

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

**Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT  
como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**

**Tales Miler Soares**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba**  
**2007**

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**Tales Miler Soares**  
Engenheiro Agrônomo

**Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**

**Orientador:**

Prof. Dr. **SERGIO NASCIMENTO DUARTE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

**Piracicaba**  
**2007**

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

Soares, Tales Miler

Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro / Tales Miler Soares.  
- - Piracicaba, 2007.  
267 p. : il.

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

1. Águas subterrâneas 2. Alface 3. Irrigação 4. Hidroponia 5. Salinidade da água I. Título

CDD 635.52

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço intensamente às empresas: METALCORTE/EBERLE (Leandra Sartori), HIDROGOOD (Carlos Banho e Carlos Orlandi), TIGRE (Olacir Martins Luciano), PERENNE (José Roberto Ramos) e HANNA INSTRUMENTS (Marcio Siqueira), pelo apoio, fornecimento de equipamentos e boa vontade em auxiliar as pesquisas na temática abordada.

Agradeço também à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e apoio mediante seu programa PROAP.

Agradeço aos amigos da ESALQ, professores, funcionários e colegas da pós-graduação e graduação, os quais não citarei individualmente para não cometer injustiças diante da falta de tempo...

Só me permitirei citar nominalmente à Maria 'Duda' Matielo de Paula... minha estagiária mais assídua!!!

“O Nordeste do País é apenas uma das muitas regiões de poucas chuvas deste globo, semi-árido em mais de 50 % de suas terras. É a mais chuvosa das terras consideradas secas no planeta, pois, recebe duas ou até três vezes mais água do que as norte-americanas, mexicanas, argentinas, sul-africanas, argelinas, tripolitanas, espanholas, árabes, persas, centro-asiáticas, australianas, peruanas e chilenas. E esta relativa abundância de chuvas é a razão maior das catástrofes que se abatem na região em todas as secas periódicas. E explica-se: no largo período de chuvas mais abundantes, os habitantes adaptaram cultura e pecuária a estas condições mais favoráveis. Adaptação que falha fragorosamente nos anos de pluviosidade bem abaixo da média”.

Pimentel Gomes, 1984

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	17
1 INTRODUÇÃO .....	20
2 DESENVOLVIMENTO .....	27
2.1 Revisão Bibliográfica .....	27
2.1.1 Escassez de recursos hídricos .....	27
2.1.2 Águas subterrâneas como alternativa .....	32
2.1.3 Semi-árido brasileiro .....	36
2.1.4 Uso de águas subterrâneas salobras no semi-árido brasileiro .....	42
2.1.4.1 Dessalinização de águas subterrâneas salobras .....	43
2.1.4.1.1 Destinação do rejeito da dessalinização .....	50
2.1.4.1.2 Destinação dada ao rejeito no Brasil .....	53
2.1.4.2 Uso direto das águas subterrâneas salobras .....	57
2.1.5 A salinização e os efeitos negativos da salinidade na agricultura .....	59
2.1.6 Um sistema de produção intensiva auto-sustentável baseado na irrigação .....	66
2.1.7 O cultivo hidropônico .....	73
2.1.8 Disponibilidade de água para hidroponia .....	76
2.1.9 Maior tolerância ao estresse salino na hidroponia .....	79
2.1.10 Cultivo de alface sob salinidade .....	85
2.1.11 Estrutura experimental de cultivo hidropônico NFT .....	90
2.1.12 Análise econômica da produção hidropônica usando águas salobras .....	92
2.1.13 Aspectos gerais da cultura da alface .....	94
2.2 Material e Métodos .....	99
2.2.1 Experimentos em quartzo moído .....	99
2.2.1.1 Experimento I - Produção hidropônica de alface ‘Hortênciã’ em quartzo moído utilizando águas salobras .....	99
2.2.1.2 Experimento II - Contraste do efeito da salinidade provocada por cloreto de sódio e sais fertilizantes na produção hidropônica de alface ‘Hortênciã’ em quartzo moído .....	103

