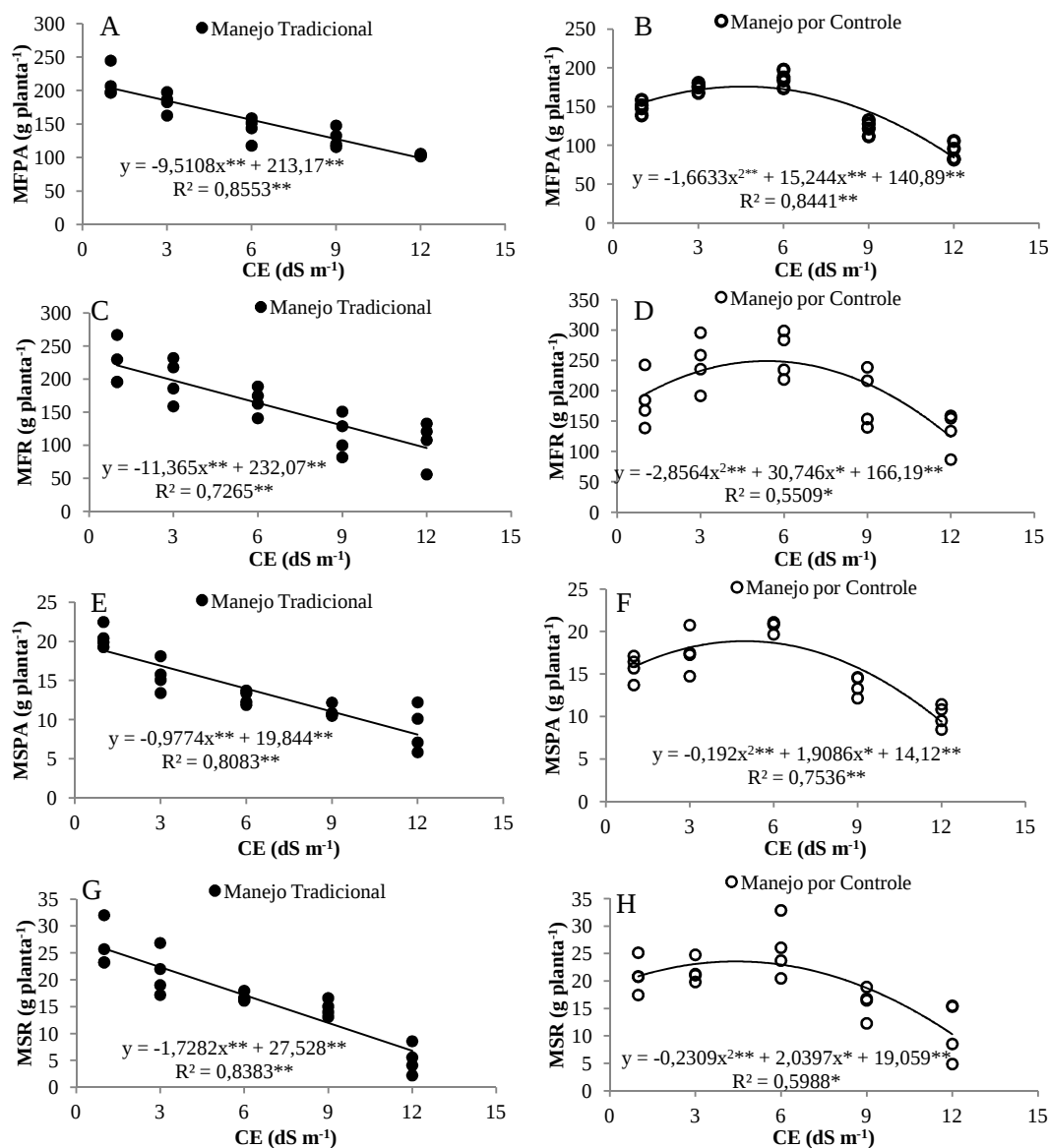


Figura 47. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para massa fresca da parte aérea (MFPA) para salinidade inicial do solo (A) e para o manejo controlado (B) para massa fresca da raiz (MFR) para salinidade inicial do solo (C) e para o manejo controlado (D) para a massa seca da parte aérea (MSPA) para salinidade inicial do solo (E) e para o manejo controlado (F) para massa fresca da raiz (MSR) para salinidade inicial do solo (G) e para o manejo controlado (H) na cultivar Early Wonder

**e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente.

A Figura 48 apresenta o teste de médias para os diferentes manejos da fertirrigação na variável matéria fresca da parte aérea (MFPA) e da raiz (MFR) na

cultivar Early Wonder. Na massa de matéria fresca da parte aérea (Figura 48A) houve diferenças entre as médias nos tratamentos S1 com maior valor para o manejo tradicional e S6 com maior valor para o manejo por controle, tais médias entre os tratamentos podem ser explicadas pelos valores de CE limiar encontradas na solução do solo inferiores a 5 dS m^{-1} no final do ciclo de cultivo nos tratamentos S1, S3 e S6. A massa fresca da raiz apresentou diferenças entre as médias dos manejos nos tratamentos S6 e S9. As médias da massa seca da parte aérea (Figura 48C) e massa seca da raiz (Figura 48D) apresentaram diferenças entre os manejos nos tratamentos S6 para MSPA e S1 e S6 para MSR.

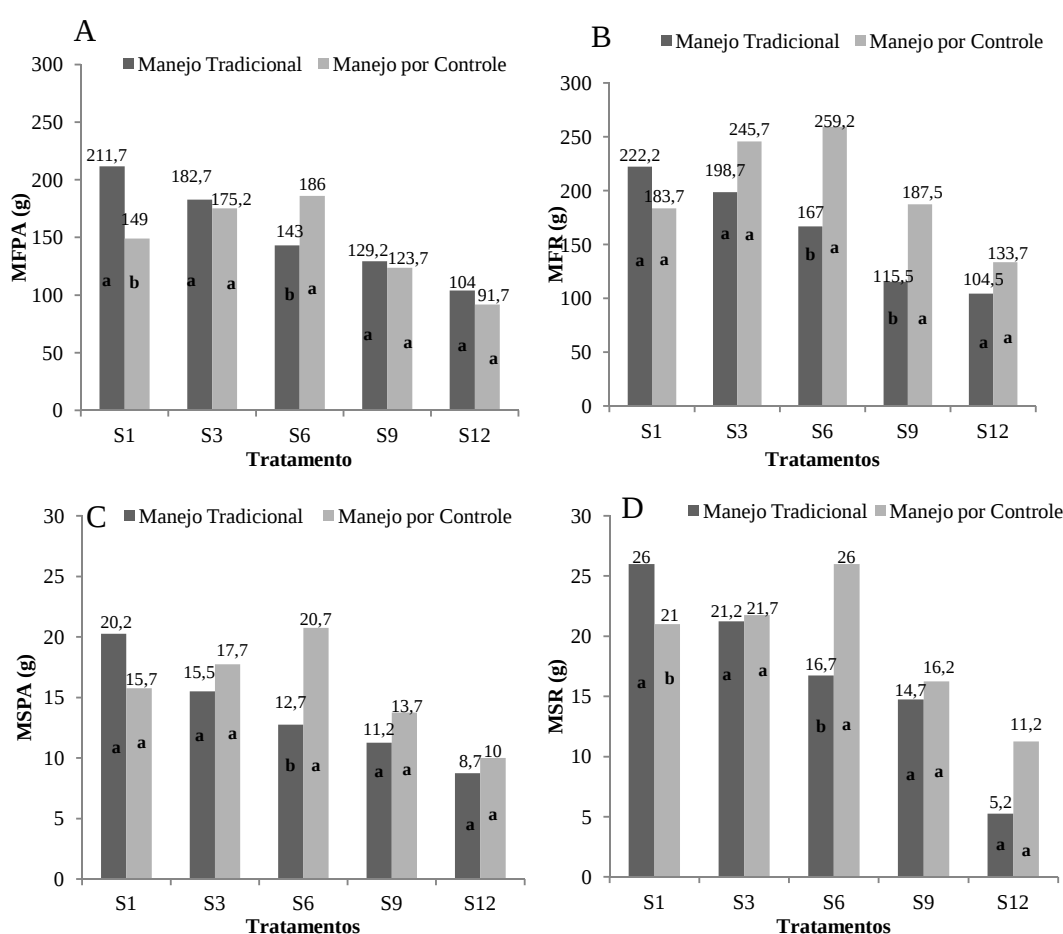


Figura 48. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Early Wonder em: MFPA (A); MFR (B); MSPA (C) e MSR (D)

Médias com mesma letras entre tratamentos não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A diferença entre as massas de matéria da parte aérea e da raiz podem ser atribuídas ao excesso de sais no solo proporcionado pelo manejo tradicional da fertirrigação, o que provocou a redução da raiz (Figura 49A) nos tratamentos com condutividade elétricas acima de 6 dS m^{-1} . Na Figura 49B observa-se o desenvolvimento das plantas ao final do ciclo de cultivo no manejo por controle da fertirrigação, os tratamentos S1, S3 e S6 não apresentaram nenhum tipo de problema no desenvolvimento vegetativo, enquanto os tratamentos S9 e S12 apresentaram redução acentuada da raiz.

Hajiboland et al. (2009) estudando os efeitos da salinidade da água ao nível de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ em seis cultivares de beterraba no norte do Iran, observaram que houve um decréscimo na produção das cultivares quando comparadas ao tratamento controle ($\text{CE}=0,22 \text{ dS m}^{-1}$). Os resultados encontrados por Hajiboland et al. (2009) foram inferiores aos encontrados neste estudo para a condutividade elétrica de 6 dS m^{-1} , percebendo-se que os efeitos do NaCl podem ser mais severos do que os provocados pelo excesso de sais fertilizantes. Porém, Villas Boas et al. (1999) ressalta que deve-se ter cuidado com os níveis de CE de cada fertilizante na composição da solução nutritiva, pois descuidados com a salinidade da solução nutritiva podem provocar efeitos indesejáveis na produção da cultura.



Figura 49. Plantas de beterraba (cultivar Early Wonder) submetidas aos diferentes tipos de salinidade para o manejo tradicional (A) e manejo controlado (B)

A Tabela 21 refere-se ao resumo da análise de variância para a cultivar Itapuã. Nela pode-se verificar que as variáveis relacionadas à massa fresca e seca da parte aérea e da raiz foram influenciadas significativamente pelos níveis de salinidade

do solo. O fator manejo da fertirrigação não apresentou efeito significativo apenas para massa fresca da parte aérea.

Tabela 21. Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), em função dos níveis de salinidade e manejo da fertirrigação para a cultivar Itapuã

Causa da variação	Teste F				
	GL	MFPA	MFR	MSPA	MSR
Blocos	3	1,748 ^{ns}	1,326 ^{ns}	0,840 ^{ns}	1,889 ^{ns}
Salinidade (S)	4	48,105**	9,715**	12,931**	22,419**
Manejo (M)	1	0,097 ^{ns}	22,818**	21,762 **	49,631**
S x M	4	13,548**	1,253 ^{ns}	3,627*	8,199**
C.V(%)		8,46	16,55	13,65	11,28

** e*: significativo a 1%, 5% de probabilidade para teste F; ns: não significativo para teste F.

A Figura 50A, mostra a análise de regressão para a variável massa fresca da parte aérea (MFPA) no manejo tradicional da fertirrigação. O ajuste apresentado foi o linear decrescente havendo forte evidência de que o aumento da condutividade elétrica na solução do solo em uma unidade implicará na redução de 8,6662 g planta⁻¹ para o intervalo estudado (1 a 12 dS m⁻¹). No manejo por controle (Figura 50B) a MFPA apresentou ajuste linear polinomial quadrático para o ajuste dos dados com aumento da variável estudada até a salinidade limiar de 5,13 dS m⁻¹. Na Figura 50C, mostra a análise de regressão para os dados dispersos da variável massa fresca da raiz (MFR) no manejo tradicional, o ajuste apresentado foi o linear decrescente com redução de 11,025g planta⁻¹ a cada incremento unitário da condutividade elétrica na solução do solo. No manejo por controle (Figura 50D) o ajuste foi polinomial quadrático com queda dos valores de MFR a partir da condutividade elétrica de 3,31 dS m⁻¹. A massa seca da parte aérea (MSPA) do manejo tradicional (Figura 50E) apresentou ajuste linear decrescente com redução de 0,9578 g planta⁻¹ para cada incremento unitário da CE. Para o manejo por controle (Figura 50F) a queda na produção da MSPA começou a partir da CE de 4,40 dS m⁻¹. Na Figura 50G apresenta o ajuste dos dados da massa da matéria seca da raiz (MSR) para o manejo tradicional, de acordo com a equação apresentada há uma forte evidência de que o aumento

da CE em uma unidade implicará na redução de $1,1861 \text{ g planta}^{-1}$ da MSR. Para o manejo por controle há uma queda dos valores de MSR a partir da salinidade limiar de $5,25 \text{ dSm}^{-1}$.