2.2.2 Experimentos no sistema NFT .....	106
2.2.2.1 Local de instalação .....	106
2.2.2.2 Estrutura experimental.....	107
2.2.2.3 Preparo das mudas de alface.....	110
2.2.2.4 Experimento III -Efeito do estresse salino estabelecido em diferentes fases de desenvolvimento sobre a produção hidropônica de alface .....	118
2.2.2.5 Experimento IV - Tolerância da alface à salinidade em sistema hidropônico tipo NFT.	120
2.2.2.6 Experimento V - Tolerância da alface à salinidade no solo e em sistema hidropônico do tipo NFT .....	124
2.2.2.7 Experimento VI - Tolerância da alface à salinidade no solo e em sistema hidropônico do tipo NFT (repetição).....	128
2.2.2.8 Experimento VII - Utilização de águas salobras em reposição à evapotranspiração da alface no sistema NFT .....	129
2.3 Resultados e Discussão.....	133
2.3.1 Experimentos em quartzo moído.....	133
2.3.1.1 Experimento I - Produção hidropônica de alface ‘Hortência’ em quartzo moído utilizando águas salobras .....	133
2.3.1.2 Experimento II - Contraste do efeito da salinidade provocada por cloreto de sódio ou sais fertilizantes na produção hidropônica de alface ‘Hortência’ em quartzo moído.....	150
2.3.2 Experimentos em NFT .....	157
2.3.2.1 Funcionalidade da estrutura experimental.....	157
2.3.2.2 Experimento III - Efeito do estresse salino estabelecido em diferentes fases de desenvolvimento sobre a produção hidropônica de alface .....	164
2.3.2.3 Experimentos IV, V e VI - Tolerância da alface ‘Verônica’ à salinidade em hidroponia NFT e em solo .....	169
2.3.2.3.1 Tolerância da alface ‘Verônica’ à salinidade em hidroponia NFT.....	181
2.3.2.3.2 Tolerância da alface ‘Verônica’ à salinidade em solo.....	197
2.3.2.3.3 Comparação entre os sistemas de cultivo hidroponia NFT e solo.....	209
2.3.2.4 Análise foliar (Experimento V).....	215
2.3.2.5 Análise sensorial (Experimento VI).....	217



2.3.2.6 Experimento VII - Utilização de águas salobras em reposição à evapotranspiração da alface no sistema NFT .....	222
3 CONCLUSÕES .....	240
REFERÊNCIAS .....	242
ANEXOS .....	262

## RESUMO

### **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**

Muitas vezes, a agricultura extensiva falha sob as condições semi-áridas da região Nordeste do Brasil, onde há escassez de águas superficiais e as chuvas são irregulares. O uso de águas subterrâneas poderia melhorar a produtividade das culturas. Mas, devido à condição geológica, é freqüente a ocorrência de águas subterrâneas salobras. A utilização dessas águas levaria à salinização do solo. Além disso, os poços perfurados têm baixas vazões. Nesse cenário, a hidroponia pode ser condizente à produção intensiva, baseada em pequenas áreas. A eficiência do uso da água na hidroponia é reconhecidamente maior que no solo porque torna mínima a perda por evaporação. Além disso, a hidroponia poderia aumentar a tolerância das culturas à salinidade. Isso permitiria o uso de águas salobras e, como benefício extra, incrementaria a proteção ambiental. Em hidroponia, não há o potencial mátrico que leva à diminuição da energia livre da água. Também, a própria estrutura funciona como sistema de drenagem. Os sais acumulados ao final do processo produtivo podem ser facilmente dirigidos para fora do sistema. Com essa hipótese, foram conduzidos experimentos para avaliar a tolerância da alface (cultivar Verônica) à salinidade em hidroponia e em solo. Foi construída uma estrutura experimental (40 parcelas independentes) para simular o cultivo na técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT). Para o cultivo em solo, foram utilizados vasos de 12 L e mulch plástico. Foi observado que na hidroponia NFT é possível empregar águas mais salobras que no cultivo em solo. Quando se têm disponíveis água doce e salobra, pode ser mais interessante usar água doce no preparo da solução nutritiva e água salobra na reposição ao volume consumido. O uso de água salobra para o preparo da solução nutritiva e da água doce para a reposição ao consumo produziu maiores perdas relativas sobre o rendimento do que a salinização gradual. Esse resultado foi proporcionado pela precocidade da alface. Em relação à tolerância, a salinidade limiar da alface 'Verônica' cultivada em hidroponia NFT foi estimada em  $4,03 \text{ dS m}^{-1}$ . Sob as mesmas condições experimentais, a tolerância em solo foi estimada em  $2,51 \text{ dS m}^{-1}$ . Esses resultados confirmam a hipótese levantada e permitem apresentar uma alternativa agrícola condizente à realidade de muitas famílias isoladas no semi-árido brasileiro.

Palavras-chave: Salinidade; Hidroponia; Semi-Árido; Irrigação; Águas subterrâneas

## ABSTRACT

### **Use of brackish waters for lettuce production in NFT hydroponics system as a suitable agricultural alternative to Brazilian semi-arid**