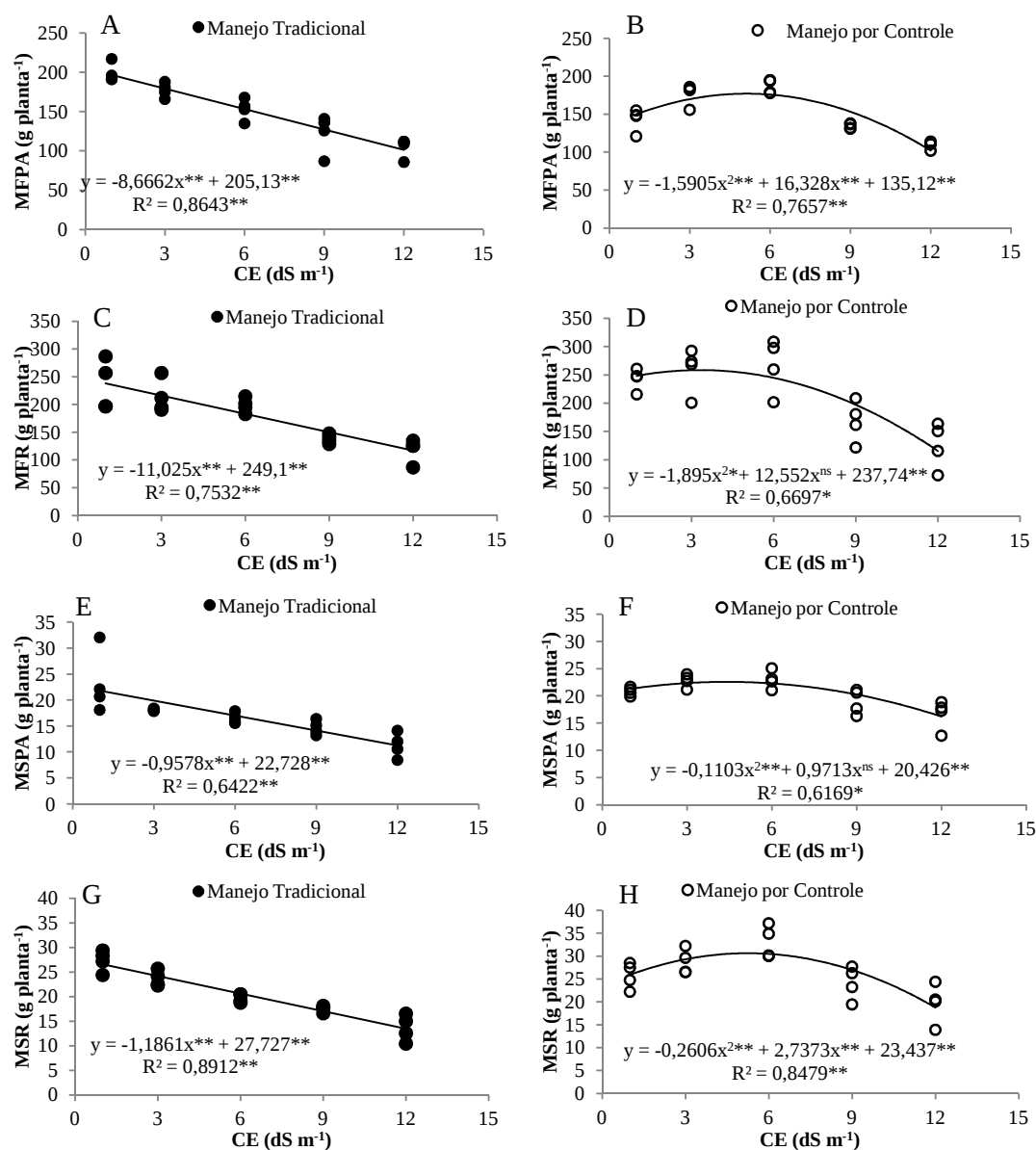


Figura 50. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para massa fresca da parte aérea (MFPA) para salinidade inicial do solo (A) e para o manejo controlado (B) para massa fresca da raiz (MFR) para salinidade inicial do solo (C) e para o manejo controlado (D) para a massa seca da parte aérea (MSPA) para salinidade inicial do solo (E) e para o manejo controlado (F) para massa seca da raiz (MSR) para salinidade inicial do solo (G) e para o manejo controlado (H) na cultivar Itapuã

*e**:significativo a 5;1% de probabilidade; ns: não significativo.

A Figura 51 mostra a comparação das médias da massa fresca da parte aérea (MSPA) da raiz (MSR) e a massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) pelo teste de Tukey para a cultivar Itapuã. Para o manejo tradicional os maiores valores das variáveis analisadas foram encontrados no tratamento S1, pois com a aplicação de fertilizantes aumentou sua CE de maneira à proporcionar rendimentos elevados na cultura. Para o manejo por controle o tratamento S6 apresentou os maiores valores entre todas as variáveis estudadas concordando com o limite de salinidade limiar mostrado por Ayers e Westcot (1991). Em cultivo protegido para se alcançar tais níveis de salinidade no solo seriam necessários cultivos intensivos e fertirrigados durante vários ciclos de uma cultura qualquer, sem monitoramento, acarretando assim problemas em culturas de valores mais rentáveis. Talvez no caso citado a beterraba possa interferir de maneira positiva na CE da solução do solo quando cultivada nestas condições.

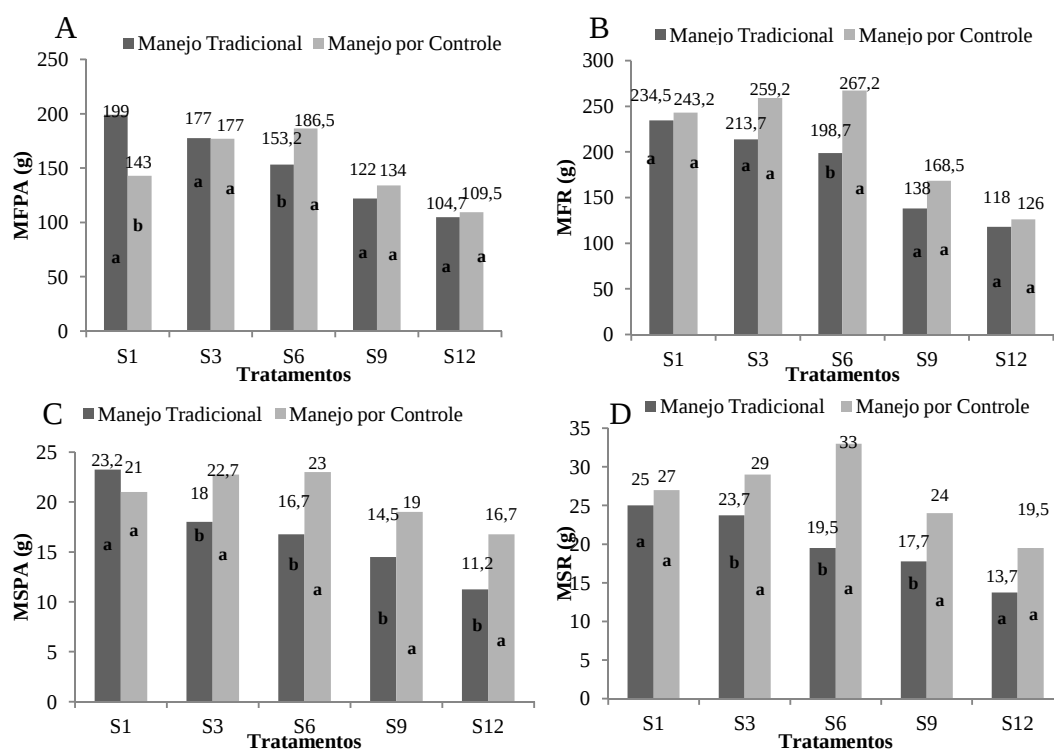


Figura 51. Comparação do teste de média de Tukey 5% para os diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Itapuã em: MFPA (A); MFR (B); MSPA (C) e MSR (D)

*Médias seguidas de mesma letra do mesmo nível de salinidade não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

4.2.5.6 Área foliar

Os resultados obtidos para área foliar encontram-se na Tabela 22. A área foliar não sofreu efeito de nenhum dos fatores estudados, provavelmente por ter sido produzidas em bandejas em condições adequadas de cultivo sem qualquer estresse como recomendado por Mass e Hofmann (1977), não houve qualquer redução na área foliar da cultura.

Tabela 22. Resumo da análise de variância para a área foliar ao longo do ciclo em função dos níveis de salinidade, cultivar e manejo da fertirrigação.

Causa da variação	Teste F				
	GL	20 DAT	30 DAT	40 DAT	50 DAT
Blocos	3	1,000 ^{ns}	1,727 ^{ns}	2,111 ^{ns}	0,613 ^{ns}
Salinidade (S)	4	1,000 ^{ns}	1,629 ^{ns}	0,396 ^{ns}	2,166 ^{ns}
Cultivar (C)	1	1,000 ^{ns}	0,148 ^{ns}	2,071 ^{ns}	0,148 ^{ns}
Manejo (M)	1	1,000 ^{ns}	0,111 ^{ns}	2,022 ^{ns}	0,542 ^{ns}
S x C	4	1,000 ^{ns}	0,888 ^{ns}	1,527 ^{ns}	0,919 ^{ns}
S x M	4	1,000 ^{ns}	1,629 ^{ns}	0,396 ^{ns}	1,931 ^{ns}
C x M	1	1,000 ^{ns}	0,148 ^{ns}	1,071 ^{ns}	0,368 ^{ns}
S x C x M	4	1,000 ^{ns}	0,888 ^{ns}	1,527 ^{ns}	1,126 ^{ns}
C.V(%)		5,86	7,98	19,56	20,77

^{ns}: não significativo para o teste F.

4.2.5.7 Análise foliar das plantas

A Tabela 23 mostra a análise de variância para os macronutrientes obtidos através da análise foliar das plantas. Para o fator salinidade os macronutrientes fósforo, potássio e magnésio apresentaram efeito significativo, enquanto o fator cultivar apresentou efeito significativo apenas na variável cálcio (Ca). O fator manejo da fertirrigação apresentou efeito significativo para todas as variáveis estudadas excetuando apenas o enxofre (S). Não houve efeito significativo por nenhuma das interações estudadas.

Tabela 23. Resumo da análise de variância para os valores nutricionais dos macronutrientes nas folhas das plantas em função de níveis de salinidade, para diferentes tipos de cultivares e manejos

Causa da variação	Teste F						
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	3	0,826 ^{ns}	1,256 ^{ns}	1,375 ^{ns}	0,816 ^{ns}	0,562 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Salinidade (S)	4	1,559 ^{ns}	4,711**	3,058*	2,184 ^{ns}	6,347**	0,21 ^{ns}
Cultivar (C)	1	4,474*	0,735 ^{ns}	0,294 ^{ns}	33,895**	0,060 ^{ns}	3,12 ^{ns}
Manejo (M)	1	6,730*	15,835**	12,027**	14,724**	10,595**	0,64 ^{ns}
S x C	4	1,408 ^{ns}	0,670 ^{ns}	2,737*	2,032 ^{ns}	1,333 ^{ns}	1,23 ^{ns}
S x M	4	0,263 ^{ns}	0,320 ^{ns}	1,775 ^{ns}	0,578 ^{ns}	0,560 ^{ns}	0,81 ^{ns}
C x M	1	0,702 ^{ns}	0,169 ^{ns}	0,265 ^{ns}	0,280 ^{ns}	0,776 ^{ns}	0,70 ^{ns}
S x C x M	4	3,020*	0,082 ^{ns}	0,992 ^{ns}	1,461 ^{ns}	1,106 ^{ns}	0,89 ^{ns}
C.V(%)		8,78	20,39	9,80	27,07	14,62	17,19

** e *: significativo a 1%; 5% de probabilidade para o teste F. ^{ns}: não significativo para teste F.

Na Figura 52 apresenta-se o teste de comparação de médias por Tukey para o fator cultivar dentro de cada tratamento estudado. Conforme é mostrado, o cálcio apresentou diferenças entre as cultivares estudadas no manejo tradicional (Figura 52C) e por controle (Figura 52D) em todos os tratamentos. Em ambos os casos a cultivar Early Wonder apresentou os maiores valores dentre os tratamentos, mesmo que nas características vegetais estudadas anteriormente, esta cultivar apresentou menor rendimento quando comparada com a cultivar Itapuã. Segundo Grangeiro et al. (2007) o acúmulo de cálcio na planta ocorre em maior quantidade na parte aérea das plantas ao contrário dos outros nutrientes (N, P, K) em que a raiz é a principal fonte destes.