Several times, the extensive agriculture fails under semi-arid conditions in the Northeast region of Brazil, where the surface water is shortage and the pluvial precipitation is irregular. The use of groundwaters could increase the crops yield. However, due to the geological factors, it is usual the occurrence of brackish groundwaters in this region. The utilization of these waters would carry to soil salinization. Moreover, the opened deep tubewells often have low capacity. In this scenario, the hydroponics systems may be suitable to intensive production based in reduced areas. The higher water use efficiency in soilless cultivation is a well reported advantage, because in this system the water loss by evaporation is minimum. In hydroponics systems could be increase the crop salt tolerance. This would permit the brackish water use and, as an extra benefit, would increase the environmental safety. In hydroponics system, there is no the matric potential, which decreases the free-energy of water. Furthermore, the hydroponics structure operates as a drainage system. The accumulated salts, at the end of the period, may be easily removed from system. In order to test this hypothesis, were carried out experiments to evaluate the lettuce (cv. Verônica) salt tolerance under soil and hydroponics conditions. It was constructed a structure (40 independent experimental units) to simulate the Nutrient Technique Film (NFT) cultivation. For the soil experiment, it was used 12 L recipients and plastic mulch. It was registered that is feasible use waters more brackish in NFT system than in soil. For available of brackish and non-saline waters, it was more productive to use non-saline water to prepare the nutrient solution and brackish water to supply the water consumption. Higher yield losses were observed with the use the brackish water to prepare nutrient solution and the non-saline water to replace the water consumption. The nutrient solution salinization was less depreciative to yield than the constant salinity. This finding was providing by the lettuce precocity. In relation to the salt tolerance in NFT system, the lettuce salinity threshold was estimated in  $4.03 \text{ dS m}^{-1}$ . Under the same experimental conditions, the tolerance in soil was estimated in  $2.51 \text{ dS m}^{-1}$ . These results confirmed the hypothesis and permit to present an agricultural alternative suitable to reality of many isolated families in Brazilian semi-arid.

Keywords: Salinity; Soilless; Semi-arid; Irrigation; Groundwater

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de abrangência do Semi-Árido (em amarelo) .....	46
Figura 2 - Normais climatológicas de precipitação pluvial e evaporação anuais no período de 1931 a 1990 no Brasil.....	46
Figura 3 - Equipamento de osmose-reversa com capacidade para 2 m <sup>3</sup> hora <sup>-1</sup> , instalado na cidade de Rio Claro-SP visando irrigação de mudas cítricas.....	47
Figura 4 - Reservatórios contendo soluções com diferentes concentrações de sais e separados por membrana semi-permeável (a) e estabelecimento da osmose com o fluxo de água para o reservatório com solução mais concentrada (b) .....	47
Figura 5 - Estabelecimento do fluxo de água no sentido inverso da osmose mediante aplicação de uma pressão sobre a solução mais concentrada (a) visando superar a pressão osmótica (b).....	48
Figura 6 - Funções generalizadas de resposta da produtividade relativa das culturas em função da salinidade do solo (CEes) .....	63
Figura 7 - Modelo de Maas e Hoffman aplicado à cultura da alface.....	64
Figura 8 - Vista frontal do bloco com vasos azuis 1 dia após transplântio (DAT) (a) e vista frontal do bloco com vasos verdes 29 DAT (b) (Experimento I).....	104
Figura 9 - Solução nutritiva sendo drenada dos vasos para os frascos visando aeração (a) e sendo entornada de volta aos vasos (b) (Experimento I). .....	105
Figura 10 - Plântulas de alface cultivadas em vasos preenchidos com sílica e mantidos em bandejas contendo solução nutritiva preparada com água salobra (Experimento II). .....	105
Figura 11 - Detalhes do procedimento da aeração da solução nutritiva (Experimento II).....	106
Figura 12 - Visão geral do interior da casa-de-vegetação antes dos ensaios (a) e durante cultivo, protegido com manta termorrefletora (b) .....	112
Figura 13 - Termopar instalado à 2 m de altura e datalogger usado para aquisição dos dados... ..	112
Figura 14 - Reservatórios de solução nutritiva posicionados sobre o terreno antes da sistematização (a) e sobre tábuas de madeira após sistematização .....	113
Figura 15 - Eletrobomba de circulação para movimentação da solução nutritiva (a) e sua curva vazão x pressão (b) .....	113

Figura 16 - Perfis apoiados em quatro pontos de sustentação (a) e frasco adaptado como tampão de saída ao perfil hidropônico (b).....	114
Figura 17 - Desenho do perfil hidropônico dotado de reservatório de abastecimento automático. Legenda da figura: 1 – perfil hidropônico; 2 – tubo PVC condutor da solução até o sistema injetor; 3 – tubo PVC condutor da solução não injetada até o reservatório; 4 – eletrobomba de circulação; 5 – reservatório de solução nutritiva; 6 – torneira-bóia; 7 – sistema de abastecimento automático; 8 – mangueira transparente graduada.....	114
Figura 18 - Sistema injetor de solução nutritiva e tampão de entrada do perfil (a) e tipos de emissores que compuseram o sistema injetor (b) .....	115
Figura 19 - Vazão média registrada no perfil hidropônico em função do volume de solução nutritiva no reservatório.....	115
Figura 20 - Solução nutritiva sendo oxigenada e direcionada mediante joelho de 90° .....	115
Figura 21 - Perfis hidropônicos conectados aos seus respectivos reservatórios de abastecimento automático .....	116
Figura 22 - Detalhe do anel de PVC utilizado para evitar o vazamento de solução nutritiva.....	116
Figura 23 - Detalhe do painel de controle do sistema hidropônico (a) e eletrobombas ligadas à rede elétrica (b).....	116
Figura 24 - Plântulas de alface germinadas em espuma fenólica (a) e mudas de alface tipos crespa e lisa dentro de bandejas plásticas (b) (Experimento III) .....	117
Figura 25 - Plântulas de alface germinadas em espuma fenólica (a) e mudas de alface Verônica produzidas na espuma e sobre telado (b) (Experimento IV) .....	117
Figura 26 - Berçário para mudas de alface em hidroponia NFT (a) e detalhe das mudas produzidas em tiras de células de espuma fenólica não seccionadas (b) (Experimento V).....	117
Figura 27 - Plântulas de alface em células seccionadas de espuma fenólica (a) e anéis de PVC usados para controlar a perda de solução nutritiva (b) (Experimentos VI e VII).....	118
Figura 28 - Aleatorização dos tratamentos e suas repetições às parcelas na casa-de-vegetação.	122
Figura 29 - Distribuição dos tratamentos em cinco blocos separados na casa-de-vegetação durante o Experimento V.....	125
Figura 30 - Visão geral da casa-de-vegetação durante o Experimento III .....	130

Figura 31 - Casa-de-vegetação protegida por manta termorrefletora (a) e tanque graduado do sistema de abastecimento automático (b) (Experimento IV).....	130
Figura 32 - Irrigação do solo com uma solução salinizante no primeiro evento de salinização (a) e vasos protegidos com mulch prateado durante o último evento de salinização (b) (Experimento V).....	131
Figura 33 - Preparo da pasta de saturação do solo (a) e obtenção do extrato de saturação em funis de Buchner (b) .....	131
Figura 34 - Tensiômetros instalados no solo em dois dos blocos do delineamento experimental (a) e tensímetro acoplado ao tensiômetro durante leitura da tensão (b) (Experimento V) .....	132
Figura 35 - Pedacos da nervura central da alface em prensa manual usada para extração da seiva (a) e aparelho usado para medição do nitrato foliar (b).....	132
Figura 36 - Evapotranspiração acumulada (ETc) e sua redução percentual (% Red) em função da salinidade da água no cultivo hidropônico de alface crespa ‘Hortência’ .....	133
Figura 37 - Consumo diário de água da alface ‘Hortência’ em função da salinidade da água de reposição aos 7 DAT (a), 20 DAT (b) e 32 DAT (c).....	134
Figura 38 - Evolução da CE da solução nutritiva (0 - 28 DAT) para os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação no cultivo hidropônico da alface ‘Hortência’ .....	135
Figura 39 - Massas de matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e total (MST) em função dos diferentes níveis de salinidade da água de reposição .....	137
Figura 40 - Rendimento relativo para as médias de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) em função da salinidade da água de reposição, ao se considerar todos os pontos (a) e ao se eliminar os pontos com produtividade igual ou superior a 100 % (b).....	138
Figura 41 - Produção relativa de alface em função da CE <sub>a</sub> na hidroponia (Experimento I) e estimada de alguns cultivos convencionais .....	146
Figura 42 - Relação entre as massas de matéria seca das raízes e da parte aérea da alface ‘Hortência’ em função dos diferentes níveis de salinidade da água de reposição.....	148
Figura 43 - Produção absoluta de massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortência’ em função da salinidade da solução nutritiva.....	152
Figura 44 - Produção relativa de massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva causada pela aplicação de NaCl (a) e CaCl <sub>2</sub> + KCl (b) .....	153