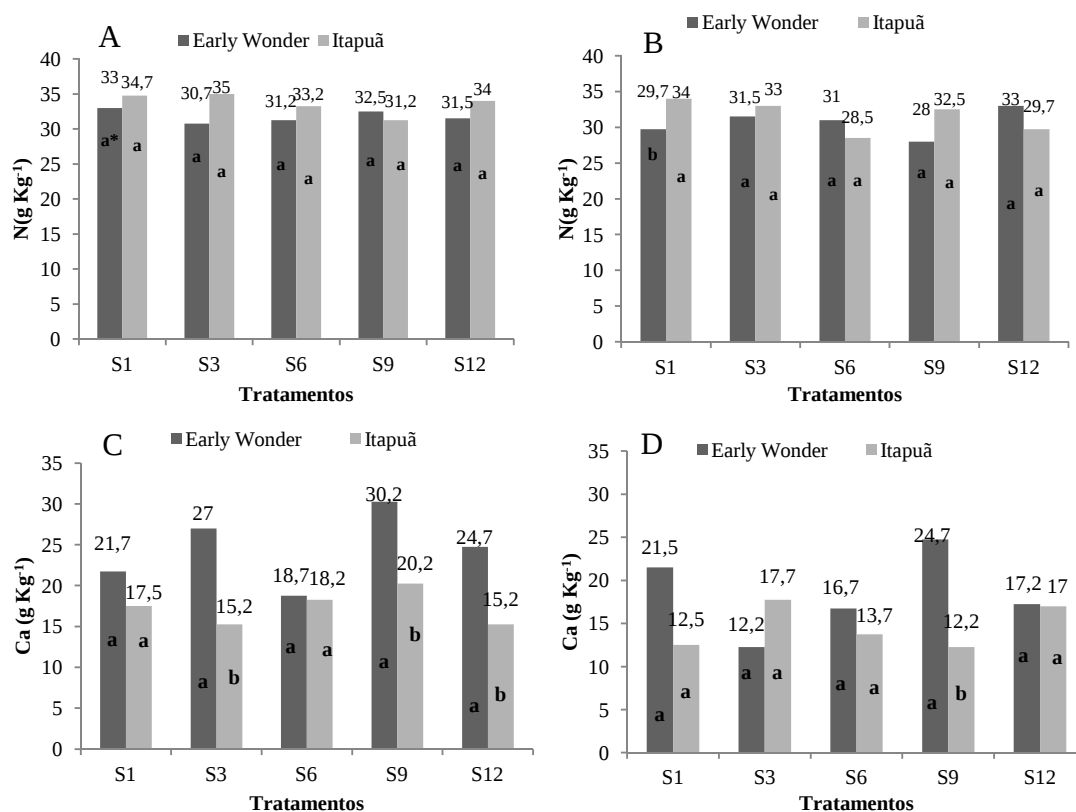


Figura 52. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para os teores de nitrogênio no manejo tradicional (A) e por controle (B) e para os teores de cálcio no manejo tradicional (C) e por controle (D) nas duas cultivares estudadas.

*Médias seguidas de mesma letra do mesmo nível de salinidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 24 apresenta a análise de variância para a cultivar Early Wonder. O fator salinidade apresentou efeito significativo apenas no potássio e magnésio, enquanto o fator manejo, o efeito significativo foi encontrado no fósforo, potássio e cálcio.

Figura 24. Análise de variância para os teores de macronutrientes na cultivar Early Wonder.

Causa da variação	Teste F						
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	3	0,240 ^{ns}	0,684 ^{ns}	0,725 ^{ns}	0,359 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Salinidade (S)	4	0,497 ^{ns}	2,601 ^{ns}	3,465*	2,217 ^{ns}	3,677*	1,40 ^{ns}
Manejo (M)	1	1,300 ^{ns}	7,362*	6,115*	5,465*	2,68 ^{ns}	0,01 ^{ns}
S x M	4	1,528 ^{ns}	0,066 ^{ns}	1,568 ^{ns}	0,600 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,451 ^{ns}
C.V(%)		9,76	22,88	11,23	30,40	14,91	15,52

*:5% de probabilidade para o teste F; ^{ns}: não significativo para teste F.

Na Figura 53 apresenta-se o diagrama de dispersão para a cultivar Early Wonder nos diferentes manejos estudados. Observa-se que para o efeito do potássio na planta em relação a salinidade do solo a Figura 53A não apresentou um ajuste satisfatório. Para o efeito do magnésio não houve ajuste satisfatório para os dados estudados.

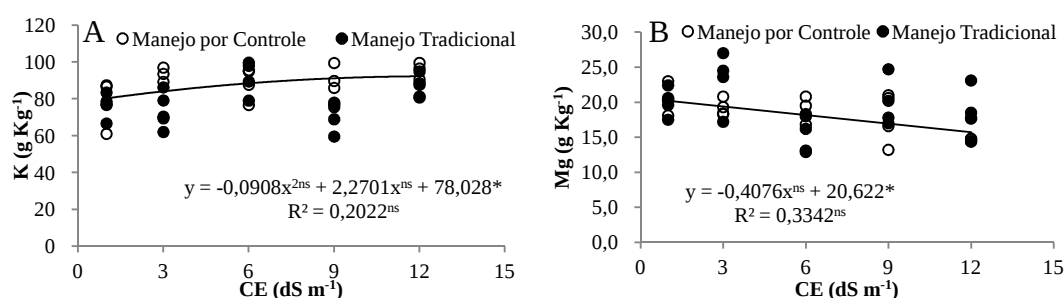


Figura 53. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para teores de K no manejo tradicional (A) e por controle (B) e teores de Mg no manejo tradicional (C) e por controle (D) na cultivar Early Wonder.

*:significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

A Figura 54 apresenta a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os teores de nutrientes encontrados nas plantas submetidas aos diferentes manejos da fertirrigação estudados. As plantas submetidas ao manejo tradicional apresentaram as maiores concentrações de nutrientes nas plantas na maioria dos tratamentos estudados, possivelmente devido a maior oferta de nutrientes disponível na solução do solo. O cálcio foi o nutriente de menor acúmulo na planta entre todos os macronutrientes nos manejos estudados, também observa-se que dentre os tratamentos estudados, S9 apresentou diferenças entre as médias dos manejos da fertirrigação propostos para a variável nitrogênio (Figura 54A). Para os teores de fósforo (Figura 54B), houve diferenças entre as médias dos manejos da fertirrigação nos tratamentos S3 e S9 com valores superiores para o manejo da fertirrigação tradicional. Para o teor de potássio (Figura 54C), o tratamento S9 apresentou diferenças entre as médias dos manejos da fertirrigação propostos. Para os teores de cálcio(Figura 54D), os tratamentos S3, S9 e S12 apresentaram diferenças entre as médias dos manejos da fertirrigação, com valores superiores para o manejo tradicional.

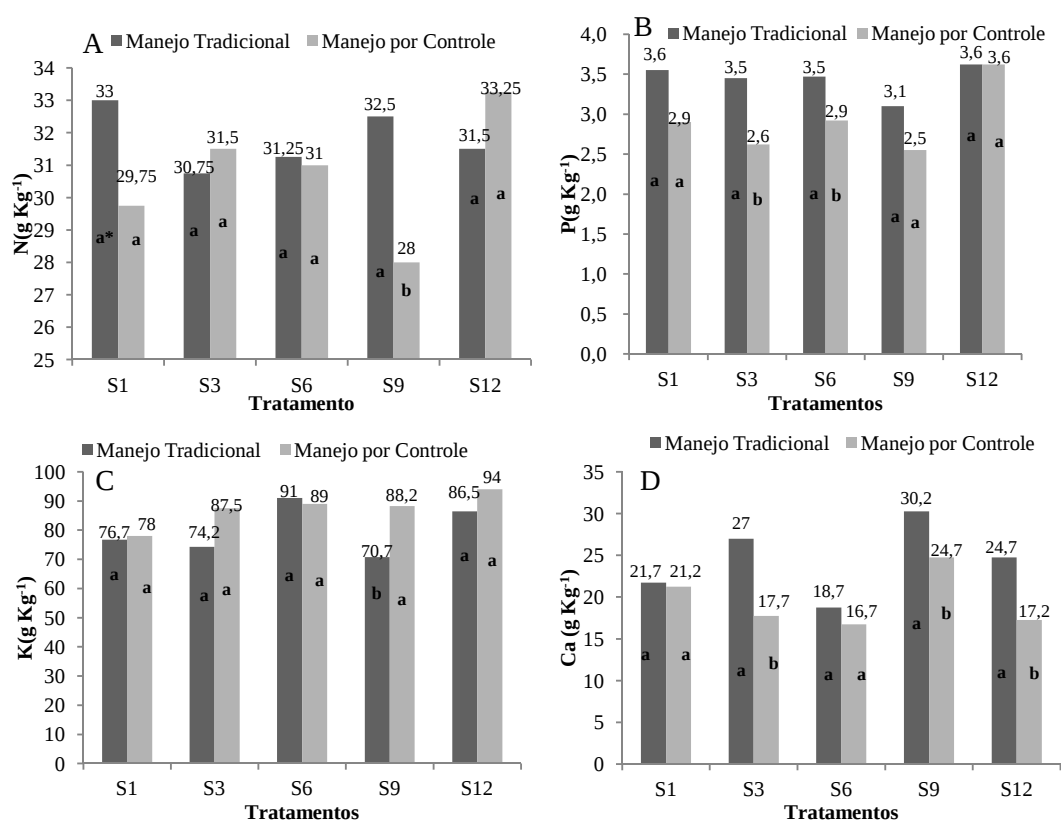


Figura 54. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para os teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (B) e cálcio na planta submetida aos diferentes manejo da fertirrigação.

*Médias seguidas de mesma letra do mesmo nível de salinidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 25, apresenta análise de variância para a cultivar Itapuã. Para o fator salinidade do solo houve efeito significativo relacionado aos macronutrientes nitrogênio e fósforo, enquanto para o fator manejo da fertirrigação apenas magnésio e enxofre não apresentaram efeito significativo.

Tabela 25. Análise de variância para os teores de macronutrientes na cultivar Itapuã, para os fatores salinidade e manejo da fertirrigação

Causa da variação	Teste F						
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	3	1,780	1,631	0,589	0,844	0,571	0,444
Salinidade (S)	4	2,891*	2,771*	1,607	0,984	4,467**	0,296
Manejo (M)	1	7,162*	8,932**	5,389*	15,423**	2,687	1,023
S x M	4	1,787	0,443	0,905	2,797*	0,424	1,038
C.V (%)		7,80	17,55	8,77	19,58	13,58	19,10

e :significativo a 1;5% para teste F. ^{ns}:não significativo para teste F.

Na Figura 55 observa-se a concentração de nutrientes para a cultivar Itapuã de acordo com o incremento da salinidade no solo. Não houve ajuste satisfatório nas análises de regressão para as variáveis estudadas mostrando ajuste das equações da reta não significativo . De acordo com Grangeiro et al. (2007), em análise nutricional da cultura da beterraba, observaram que o fósforo foi o nutriente de menor acúmulo pela beterraba, sendo que a maior demanda deste nutriente ocorreu aos 50 dias após semeadura, talvez por ser o nutriente de menor acúmulo pela beterraba, não houve um efeito significativo no manejo tradicional, mesmo com elevadas concentrações de sais no solo em que as plantas foram submetidas.

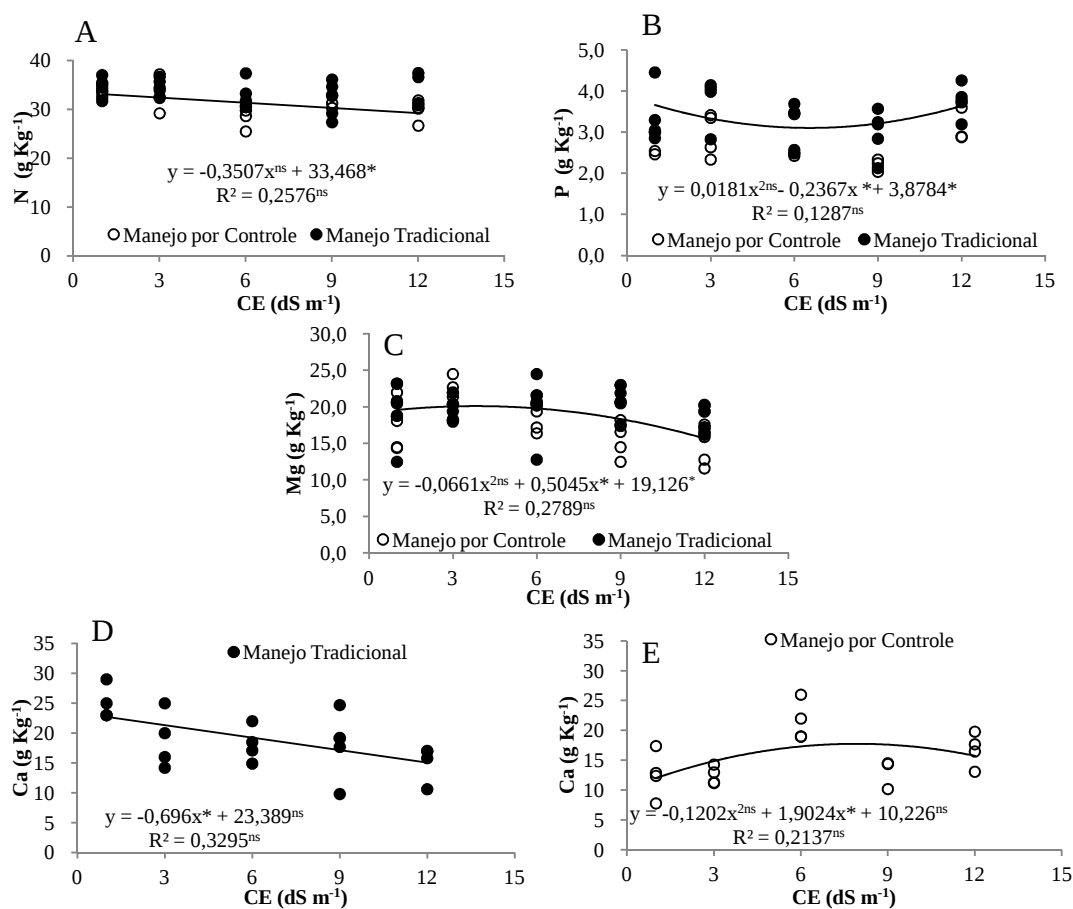


Figura 55. Diagrama de dispersão para a concentração de nutrientes na cultivar Itapua nos diferentes manejos de fertirrigação estudados: nitrogênio (A); fósforo (B) magnésio (C) e cálcio no manejo tradicional (D) e controlado (E)

*:significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Na Figura 56 apresenta-se a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%, para a concentração dos macronutrientes estudados nas plantas, nos diferentes manejos da fertirrigação na cultivar Itapua. O manejo tradicional apresentou as maiores médias dentre os nutrientes analisados, excetuando-se o potássio em que o manejo por controle apresentou médias superiores. Para a concentração de nitrogênio na planta houve diferenças entre as médias apresentadas apenas no tratamento S12, caracterizada pelo nível máximo de sais dentre os tratamentos estudados. A concentração de fósforo nas plantas de beterraba submetidas ao manejo tradicional, apresentaram médias superiores em todos os tratamentos estudados, quando comparadas com plantas submetidas ao manejo por

controle. A quantidade de potássio nas plantas submetidas ao manejo por controle, apresentaram médias maiores do que o manejo tradicional, enquanto o cálcio, apresentou médias maiores no manejo tradicional em todos os tratamentos.