Figura 45 - Número de plantas a amostrar por parcela em função do coeficiente de variação (medido em cada perfil sobre a massa de matéria fresca da parte aérea) e da semi-amplitude do intervalo de confiança expresso em percentagem da média (d) .....	158
Figura 46 - Temperaturas da solução nutritiva (Tsol) e do ar às alturas de 1 m (TS1), 2 m (TS2) e 3 m (TS3) ao longo do dia no período de 21/11/2006 a 01/12/2006.....	160
Figura 47 - Temperatura da solução nutritiva ao longo de três dias medida em dois reservatórios: um com fluxo contínuo no período das 07:00 às 19:00 horas (tanque com fluxo) e outro sem fluxo (tanque sem fluxo).....	161
Figura 48 - Temperatura do ar à 1 m de altura e temperatura no interior da calha de um perfil sem fluxo de solução ao longo de três dias consecutivos .....	161
Figura 49 - Aspecto das plantas de alface das cultivares lisa e crespa por ocasião da colheita ..	165
Figura 50 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria fresca da cultivar Verônica (dms = 138,44 g; cv = 14,819 %).....	166
Figura 51 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria fresca da cultivar Elisa (dms = 68,746 g; cv = 8,01 %).....	167
Figura 52 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria seca da cultivar Verônica (dms = 6,4451 g; cv = 15,24 %).....	167
Figura 53 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria seca da cultivar Elisa (dms = 3,8996 g; cv = 9,64 %) .....	168
Figura 54 - Temperatura do ar medida à 1 m de altura (T1) e temperatura da solução nutritiva (Tsolução) medida dentro do reservatório nos Experimentos IV (12-16; 19-22; 26-33 DAT), V (9 ao 27 DAT) e VI (1 ao 25 DAT) .....	171
Figura 55 - Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva ao longo dos Experimentos IV, V e VI.....	172
Figura 56 - Visão geral das plantas por ocasião da colheita no Experimento IV .....	175
Figura 57 - Plantas dos tratamentos Testemunha (à esquerda) e T7 (à direita) no Experimento IV .....	175
Figura 58 - Folhas em processo de murchamento (T2) e raízes necrosadas (T4) aos 4 DAT durante Experimento V.....	177
Figura 59 - Folhas e raízes assintomáticas em mudas da Testemunha aos 4 DAT durante Experimento V.....	177

Figura 60 - Folhas assintomáticas em muda estabelecida no solo aos 5 DAT (a) e muda em hidroponia exibindo folha velha com necrose na borda e folhas novas assintomáticas aos 11 DAT (b), durante Experimento V .....	179
Figura 61 - Aspecto geral de uma planta de alface por ocasião da colheita do Experimento V após sua submissão à salinidade de 9,06 dS m <sup>-1</sup> (planta da esquerda) em comparação com outra produzida com solução nutritiva de 2,30 dS m <sup>-1</sup> (planta da direita).....	179
Figura 62 - Aspecto geral da alface ‘Verônica’ produzida com solução nutritiva não salinizada (planta da esquerda) e salinizada com T7 (à direita) ao final do Experimento VI....	180
Figura 63 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI .....	185
Figura 64 - Massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI.....	186
Figura 65 - Massa de matéria fresca das folhas em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI.....	187
Figura 66 - Massa de matéria fresca do caule em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI.....	188
Figura 67 - Teor de água na parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI.....	189
Figura 68 - Número de folhas em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI .....	190
Figura 69 - Diâmetro da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI.....	191
Figura 70 - Massa de matéria seca das raízes da alface ‘Verônica’ em função da salinidade da solução nutritiva no Experimento IV.....	192
Figura 71 - Razão das massas de matéria seca das raízes e da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva no Experimento IV .....	192
Figura 72 - Consumo de água em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV (17-33 DAT), V (4-27 DAT) e VI (3-25 DAT).....	193
Figura 73 - Produção relativa de massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos V, VI e VII .....	195



Figura 74 - Produção relativa de massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos V, VI e VII .....	196
Figura 75 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI.....	200
Figura 76 - Massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI.....	201
Figura 77 - Massa de matéria fresca da das folhas (a) e do caule (b) em função da salinidade no extrato de saturação do solo no Experimento VI.....	202
Figura 78 - Número de folhas (a) e diâmetro da parte aérea (b) em função da salinidade no extrato de saturação do solo no Experimento VI.....	203
Figura 79 - Teor de água da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI.....	204
Figura 80 - Valores médios de tensão e do volume de irrigação no Experimento V .....	205
Figura 81 - Valores médios de tensão e do volume de irrigação no Experimento VI.....	205
Figura 82 - Produção relativa de massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI.....	207
Figura 83 - Produção relativa de massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI.....	208
Figura 84 - Produtividade comercial relativa da alface em função da salinidade na solução nutritiva em hidroponia e no extrato de saturação do solo no Experimento VI .....	213
Figura 85 - Relação entre a salinidade da solução nutritiva salinizada e a salinidade medida no extrato de saturação do solo (Experimento V) .....	214
Figura 86 - Teores foliares de N e K em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes) .....	216
Figura 87 - Teores foliares de Ca e Mg em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes) .....	216
Figura 88 - Teores foliares de P e S em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes) .....	217
Figura 89 - Teores foliares de Na e Cl em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes) .....	217
Figura 90 - Planta sintomática aos 25 DAT (a) e aos 29 DAT (b).....	221