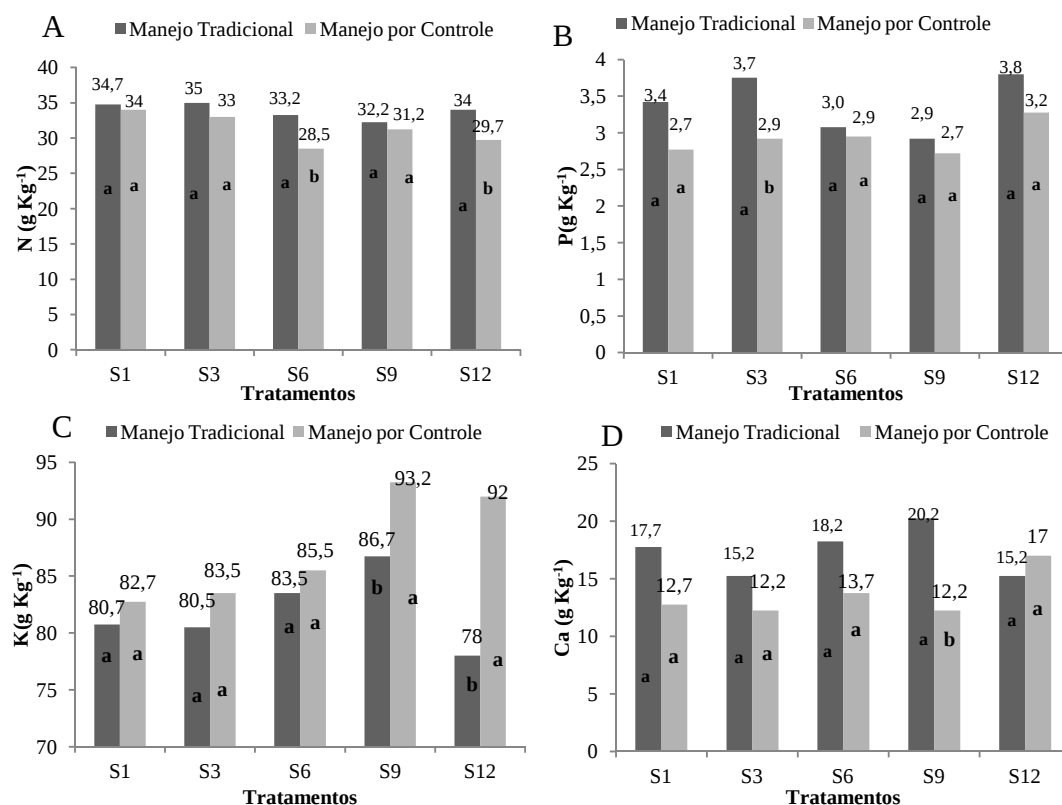


Figura 56. Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% para a concentração de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C) e cálcio (D) em plantas da cultivar Itapua submetidas aos diferentes manejos da fertirrigação.

*Médias seguidas de mesma letra do mesmo nível de salinidade não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.6 Consumo hídrico da cultura da beterraba sob condições salinas

4.2.6.1 Variáveis meteorológicas

A radiação solar (Figura 57A) apresentou os maiores valores entre 36 e 46 DAT, com o maior valor aos 41 DAT, ficando acima dos 30 MJ m⁻² dia⁻¹. Com relação à evaporação medida no tanque classe “A”, o maior valor foi observado aos 31 DAT com 8 mm dia⁻¹, como se observa na Figura 57B.

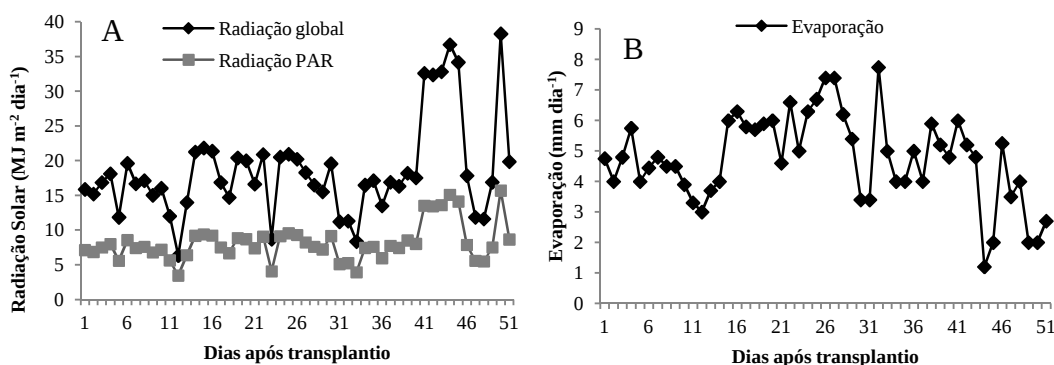


Figura 57. Radiação global e fotossinteticamente ativa (A) e evaporação do tanque classe “A” (B) durante o ciclo da cultura

A temperatura (Figura 58A) dentro do ambiente protegido apresentou média de 26 °C durante todo o experimento. As temperaturas máximas atingiram em torno de 35°C com o maior valor aos 26 DAT, atingido valores acima de 50°C. A temperatura mínima média durante o experimento foi de 16°C com o menor valor registrado entre 12 e 14°C aos 6 e 7 DAT. A umidade relativa média (Figura 58B) apresentou em média o valor de 60% durante todo o experimento com a média das máximas de 80 e mínima de 21%. Segundo Filgueira (2003) a cultura da beterraba é adaptada a temperaturas amenas com médias de 24°C, sendo que em regiões com altitude de 700 m pode ser cultivada o ano todo. A região de Botucatu onde foi realizada o experimento fica a 800 m acima do nível do mar, ficando portanto, dentro dos critérios exigidos para a cultura.

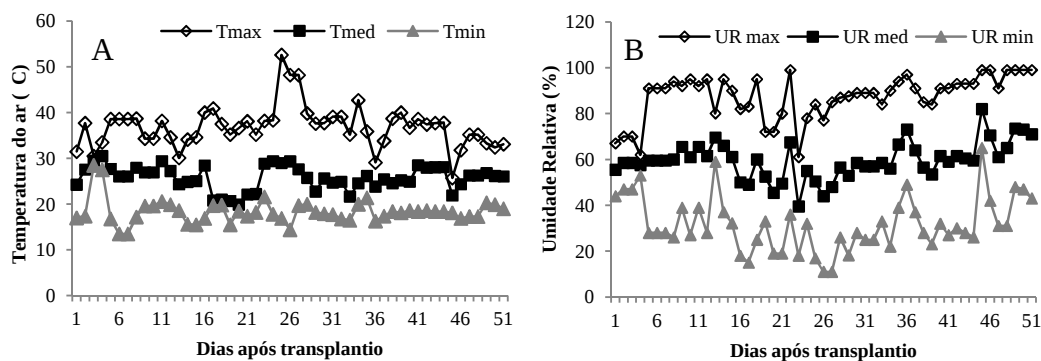


Figura 58. Temperatura do ar máxima, média e mínima (A) e umidade relativa máxima, média e mínima (B) durante o ciclo de cultivo da beterraba.

4.2.6.2 Manejo da irrigação

As irrigações totais necessárias em média durante o cultivo para o manejo tradicional foram de 2,34 mm a cada 2 dias após, deixando o solo sempre próximo a capacidade de campo como feito por Oliveira Neto et al. (2011). As variações dos perfis de umidade do solo para os diferentes manejos na cultivar Early Wonder e respectivos níveis de salinidade são apresentados na Figura 59.

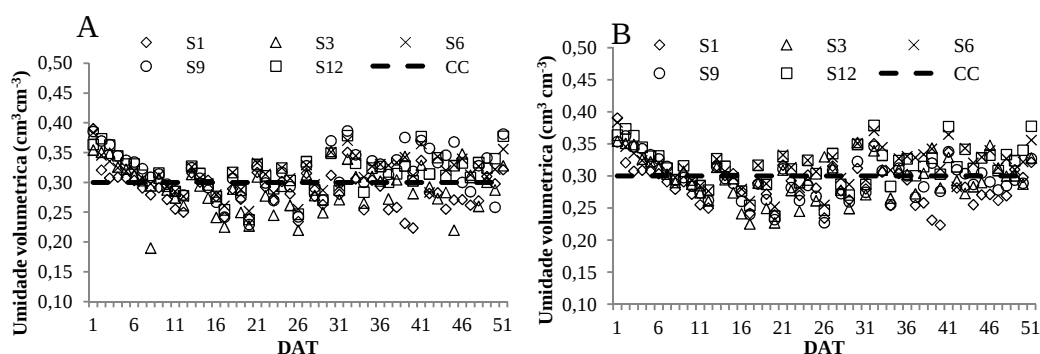


Figura 59. Valores de umidade do solo para o manejo tradicional da fertirrigação (A) e controlado por extratores (B) para a cultivar Early Wonder.

A Figura 60 apresenta os perfis de umidade do solo para a cultivar Itapuã, procurou-se sempre manter o solo próximo a sua capacidade de campo para que a solução do solo estivesse sempre disponível para a assimilação das plantas e para o monitoramento com extratores de solução do solo da CE (dS m^{-1}), como feito por Silva et al. (2005) em estudos com pimentão em ambiente protegido.

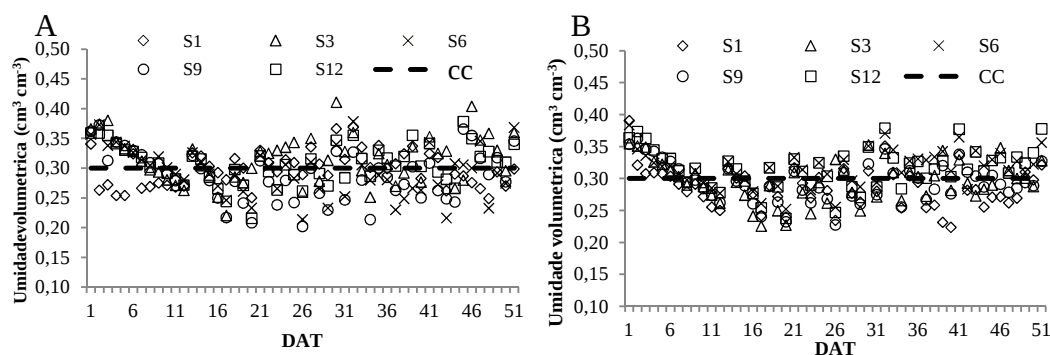


Figura 60. Valores de umidade do solo para o manejo tradicional (A) e via extratores de solução do solo (B) para a cultivar Itapuã.

4.2.6.3 Consumo hídrico da cultura

O consumo hídrico diário da planta de acordo com os níveis de salinidade apresentou uma tendência diferenciada para as cultivares estudadas quando relacionadas com a salinidade do solo. Na cultivar Early Wonder a curva ajustada foi o modelo linear de regressão (Figura 61) para ambos os manejos. Os estudos apresentaram uma redução do consumo hídrico para o incremento da salinidade do solo como observado por Silva et al. (2005) em trabalho semelhante com pimentão.