Figura 91 - Teor de nitrato na massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Verônica’ em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes).....	222
Figura 92 - Temperaturas do ar medida à 1 m de altura (T1) e da solução nutritiva (Tsolução) medida dentro do reservatório no período entre 4 e 25 DAT no Experimento VII...	223
Figura 93 - Consumo de água no período de 6 a 25 DAT em função da salinidade da água.....	230
Figura 94 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da água.....	230
Figura 95 - Massa de matéria fresca das folhas em função da salinidade da água.....	231
Figura 96 - Massa de matéria fresca do caule em função da salinidade da água .....	231
Figura 97 - Massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da água .....	232
Figura 98 - Número de folhas em função da salinidade da água.....	232
Figura 99 - Diâmetro da parte aérea em função da salinidade da água .....	233
Figura 100 - Teor de água na parte aérea em função da salinidade da água .....	233
Figura 101 - Teor de nitrato na parte aérea em função da salinidade da água .....	234
Figura 102 - Tensão da água no solo ao longo do experimento para os diferentes níveis de salinidade da água de reposição.....	235
Figura 103 - Valores médios do volume acumulado de água aplicada no solo por planta em função da salinidade da água de reposição .....	235
Figura 104 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade da água para o Experimento VII em solo .....	238
Figura 105 - Aspecto geral da alface ‘Verônica’ irrigada com a água W7 à esquerda e irrigada com água não salobra à direita .....	239

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros usados para avaliar o risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.....	70
Tabela 2 - Condutividade elétrica média da água de irrigação ( $CE_a$ ) e concentrações de NaCl e $CaCl_2$ usadas em seu preparo.....	100
Tabela 3 - Concentração de nutrientes e quantidades de fertilizantes para o preparo de 1 m <sup>3</sup> de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface (FURLANI, 1998).....	101
Tabela 4 - Características químicas estimadas das águas obtidas com NaCl.....	103
Tabela 5 - Características químicas estimadas das águas obtidas com $CaCl_2$ e KCl.....	104
Tabela 6 - Informações básicas sobre a produção de mudas em cada um dos experimentos .....	111
Tabela 7 - Dados climáticos relativos às datas de transplântio em cada experimento, conforme disponibilização do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP .....	111
Tabela 8 - Descrição dos tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface .....	119
Tabela 9 - Descrição dos tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface .....	121
Tabela 10 - Descrição dos tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface .....	126
Tabela 11 - Propriedades físicas do solo .....	127
Tabela 12 - Propriedades químicas do solo .....	127
Tabela 13 - Média da condutividade elétrica da solução nutritiva salinizada aplicada ao solo nos cinco eventos de salinização.....	128
Tabela 14 - Concentrações de NaCl, Cl e Na e condutividade elétrica da água ( $CE_a$ ) nos diferentes tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface .....	129
Tabela 15 - Estimativa da condutividade elétrica da solução ( $CE_{sol}$ ) para a reposição com a água de maior salinidade ao longo do ciclo da alface ‘Hortência’ no Experimento I .....	142
Tabela 16 - Salinidade da solução nutritiva ao longo do experimento em função dos tratamentos propostos.....	150
Tabela 17 - Resultado da análise de variância para a massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortência’ submetida à solução nutritiva salinizada .....	151
Tabela 18 - Média da massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortência’ em função da salinidade da água e da solução nutritiva .....	151

Tabela 19 - Resultado para o teste de médias* da massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortênciã’ para fonte de salinidade da água .....	152
Tabela 20 - Média da massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortênciã’ para o efeito desdobrado dos níveis de $CE_a$ para a fonte de salinidade $CaCl_2 + KCl$ .....	153
Tabela 21 - Média da massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortênciã’ para o efeito desdobrado dos níveis de $CE_a$ para a fonte de salinidade $NaCl$ .....	154
Tabela 22 - Efeito desdobrado das fontes de sais dentro de cada níveis de $CE_a$ .....	154
Tabela 23 - Graus de liberdade (GL) do resíduo e das demais fontes de variação obtidos com a estrutura experimental nos delineamentos aleatorizado em blocos (com e sem interação) e inteiramente aleatorizado .....	157
Tabela 24 - Média da CE da solução nutritiva nos diferentes tratamentos ao longo do Experimento IV e suas médias ponderadas no tempo .....	173
Tabela 25 - Média da CE da solução nutritiva nos diferentes tratamentos ao longo do Experimento V e suas médias ponderadas no tempo .....	173
Tabela 26 - Média da CE da solução nutritiva nos diferentes tratamentos ao longo do Experimento VI e suas médias ponderadas no tempo .....	173
Tabela 27 - Variação absoluta (S) e percentual (D) da salinidade da solução nutritiva do início ao final do ciclo e diferença absoluta ( $S_p$ ) e percentual ( $D_p$ ) da salinidade ponderada em relação à salinidade inicial nos experimentos envolvendo tolerância .....	174
Tabela 28 - Massas de matéria fresca e seca da parte aérea, em valores absolutos e relativos à testemunha, em função da CE da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI...	194
Tabela 29 - Massas de matéria fresca e seca da parte aérea, em valores absolutos e relativos à testemunha, em função da salinidade do solo nos Experimentos V e VI.....	206
Tabela 30 - Teores foliares de Cl e Na em base de massa de matéria seca e seu aumento percentual de acordo com a salinidade da solução nutritiva .....	215
Tabela 31 - Acúmulo foliar de Cl e Na por planta de alface ‘Verônica’ e seu aumento percentual de acordo com a salinidade da solução nutritiva .....	216
Tabela 32 - Resultados do teste comparativo para o sabor da alface ‘Verônica’ cultivada sob estresse salino em hidroponia NFT .....	218
Tabela 33 - Condutividade elétrica da solução nutritiva e sua média ponderada no tempo em função da salinidade da água de reposição ao longo do Experimento VII.....	224

Tabela 34 - Variação diária da condutividade elétrica da solução nutritiva em função da salinidade da água de reposição ao longo do Experimento VII .....	224
Tabela 35 - Volume de água doce gasto para o preparo da solução nutritiva e sua relação com os volumes das águas salobras consumidos ao longo do Experimento VII.....	225
Tabela 36 - Massas de matéria fresca e seca da parte aérea, em valores absolutos e relativos à testemunha, em função da salinidade da água no Experimento VII.....	234
Tabela 37 - Estimativas das quantidades de NaCl aplicadas no volume de irrigação igual a 1,61 L e salinidade induzida no solo à tensão de 10 kPa, em função da salinidade da água	238

## 1 INTRODUÇÃO

“O desenvolvimento tecnológico do setor agropecuário, visando a exploração das terras áridas e semi-áridas do planeta, vem merecendo uma atenção especial por parte de muitos países. Isto se deve, não só ao potencial econômico, mas, sobretudo, à exploração geográfica destas terras, que poderão um dia tornar-se produtoras regulares de alimentos para atender à população mundial que cresce aceleradamente”.

Benedito Vasconcelos Mendes, 1986

Por algum tempo, a agricultura brasileira tentou se estabelecer nos moldes da praticada em outros países. Atualmente, a realidade já mostra o Brasil como um País destacado no cenário científico da agricultura, assegurando-se tecnologia própria, cujo reflexo no campo é a exteriorização de muitas das suas potencialidades agrícolas. O problema corrente mais se relaciona às continuadas tentativas de se equiparar todas as regiões do País para um mesmo padrão de agricultura. Deste tipo de tentativa, testemunha-se o equívoco e o fracasso da agricultura convencional e extensiva almejada, por exemplo, para toda região do semi-árido brasileiro, onde a produção vegetal é principalmente limitada pela escassez, quantitativa e qualitativa, de água.

É natural que a pesquisa científica brasileira seja apontada para o atendimento dos agricultores que cultivam as mais rentáveis culturas para a economia nacional. Entretanto, deve-se ponderar pelo amparo da pesquisa aos demais agricultores, contemplando investigações não apenas sobre as culturas e os sistemas de produção mais importantes, mas também investigações para tornar culturas e sistemas de produção tão importantes quanto. Para a região Nordeste, onde se tem a maior extensão do semi-árido brasileiro, essa mudança de estratégia deve ser especialmente dirigida visando se atingir uma agricultura baseada no uso racional da água e no aproveitamento de fontes alternativas de recursos hídricos.

Não apenas para o semi-árido torna-se imprescindível investigar o uso racional da água. Mesmo em regiões mais úmidas, como no Sudeste do País, a atividade agrícola mal manejada pode contribuir para a eutrofização e poluição de corpos d'água e salinização, contaminação e destruturação do solo, sendo mais graves as conseqüências quando às negligências operacionais da atividade se soma o emprego de águas de qualidade inferior.

Em todo o mundo, tendo em vista a crescente demanda por água, cada vez mais se testemunha a utilização de águas caracterizadas como de qualidade inferior, sejam essas: efluentes industriais, efluentes domésticos, efluentes das drenagens urbana e rural, esgoto e águas salobras ou salinas.

Por causas geológicas, águas salobras são comuns nas reservas subterrâneas no semi-árido brasileiro. Esse é um aspecto importante, pois, apesar da reconhecida escassez de águas superficiais, tem-se ali um considerável armazenamento de água no subsolo, o que poderia servir ao desenvolvimento da região. No âmbito agrícola, a exploração dessas reservas somente se justificará caso haja tecnologia suficiente e disponível aos agricultores para lidar com águas salobras, seja mediante seu emprego direto nas lavouras, seja via dessalinização para obtenção de água doce. Outra limitação à agricultura extensiva da região, mediante o emprego dessas águas, diz respeito à reduzida vazão de muitos dos poços já perfurados.