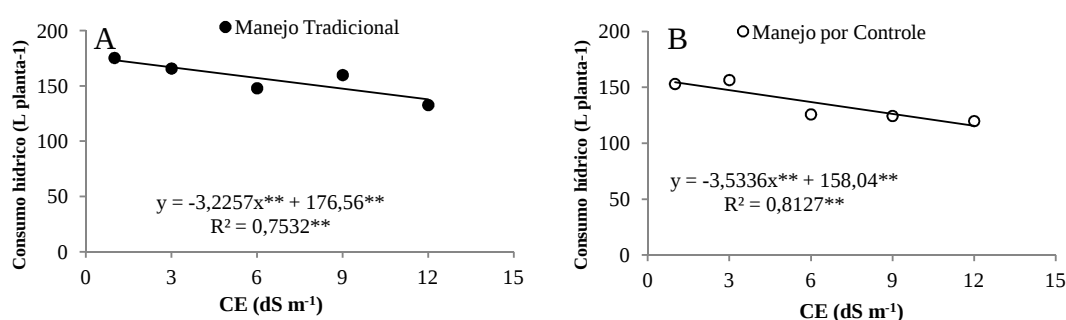


Figura 61. Consumo hídrico acumulado para a cultivar Wonder no manejo tradicional (A) e por controle (B)

**: significativo a 1% de probabilidade

Para o manejo com o controle de extratores na salinidade do solo (Figura 68) houve semelhanças com relação ao consumo hídrico apresentado por ambos os manejos para a cultivar Itapuã. Provavelmente ocorreu um ajustamento osmótico provocado pelo incremento da salinidade do solo encontrando um ponto ótimo no tratamento S6. Silva et al. (2005) em estudos com ETC apontam uma interferência no potencial osmótico no consumo hídrico das plantas devido ao aumento da salinidade do solo. Alguns autores como Sousa et al. (2011) afirmam que o ajustamento osmótico é o principal responsável tanto pelo aumento do consumo hídrico quanto pelo declínio do mesmo nos tratamentos de maiores concentrações de sais, pois devido ao aumento do potencial osmótico da solução do solo, a planta é obrigada a criar um potencial ainda mais negativo para absorver a solução do solo, havendo um gasto de energia extra por parte da planta, Reichardt (1996) explica esta questão de maneira completa.

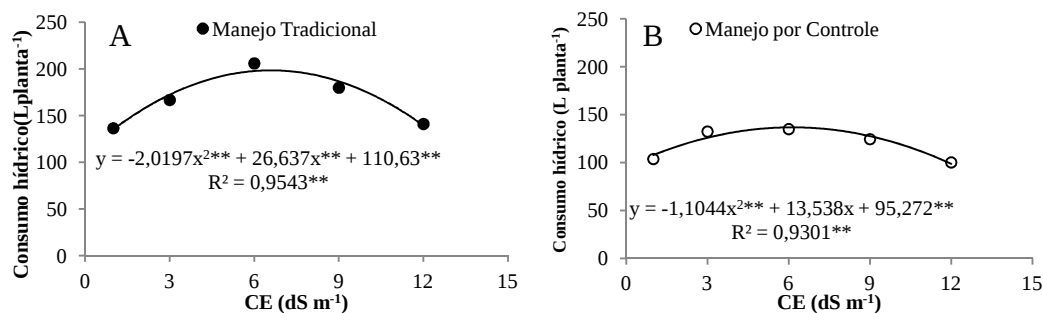


Figura 62. Consumo hídrico acumulado para a cultivar Itapuã: manejo tradicional (A) e manejo por controle (B).

***: significativo a 1% de probabilidade.

4.2.6.4 Evapotranspiração diária

A evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada dentro do ambiente protegido foi de 258 mm durante todo o ciclo. Durante todo o experimento o tratamento com salinidade inicial (S1) da cultivar Early Wonder para o manejo tradicional apresentou a maior demanda hídrica dentre os demais tratamentos com ET_c de 1,75 mm dia⁻¹ (Figura 63A), no manejo com extratores de solução do solo o maior consumo hídrico foi apresentado pelo tratamento S3 com média de 1,56 mm dia⁻¹ (Figura 63B) e ET_c acumulada de 79 mm, resultados semelhantes foram observados por Silva et al.(2005) para a salinidade inicial em que a cultura do pimentão foi submetida. Oliveira Neto et al. (2011) utilizando diferentes coberturas mortas em cultivo de beterraba cultivada no verão observaram que o consumo máximo foi de 4,0 mm dia⁻¹ sendo então o clima fator preponderante para resultados distintos entre os experimentos.

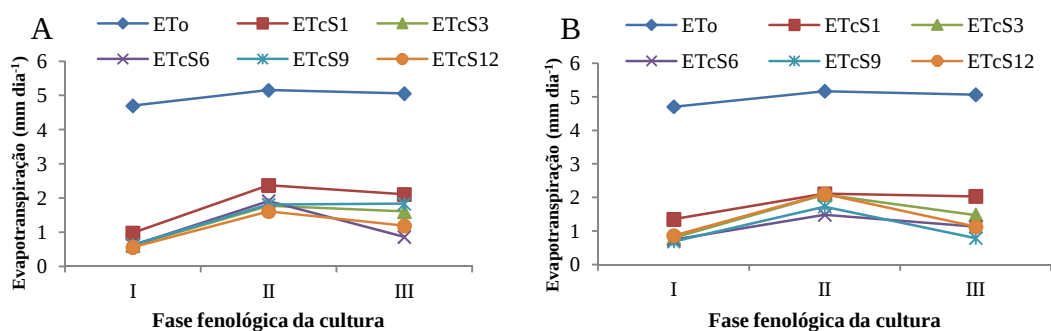


Figura 63. Evapotranspiração de referência (ETo) e de cultura (ETc) diária, nos diferentes níveis de salinidade para o manejo tradicional (A) e controlado (B) para a cultivar Early Wonder (A).

Para a cultivar Itapuã o tratamento de maior demanda (ETc) hídrica foi o S6 com média diária de 2,01 mm dia⁻¹ (Figura 64A), com ETc acumulada de 104 mm. Para o manejo por controle o maior consumo foi observado no tratamento S6 com média de 1,35 mm dia⁻¹ (Figura 64B) e ETc acumulada de 70 mm. Diversos trabalhos envolvendo salinidade e consumo hídrico, como os de Dias (2004) e de Silva (2002), observam uma redução no consumo hídrico de acordo com o incremento da salinidade no solo ou até mesmo em sua ausência como em trabalho realizado por Soares et al. (2010) em sistema hidropônico NFT utilizando a cultura da alface.

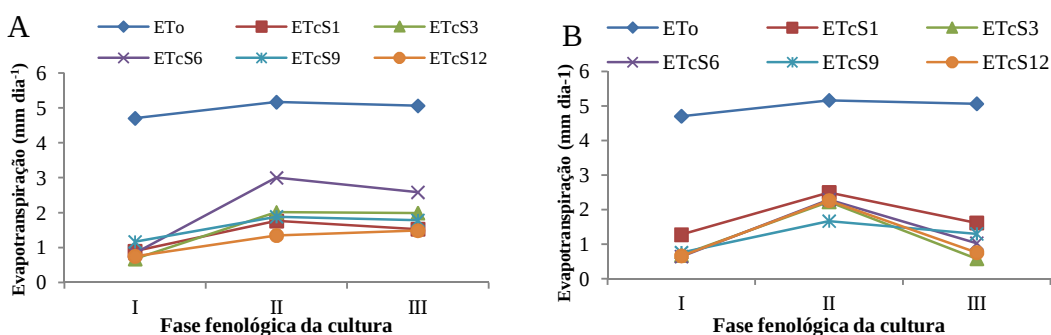


Figura 64. Evapotranspiração de referencia (ETo) e de cultura (ETc) acumuladas, nos diferentes níveis de salinidade para o manejo tradicional (A) e com extratores de solução do solo (B) para a cultivar Itapuã.

4.2.6.5 Coeficiente de cultivo (Kc) em diferentes níveis de saís

A Figura 65 apresenta o Kc obtido neste trabalho para o manejo tradicional, comparando o mesmo com os apresentados por Allen et al. (1998) para a cultura da beterraba de mesa encontrados no boletim da FAO 56 e os obtidos por Oliveira Neto et al. (2011). É nítido a diferença entre os valores de Kc encontrados e os correspondentes a literatura citada. Silva et al. (2005) sugerem que estas diferenças são atribuídas pelas condições locais, variedades e condições de cultivo. Nota-se que os maiores valores de Kc no experimento ocorreram na fase intermediária (II) aos 50 dias após o transplântio (DAT). Para a cultivar Early Wonder os valores de Kc foram menores com decréscimo médio de 53% em relação ao Kc proposto pela FAO 56. A cultivar Itapuã apresentou um decréscimo percentual com relação ao Kc da FAO 56 de 37,07%. A condição do ambiente protegido pode ter sido o principal fator de interferência para o menor coeficiente de cultivo apresentado, pois, segundo Rosemberg et al. (1989) o uso de coberturas plásticas em cultivos intensivos pode reduzir em até 30% o consumo de água pelas culturas devido à atenuação (absorção e reflexão) da radiação solar incidente, resultando na redução no balanço de radiação interna e consequentemente menor evapotranspiração com relação ao ambiente externo.

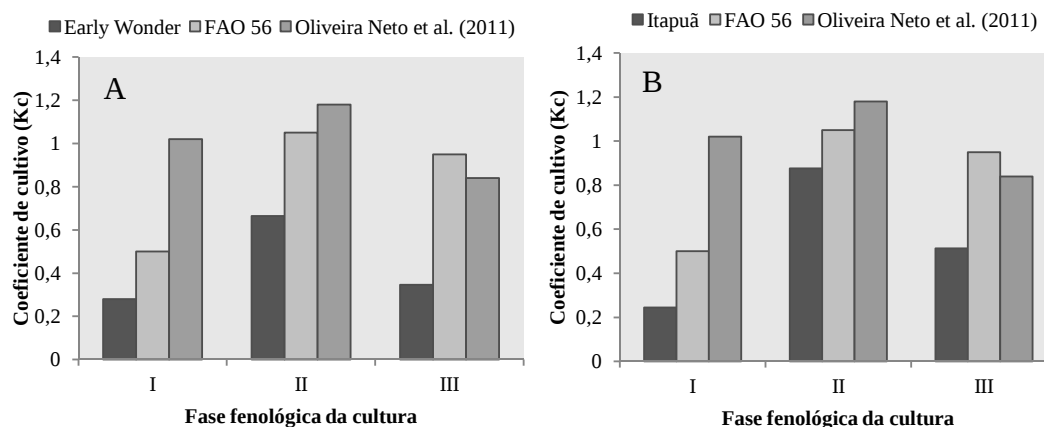


Figura 65. Coeficiente da cultura para diferentes fases fenológicas no manejo tradicional para as cultivares Early Wonder (A) e Itapuã (B).

Para o manejo controlado os maiores valores de Kc foram apresentados na fase intermediária (II) com média de 0,56 (Figura 66A) para a cultivar Early Wonder e 0,60 para a cultivar Itapuã (Figura 66B). Houve um decréscimo em relação ao Kc da literatura proposto pela FAO 56 de 43%. Oliveira Neto et al. (2011) encontraram valores de Kc acima dos citados pela literatura em cultivo de beterraba de mesa nas fases fenológicas I e II porém o estudo realizado por estes autores foram feitos em campo.

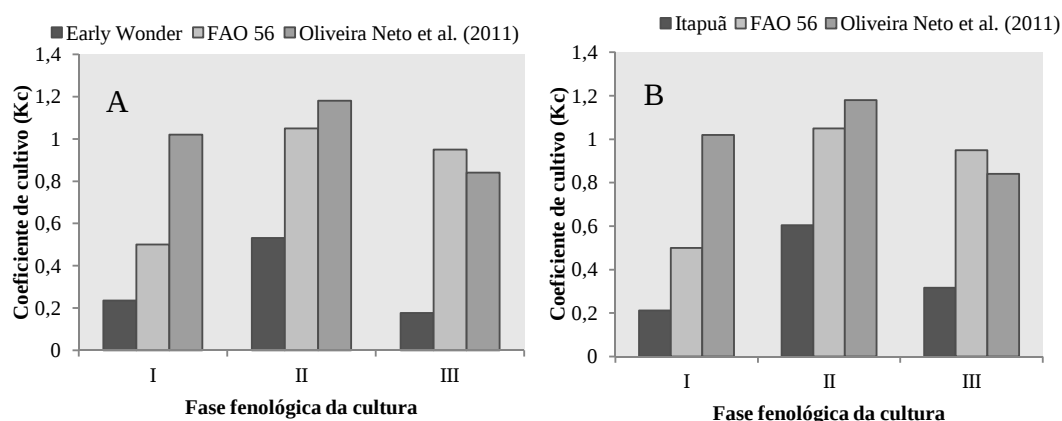


Figura 66. Coeficiente da cultura para diferentes fases fenológicas no manejo controlado para as cultivares Early Wonder (A) e Itapuã (B).

A Tabela 26 apresenta os coeficientes de salinidade (Ks) para os demais tratamentos realizados no experimento para a cultivar Early Wonder. Observa-se que houve um decréscimo no Ks de acordo com o incremento da salinidade do solo. Silva et al. (2005) também observaram um decréscimo parecido para a cultura do pimentão principalmente na fase de crescimento.

Tabela 26. Coeficientes de salinidade para os diferentes valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a cultivar Early Wonder nas diferentes fases fenológicas da cultura da beterraba

Salinidade do solo CEes (dS m ⁻¹)	Coeficiente de salinidade (Ks)			
	Fase de crescimento	Fase intermediária	Fase Final	Média
1	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,24	0,59	0,30	0,37
6	0,23	0,57	0,26	0,35
9	0,22	0,55	0,22	0,33
12	0,22	0,52	0,20	0,32

A Tabela 27 apresenta os coeficientes de salinidade (Ks) para a cultivar Itapuã nos diferentes níveis de salinidade estudados. Não houve diferenças para o Ks entre as cultivares estudadas. Os valores encontrados para a ETr foram reduzidos de acordo com a evolução da salinidade do solo assim como observados por Soares et al. (2010), Dias et al. (2006).

Tabela 27. Coeficientes de salinidade para os diferentes valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para a cultivar Itapuã nas diferentes fases fenológicas da cultura

Salinidade do solo CEes (dS m ⁻¹)	Coeficiente de salinidade (Ks)			
	Fase de crescimento	Fase intermediária	Fase Final	Média
1	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,24	0,73	0,31	0,43
6	0,24	0,71	0,30	0,41
9	0,26	0,72	0,33	0,43
12	0,23	0,52	0,28	0,34

4.2.7 Relações hídricas da cultura da beterraba sob diferentes níveis de salinidade

4.2.7.1 Teor relativo de água, transpiração e resistência difusiva ao vapor de água

Na Tabela 28 está apresentado um resumo da análise de variância para as variáveis teor relativo de água nas folhas, transpiração e resistência ao vapor de

água. Pelo teste F verificou-se que todas as variáveis diferiram significativamente a 5% em função da salinidade do solo. O fator manejo interferiu nas variáveis transpiração e resistência ao vapor de águas nas folhas. A interação entre salinidade e manejo apresentou significância entre as variáveis teor relativo de água e transpiração das folhas, desta forma, realizou-se o estudo em separado para os diferentes manejos.

Ghoulam et al. (2002) em estudos com salinidade em diferentes cultivares de beterraba encontraram uma diferença crescente de acordo com o aumento da salinidade, sobre o teor relativo de água nas folhas. Moreno et al. (2001), em cultivo de beterraba com água salina, perceberam que houve um decréscimo no potencial hídrico das folhas da cultura.

Tabela 28. Resumo da análise de variância para o teor relativo de água (TRA), transpiração (T) e resistência difusiva (Rs) ao vapor de água em funções dos níveis da salinidade, cultivares e manejo

Causa da variação	Estatística F			
	GL	TRA	T	RS
Blocos	3	1,048 ^{ns}	3,268**	1,025 ^{ns}
Salinidade (S)	4	11,399**	15,732**	27,714**
Cultivar (C)	1	0,073 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,559 ^{ns}
Manejo (M)	1	0,933 ^{ns}	0,210 ^{ns}	0,493 ^{ns}
S x C	4	0,463 ^{ns}	1,185 ^{ns}	1,170 ^{ns}
S x M	4	4,534**	16,055**	1,834 ^{ns}
C x M	1	0,996 ^{ns}	0,970 ^{ns}	0,140 ^{ns}
S x C x M	4	0,685 ^{ns}	1, 509 ^{ns}	0,576 ^{ns}
C.V (%)		12,30	11,80	19,61

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade para teste F; ^{ns}: não significativo para teste F.

Para a cultivar Early Wonder (Tabela 29) o teor relativo de água nas folhas foi afetado significativamente pela salinidade do solo, porém não houve efeito significativo do manejo da fertirrigação. A transpiração diferiu significativamente em função da salinidade, pelo manejo da fertirrigação e pela interação destes fatores. A resistência difusiva ao vapor de água nas folhas foi afetado significativamente pela salinidade do solo, não havendo efeito significativo em relação ao manejo da fertirrigação.

Tabela 29. Resumo da análise de variância para o teor relativo de água (TRA), transpiração (T) e resistência difusiva (Rs) ao vapor de água em funções dos níveis da salinidade e manejo para a cultivar Early Wonder

Causa da variação	Estatística F			
	GL	TRA	T	RS
Blocos	3	0,223	1,946	1,588
Salinidade (S)	1	4,568**	10,672**	14,393**
Manejo (M)	4	0,100	1,676	1,059
S x M	4	2,363*	6,659**	1,224
C.V (%)		13,83	12,77	11,80

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade para teste F; ^{ns}: não significativo para teste F.

Para a variável TRA o manejo tradicional (Figura 67A) apresentou um ajuste quadrático com o valor máximo para a salinidade de aproximadamente 6 dS m⁻¹, enquanto que para o manejo controlado (Figura 67B) o ajuste foi linear com queda de 2,167 % para cada aumento unitário da condutividade no solo.

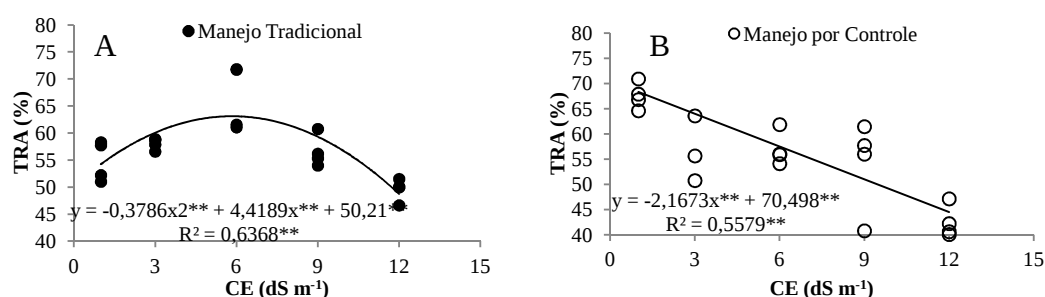


Figura 67. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Early Wonder para o teor relativo de água nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).

**significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 68 são apresentados os diagramas de dispersão da variável transpiração em função da salinidade do solo para a cultivar Early Wonder. Observa-se nos gráficos um ajuste linear decrescente com redução de 0,0729 mmol m⁻² s⁻¹, para cada aumento unitário da salinidade do solo no manejo tradicional (Figura 68A), no manejo por controle o decréscimo foi de 0,1682 mmol m⁻² s⁻¹ para cada aumento unitário da CE no intervalo de 1 a 15 dS m⁻¹ (Figura 68B).

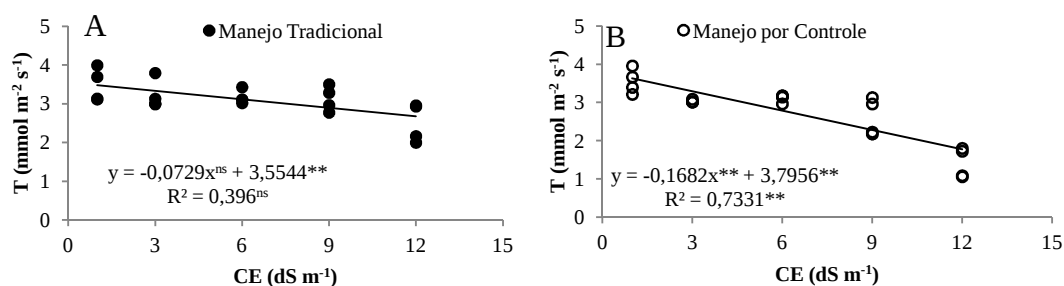


Figura 68. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Early Wonder para transpiração nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).

**: significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

A Figura 69 apresenta o diagrama de dispersão para a resistência difusiva ao vapor de água nas folhas em função da salinidade do solo para a cultivar Early Wonder. Observa-se nos gráficos um ajuste quadrático com valores máximos observado na CE próxima a 7,28 dS m⁻¹ no manejo tradicional (Figura 69A) e de 7,06 dS m⁻¹ para o manejo controlado (Figura 69B).

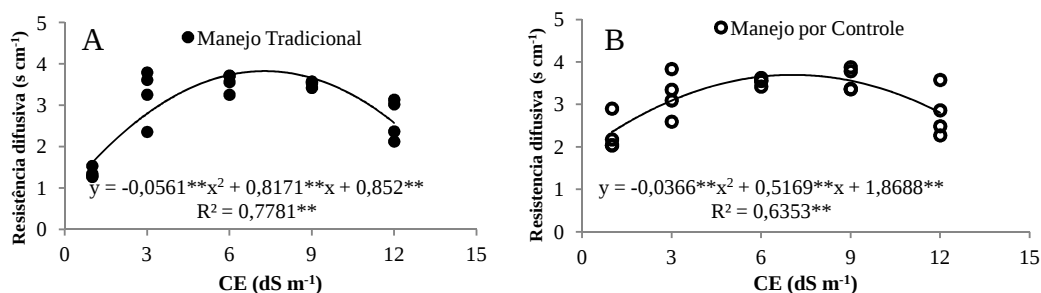


Figura 69. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar wonder para resistência difusiva ao vapor nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).

**significativo a 1% de probabilidade

A Tabela 30 refere-se ao resumo da análise de variância para a cultivar Itapuã. Nela, podem-se verificar as variáveis relacionadas ao teor relativo de água, resistência difusiva ao vapor de água e a transpiração nas folhas. Nela pode-se verificar que as variáveis foram influenciadas significativamente pelos níveis de salinidade do solo. O fator manejo da fertirrigação foi significativo apenas para a variável transpiração. A

interação entre a salinidade e o manejo da fertirrigação foi significativa para as variáveis TRA e T.

Tabela 30. Resumo da análise de variância para o teor relativo de água (TRA), transpiração (T) e resistência difusiva (Rs) ao vapor de água em funções dos níveis da salinidade e manejo para a cultivar Itapuã.

Causa da variação	GL	Teste F		
		TRA	T	RS
Tratamentos:				
Blocos	3	1,901 ^{ns}	2,359 ^{ns}	0,396 ^{ns}
Salinidade (S)	1	7,884**	5,243**	14,538**
Manejo (M)	4	2,479 ^{ns}	0,553 ^{ns}	2,670 ^{ns}
S x M	4	2,900**	11,796**	1,187 ^{ns}
C.V(%)		10,81	10,74	18,73

** e*: significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: não significativo para teste F.

Na Figura 70 apresentam-se o diagrama de dispersão para TRA nos diferentes manejos de fertirrigação para a cultivar Itapuã. Para o manejo tradicional o ajuste foi quadrático com os maiores valores encontrados para a salinidade de 5,95 dS m⁻¹ (Figura 70A) para ao manejo por controle o ajuste foi linear com decréscimo de 1,5903 % para cada aumento unitário da salinidade do solo no intervalo (1 a 15 dS m⁻¹).

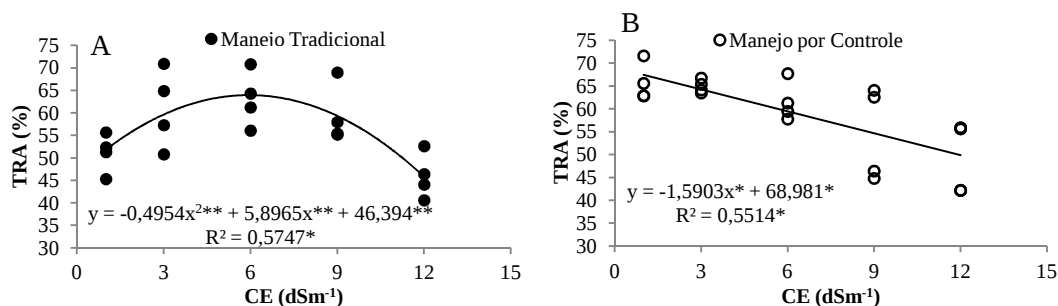


Figura 70. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar Itapuã para o teor relativo de água nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).

**e* significativo a 1% e 5% de probabilidade

A Figura 71 apresenta o diagrama de dispersão para a transpiração nas folhas (T) para a cultivar Itapuã. O ajuste para o manejo tradicional foi polinomial quadrático com R² de 0,20 não apresentando ajuste satisfatório. Para o manejo controlado

da fertirrigação o ajuste foi linear (Figura 71B) com decrescimo de $0,1448 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para cada aumento unitário da salinidade do solo no intervalo de 1 a 12 dS m^{-1} .

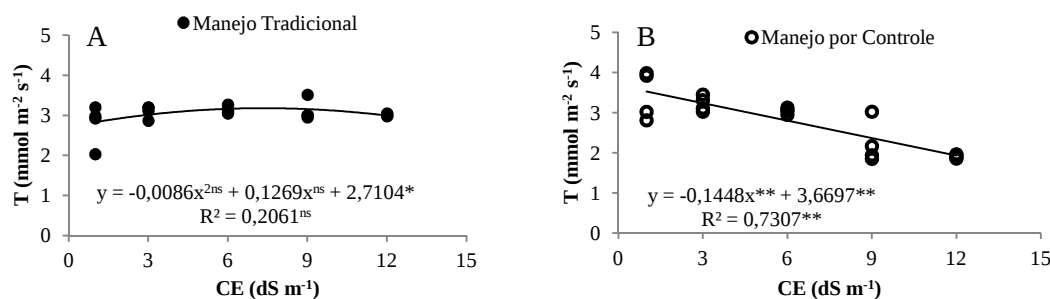


Figura 71. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar itapuã para transpiração nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B).

**e*: significativo a 1%; 5% de probabilidade; ns: não significativo.

A Figura 72 apresenta o diagrama de dispersão para a resistência difusiva das plantas (RS) ao vapor de água na cultivar Itapuã. Para ambos os manejos o ajuste foi polinomial quadrático, com os maiores valores apresentado na salinidade inicial de $7,18 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 72A) para o manejo tradicional e $9,06 \text{ dS m}^{-1}$ para o manejo com controle (Figura 72B). Katerji et al. (1997), trabalhando com beterraba açucareira sob condições de estresse salino (NaCl), observaram que o potencial hídrico da folha assim como as demais variáveis hídricas, decresceram com o aumento da salinidade nos níveis de 0 a 200 mmol L^{-1} de NaCl. Em experimento com água salina no cultivo de beterraba Ghoulam et al. (2001) encontraram uma variação nas condições hídricas de diferentes cultivares de beterraba tendo estas, tolerâncias distintas.

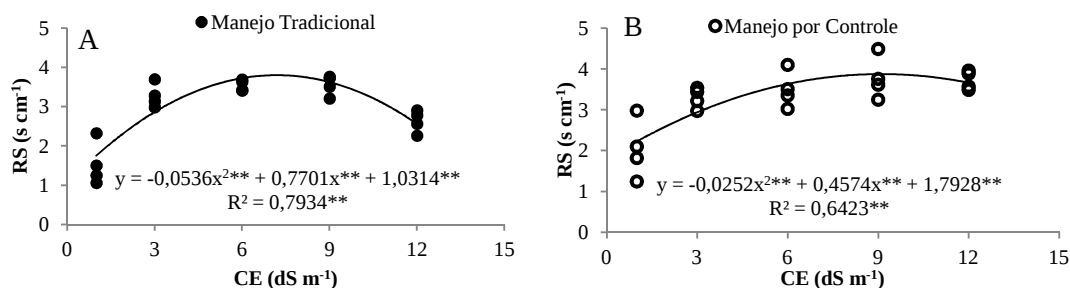


Figura 72. Diagrama de dispersão e equação de ajuste para a cultivar wonder para resistência difusiva ao vapor nas folhas no manejo tradicional (A) e controlado (B). ** significativo a 1% de probabilidade

4.2.7.2 Parâmetros fisiológicos ao longo de um dia para os diferentes manejos de fertirrigação

Na Figura 73 são apresentados os valores das variáveis resistência difusa ao vapor d' água (RS), transpiração (T) e temperatura da folha (Tf) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) das plantas de beterraba da cultivar Early Wonder ao longo do dia. Verifica-se que para a Rs, os maiores valores foram encontrados entre 12 e 14h do dia com pico máximo as 14h, com temperaturas acima de 28°C, o mesmo pode ser verificado para T e Tf. Não houve uma variação significativa nas características avaliadas entre os níveis de salinidade em que ambas as cultivares foram submetidas ao longo do dia.

Távora et al. (2001), em estudos sobre o comportamento de plantas de goiabeira submetidas em NaCl, apresentaram uma redução nas variáveis fisiológicas estudadas de acordo com o aumento de sais no solo. A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) apresentou comportamento semelhante para todos os níveis de salinidade e manejo da fertirrigação, com valores ao redor de $800\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

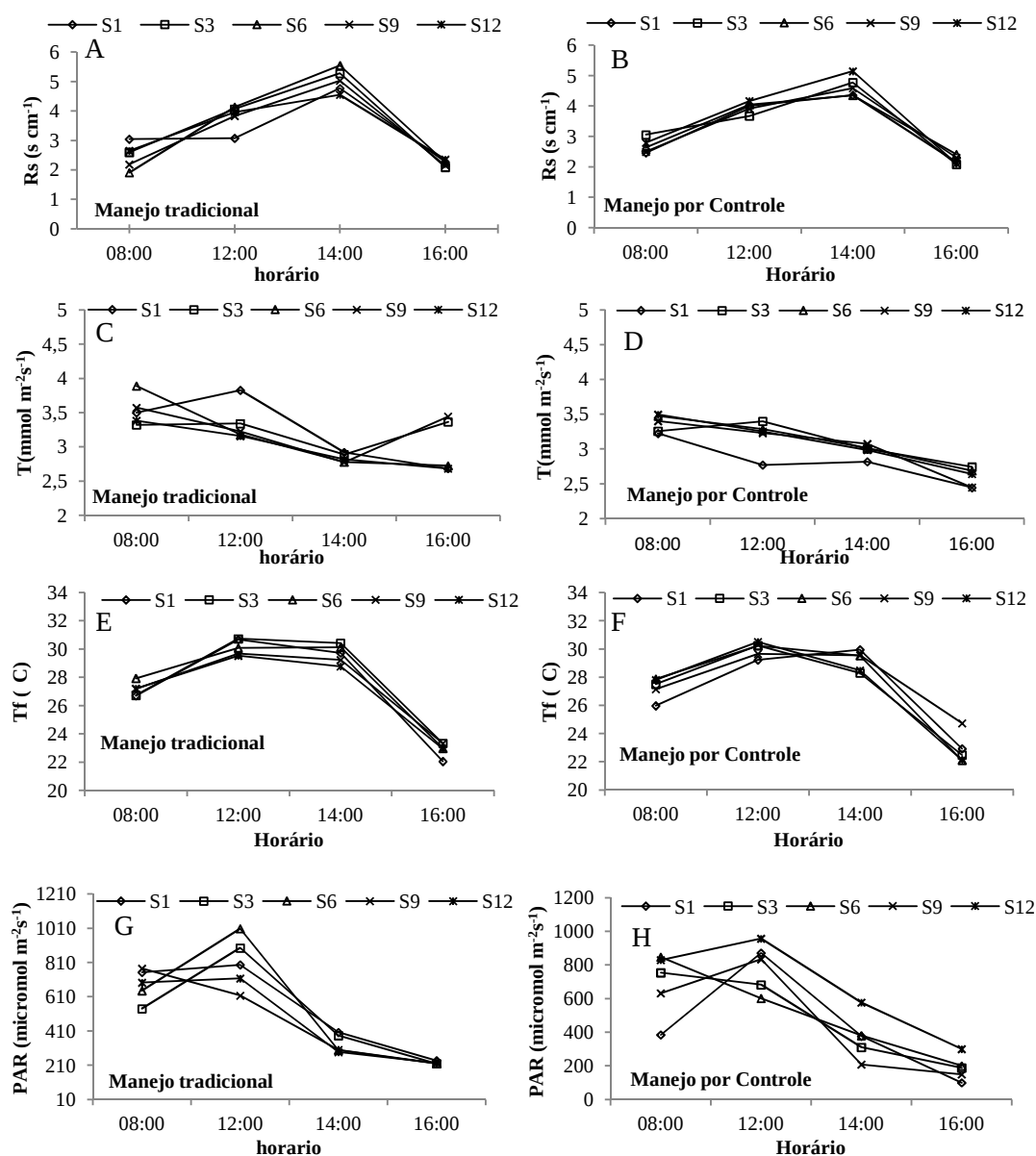


Figura 73. Valores médios de resistência difusiva ao vapor (RS) para o manejo tradicional (A) e para o manejo por controle (B); transpiração (T) para o manejo tradicional (C) e por controle (D), temperatura da folha (Tf) para o manejo tradicional (E) e por controle (F); radiação fotossinteticamente ativa para o manejo tradicional (G) e por controle (H) em diferentes horários para a cultivar Early Wonder

A Figura 74, apresenta os valores das variáveis Rs, T e Tf e PAR das plantas de beterraba da cultivar Itapuã ao longo do dia. Nota-se que não houve diferença entre os manejos da fertirrigação para as variáveis estudadas. Katerji et al. (1997),

em estudo com salinidade em solos salinos observaram que houve um decréscimo na condutância estomática e transpiração das plantas de acordo com o aumento dos níveis de sais estudados mostrando assim a adaptação fisiológica da cultura a salinidade.

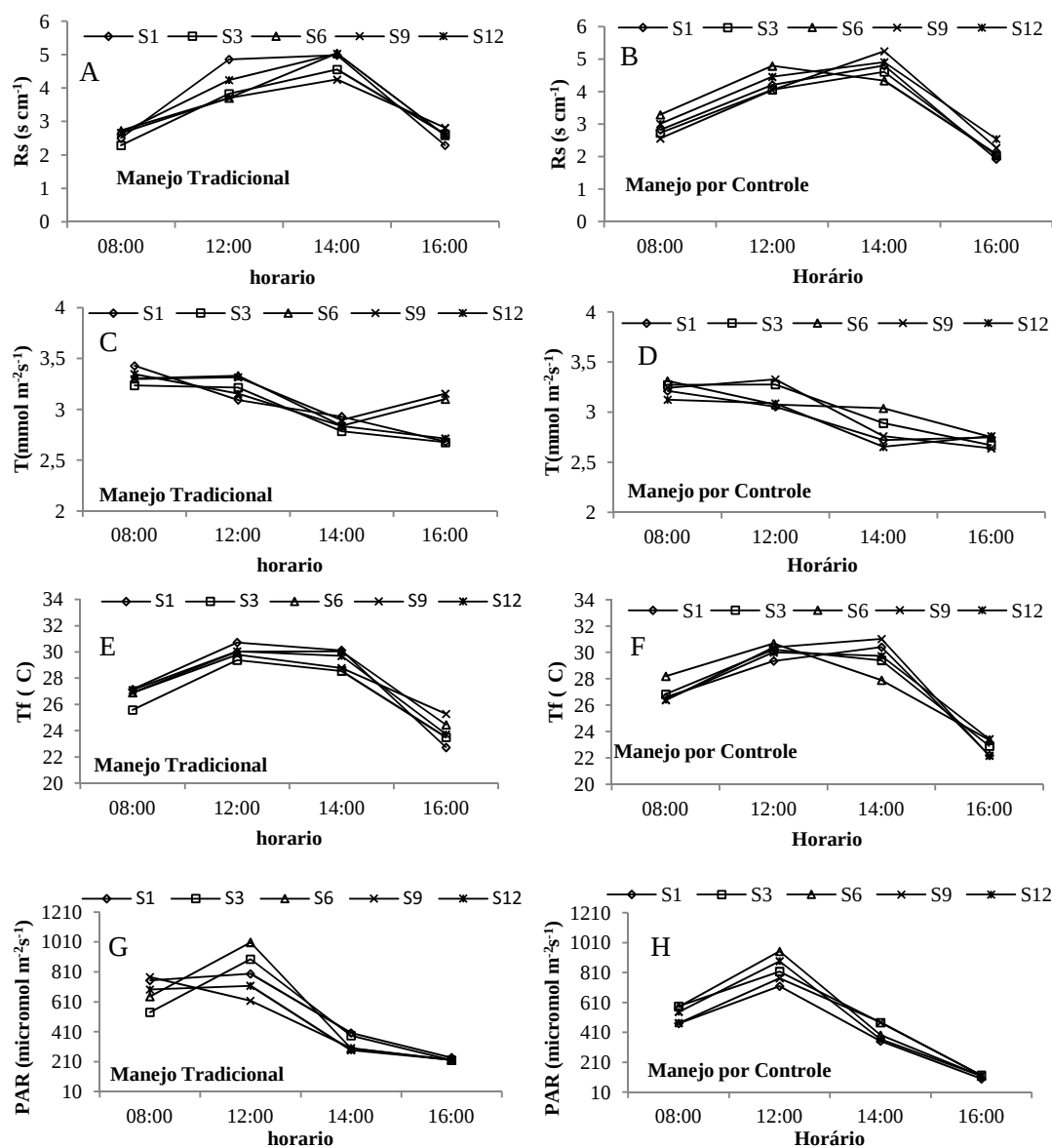


Figura 74. Valores médios de resistência difusiva ao vapor (RS) para o manejo tradicional (A) e para o manejo por controle (B); transpiração (T) para o manejo tradicional (C) e por controle (D), temperatura da folha (Tf) para o manejo tradicional (E) e por controle (F); radiação fotossinteticamente ativa para o manejo tradicional (G) e por controle (H) em diferentes horários para a cultivar Itapua

4.2.8 Tolerância da cultura da beterraba a salinidade

Na Figura 75 é apresentada a tolerância da cultura da beterraba aos diferentes níveis de sais fertilizantes. A Figura 75A apresenta o rendimento relativo da parte aérea da cultura da beterraba a salinidade limiar do solo, observa-se que os valores encontrados para as duas cultivares estudadas foram superiores aos indicados por Mass e Hoffman (1977), porém tal diferença pode ter sido causada pela diferença de clima e solo e manejo entre os estudos. Para o rendimento relativo comercial os valores das cultivares estudadas foram semelhantes com valores médios maiores para a cultivar Itapuã. Porém assim como afirmado por Soares et al. (2007), não se deveria comparar tal estudo pois a fonte de sais assim como o método de cultivo foram totalmente diferentes dos apresentados por Maas e Hoffman (1997), porém este estudo contribui de forma significativa para a questão da salinidade provocada pelo excesso de fertilizante promovendo a beterraba como boa opção produtiva em áreas com tal problema.

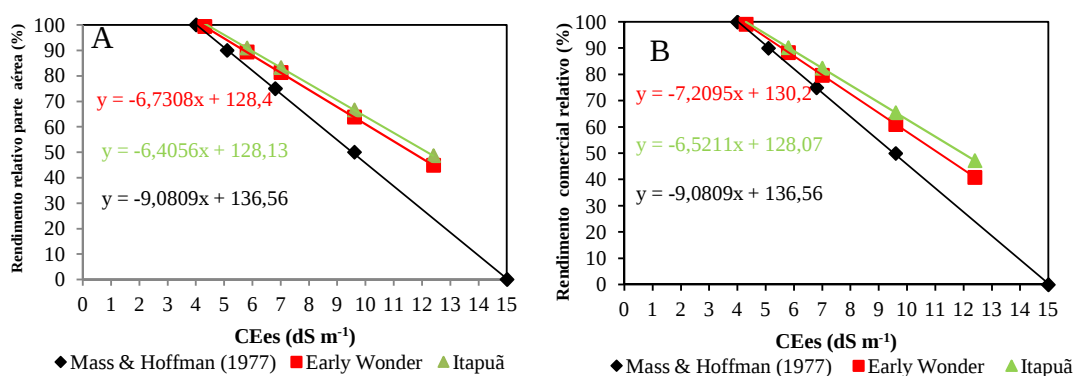


Figura 75. Produção relativa da beterraba em função da salinidade do solo (CEes) para a parte aérea (A) e comercial da cultura.

Katerji et al. (2003), em experimento com beterraba açucareira, encontraram para a cultura um rendimento relativo com respectiva queda na produtividade na salinidade limiar de 7,0 dSm⁻¹, com decréscimo percentual de 5,9%. Valores estes superiores aos encontrados no experimento com a cultura de beterraba de mesa, que teve queda no rendimento a partir de 4,3 dS m⁻¹ para ambas as cultivares estudadas. Maas e

Hoffman (1977), também encontram valores superiores para o rendimento relativo e salinidade limiar em 7 dSm^{-1} , para a cultura da beterraba açucareira.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- O monitoramento a partir da condutividade elétrica da solução do solo com o auxílio de extratores de cápsulas porosas permitiu visualizar a evolução da salinidade do solo com boa precisão.
- Foi possível com auxílio dos extratores de solução do solo recomendar níveis desejados de sais no solo para o cultivo da beterraba podendo evitar possíveis desequilíbrios iônicos na cultura.
- Houve diferenças significativas no rendimento e desenvolvimento da cultura em relação aos manejos da fertirrigação adotados, podendo-se adotar o manejo por controle como alternativa de controle da salinidade.
- A cultura da beterraba apresenta-se como opção para cultivo em ambiente protegido, devido a sua tolerância de $4,3 \text{ dS m}^{-1}$ para os sais fertilizantes estudados, sendo superior a tolerância da literatura citada. Podendo assim, ajudar os produtores rurais em casa de vegetações com problemas de salinidade, gerando renda com sua produção.
- Os níveis crescentes de salinidade inicial do solo ocasionaram diminuição do consumo hídrico, bem como nas variáveis vegetativas da cultura.

6. REFERÊNCIAS

- ADAMS, F. Ionic concentrations and activities in soil solutions. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 420-426, 1971.
- ADAMS, F. Soil solution. In: CARSON, E. N. **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 441-481.
- ALLEN, H. E. The significance of trace metal speciation for water, sediment and soil quality criteria and standards. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 23, p. 45, 1993. Supplement.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010. 234 p.
- ALMONDARES, A.; SHARIF, M. E. Effects of irrigation water qualities on biomass and sugar contents of sugar beet and sweet sorghum cultivars. **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, v. 2, n. 28, p. 213-218, 2007.
- ANDRADE NETO; T. M. et al. Potassium estimation in the soil solution based on electrical conductivity and soil water content. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 618-623, 2012.
- AQUINO, L. A. et al. Produtividade, qualidade e estado nutricional da beterraba de mesa em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p.199-203, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. 147 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29).

BARCELOS, J. C. **Desempenho da beterraba ‘Katrina’ submetida a lâminas de água e doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação**. 2010. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciências do Solo)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

BATISTA, M. J. et al. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2. ed. Brasília, DF: CODEVASF, 2002. 216 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 625 p.

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**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 604-611, 2006.

BOYOUCUS, G. J. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 43, n. 9, p. 434-438, 1951.

CARRIJO, O. J. et al. Tendências e desafios da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. (Org.). **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 155-169.

CARVALHO, D. F. et al. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 269-277, 2011.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Clima dos municípios paulistas: Botucatu, CEPAGRI, UNICAMP. 2012. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_086.html>. Acesso em: 12 dez. 2011.

CHEN, H.; JIANG, J. Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. **Environmental Reviews**, Ottawa, v. 18, p. 309-319, 2010.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1984. 334 p.

DADKHAH, A. Effect of salinity on growth and leaf photosynthesis of two sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. **Journal of Agriculture Science and Technology**, El Monte, v. 13, p. 1001-1012, 2011.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem**: a água na agricultura. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. 543 p.

DENÍCULI, W. Bombas hidráulicas. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2001. 162 p. (Caderno Didático, 34).

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS, N. S. et al. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. II: Efeitos sobre o rendimento do meloeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 376-383, 2006.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

DUARTE, A. S. **Reuso de água residuária na irrigação da cultura do pimentão**. 2006. 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura, “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ELOI, W. M.; DUARTE, S. N.; SOARES, T. M. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre as características do tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 2, n. 1, p. 83-89, 2007.

ELOI, W. M. et al. Rendimento do tomateiro em resposta à salinização ocasionada pela fertirrigação em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 471-476, 2011.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In. : GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: Ed. UFPB, 1997. p. 363-383.

FARKHONDER, R.; NABIZADEH, E.; JALILNEEZHAD, N. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. **International Journal of AgriScience**, Kassel, v. 2, n. 5, p. 385-392, 2012.

FERREIRA, P. A. Aspectos físico-químicos do solo. In: FOLEGATTI, M. V. (Org.). **Fertirrigação**: citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 37-67.

FERREIRA, P. A. et al. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 570-578, 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2003. 412 p.

FRIED, M.; BROESHARD, H. **The soil-plant system**. New York: Academic Press, 1967. 286 p.

FURLANI, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. **Boletim Técnico do Instituto Agrônômico**, Campinas, n. 100, 1998. 285 p.

GARCIA, G. O. et al. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, Arica, v. 25, p. 93-106, 2007.

GHOULAM, C.; FOURSRY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 47, p. 39-50, 2002.

GRANGEIRO, L. C. et al. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 267-273, 2007.

GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 505-509, 2002.

HAJIBOLAND, R.; JOUDMAND, A.; FOTOUGH, K. Mild salinity improves sugar beet (*Beta vulgaris* L.) quality. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Stockholm, v. 59, p. 295-305, 2009.

HASSANLI, A. M.; AHMADIRAD, S.; BEECHAM, S. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 357-362, 2010.

HOFMMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. **Management farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1992. 1040 p.

KATERJI, N. et al. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, p. 57-69, 1997.

KATERJI, N. et al. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 62, p. 37-66, 2003.

KLAR, A. E. Caracterização e medição dos déficits de água dos vegetais. In: _____. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 303-345.

KLAR, A. E. Salinidade. In: _____. **A água no sistema solo-água-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 347-385.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LIBARDI, P. L. Balanço hídrico. In: _____. **Dinâmica de água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. p. 261-271.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB; SBEA, 1997. p. 113-136.

LOPES, C. A.; ZAMBOLIM, L.; REIS, A. Principais doenças de hortaliças cultivadas em ambiente protegido. In: BARBOSA, T. C. et al. **Ambiente protegido: olericultura, citricultura e floricultura**. Viçosa, MG: Empresa Júnior de Agronomia, 2006. p. 11-38.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. In: CHRISTIE, B. R. (Ed.) **The handbook of plant science in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1984.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance, currents assessment. **Journal Irrigation and Drainage Divison**, New York, v. 103, p. 115-114, 1977.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. 355 p.

MARROCOS, S. T. P. et al. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em beterraba. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 5, n. 5, p. 140-146, 2010.

MEDEIROS, J. F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. Piracicaba, 1998. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; DIAS, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino a salinidade em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 406-410, 2009.

MEDEIROS, P. R. F. et al. Tolerância da cultura do tomate à salinidade do solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 51-55, 2012.

MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, F. A. C.; PEREIRA, A. R. Comparação entre a evaporação em tanque classe A padrão e mini-tanque, instalados em estufa e estação meteorológica. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 228-230.

MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N. Salinidade em ambiente protegido. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 83-91.

MORENO, F. et al. Irrigation with saline water in the reclaimed marsh soils of south-west Spain: Impact on soil properties and cotton and sugar beet crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 48, p. 133-150, 2001.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole-plant response to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 13, p. 143-160, 1986.

MURAYAMA, S. **Horticultura**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1983. 328 p.

NAGPAL, N. K. Comparison among evaluation of ceramic porous cup soil water samples for nutrient transport studies. **Canada Journal Soil Science**, Ottawa, v. 62, p. 685-694, 1982.

OLIVEIRA, F. A. et al. Calibração de extratores providos de cápsulas porosa para o monitoramento da salinidade e da concentração de íons. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 520-528, 2011.

OLIVEIRA NETO, D. H. **Necessidade hídrica, função de resposta e qualidade da beterraba (*Beta vulgaris* L.), sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo em sistema orgânico de cultivo**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

OLIVEIRA NETO, D. H. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da beterraba orgânica sob cobertura morta de leguminosa e gramínea. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 3, p. 330-334, 2011.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. (Org.). **Fertirrigação**: citrus, flores e hortaliças. Piracicaba, Agropecuária, 1999. p. 11-155.

PAPADOPOULOS, I. Micro-irrigation systems and fertirrigation. In: PEREIRA, L. S. et al. (Ed.). **NATO ARW on "Sustainability of Irrigated Agriculture"**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1996. p. 309-322.

PIDGEON, J. D. et al. Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961-1995. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 109, p. 27-37, 2001.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba: Ed. ESALQ, 1996. 513 p.

RESENDE, G. M.; CORDEIRO, G. G. Uso da água salina e condicionador de solo na produtividade de beterraba e cenoura no semi-árido do submédio São Francisco. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido. 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 128).

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, DC: United State Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

RICHARDS, L. A. Methods for mounting porous plates used in soil moisture measurement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 41, p. 489-490, 1949.

RIVERA, R. N. C. et al. A. Modelagem da dinâmica do potássio no solo sob irrigação por gotejamento: validação do modelo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 388-394, 2006.

RIVERA, R. N. C. et al. A. Modelo aplicado à dinâmica da água e do potássio no solo sob irrigação por gotejamento - análise de sensibilidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 448-459, 2008.

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. 150 p. (Irrigation and Drainage Paper, 57).

ROSEMBERG, N. J.; McKENNEY, M. S.; MARTIN, P. Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and simulation. **Agricultural and Forest Agrometeorology**, Amsterdam, v. 47, p. 303-320, 1989.

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

SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; COELHO, R. D. Salinização dos solos cultivados sob ambientes protegidos no Estado de São Paulo. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999, p. 267-278.

SILVA, A. O. et al. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para a região norte de Recife-PE. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 163-174, 2012a.

SILVA, A. O. et al. Instrumentos para o manejo correto da fertirrigação. In: VILLAS BOAS, R. L. et al. **Manejo da irrigação e fertirrigação: perguntas e respostas**. Botucatu: FEPAP, 2012b. p. 70-76.

SILVA, E. F. F. et al. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e de salinidade para o pimentão cultivado em estufa. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 17, n. 2, p. 58-63, 2005.

SILVA, E. F. F. et al. Extratores de capsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 785-789, 2000.

SILVA, E. F. F. et al. Utilização de testes rápidos e extratores de solução do solo na determinação de nitrato e potássio. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 460-467, 2003.

SHAINBERG, I; OSTER, J. D. **Quality of irrigation water**. Bet Dagan: International Irrigation Center, 1978. 65 p.

SÍLVIA, J. et al. Evaluation of nitrate quick tests to improve fertigation management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, p. 2461-2469, 2006.

SOARES, T. M. et al. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 705-714, 2010.

SOARES, T. M. et al. Produção da alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 235-248, 2007.

SOUSA, A. E. C. et al. Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 310-318, 2011.

SOUZA, D. M. G. S.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. V. A acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SOUZA, T. R. et al. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 6, p. 846-854, 2012.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. New York: Marcel-Dekker, 1993. p. 31-64.

TÁVORA, F. J. A. F.; FERREIRA, R. G.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 441-446, 2001.

TRANI, P. E. et al. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 100, 1998. 285 p.

VILLAS BÔAS, R. L. **Doses de nitrogênio para o pimentão aplicados de forma convencional e através da fertirrigação.** 2001. 123 f. Tese (Livre Docência)-Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

VILLAS BÔAS, R. L.; BOARETO, A. E.; VITTI, G. C. Aspecto da fertirrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETO, A. E. (Ed). **Fertilizantes fluídos.** Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 283-308.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Org). **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças.** Guaíba: Agropecuária, 1999. 460 p.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Delaware, v. 2, p. 184-194, 1981.

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

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 7, p. 1439-1451, 1998.

ZÁRATE, N. A. H. et al. Número de fileiras no canteiro e espaçamento entre plantas na produção e na rentabilidade da beterraba em Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 397-401, 2008.