Diversas pesquisas tratam da possibilidade de utilização de águas salobras na agricultura. Enquanto algumas visam investigar a tolerância das culturas aos sais, sendo base para estudos de viabilidade técnica de produção e rendimento comercial, outras buscam averiguar o impacto da aplicação dessas águas no solo e nas águas receptoras, constituindo-se o referencial para estudos de viabilidade ambiental.

Visando uma agricultura comercial e ecologicamente sustentável, deve-se integrar os estudos de viabilidades técnica, econômica e ambiental para suportar o uso de águas salobras. A maioria das pesquisas na temática abordada não pressupõe tal integração, mesmo porque quase sempre são conduzidas em condições de laboratório ou casa-de-vegetação, em recipientes de cultivo, sem determinação ou modelagem do balanço de sais, sem partição da produtividade comercial, não contemplando ainda os efeitos dos ciclos sucessivos de cultivo.

Ao se utilizar as informações desses estudos, para espécies que deverão ser cultivadas em campo e irrigadas com águas salobras, pode haver subestimativas ou superestimativas de suas potencialidades produtivas, dos riscos ambientais e da viabilidade econômica. Por exemplo, ao se utilizar recipientes de cultivo, pode-se dispor às plantas um menor volume de solo que em condições de campo, levando à salinização mais rápida do meio, o que tornaria mais 'sensível' sua resposta aos sais. Por outro lado, recipientes de cultivo podem proporcionar um maior provimento hídrico devido à saturação de sua camada inferior, mesmo após drenagem, o que pode diminuir o estresse hídrico e resultar numa maior tolerância aos sais que aquela obtida a

campo. Outro exemplo, produtividades estatisticamente semelhantes podem proporcionar diferentes preços de venda ao se contrastar a qualidade da produção obtida com águas salobra e doce. Ou ainda, subestimar a tolerância pode implicar em descartar precocemente a solução salinizada no caso da hidroponia, incorrendo em maior risco ambiental e maior custo de produção. A evolução da salinidade do solo, mesmo que parcimoniosa pode impossibilitar futuros ciclos, ‘involuindo’ a agricultura à condição de itinerante e insustentável.

É consenso que a agricultura irrigada somente é sustentável em condições de baixa precipitação pluvial quando associada à drenagem, mesmo utilizando águas de boa qualidade. Quando não se dispõe de solos bem drenados naturalmente, deve-se implantar sistemas de drenagem subterrânea para favorecer a lixiviação dos sais, acumulados nas camadas superficiais do solo pela evapotranspiração, mas isso nem sempre é efetuado por causa do elevado custo financeiro. Quando não há drenagem ou chuva suficiente para percolação da água no perfil do terreno, os sais acumulados não são lixiviados, implicando na salinização do solo, um dos mais graves problemas da agricultura irrigada. Por outro lado, a utilização de frações de lixiviação na lâmina de irrigação implica em carregamento de sais fertilizantes e defensivos para as camadas subsuperficiais do solo, caracterizando perdas financeiras, referentes aos insumos e à água, mas também uma das mais graves formas de contaminação ambiental: a lenta e ‘silenciosa’ degradação qualitativa das águas subterrâneas.

A agricultura em muitos momentos pode ser uma atividade das mais atrativas e rentáveis, mas certamente também é uma atividade sempre associada a um grande risco. Em regiões de baixa precipitação pluvial, pode-se minimizar o risco mediante a irrigação dos cultivos. Mas nessas regiões, a agricultura irrigada extensiva além de consumir mais água devido à elevada evapotranspiração, deve consumir mais pela ‘obrigatoriedade’ de uso da fração de lixiviação para controle dos sais, o que não apenas diminui a eficiência do uso da água: também pode não ser congruente à realidade das suas bacias hidrográficas. Nessas regiões, como no semi-árido brasileiro, a agricultura extensiva de sequeiro é ainda mais sujeita ao risco, pois, qualquer prolongamento da estação seca, ou redução da lâmina precipitada, pode implicar em prejuízos irrecuperáveis às plantas.

Em se tratando de agricultura irrigada, há dois princípios básicos para se estabelecer o calendário de irrigação: suprir totalmente a necessidade hídrica da cultura, visando maximizar a produção por unidade de área; ou suprir parcialmente a necessidade hídrica, com uma lâmina que



proporcione a maior viabilidade econômica e não necessariamente a maior produtividade. Ainda que mais sofisticada, a irrigação com déficit pode não ser a melhor opção ambiental para regiões sujeitas ao clima semi-árido, em virtude da fração de lixiviação ser reconhecidamente compulsória.

Nessas regiões, ao invés de se cultivar extensivamente, a opção mais razoável para o cultivo convencional em solo pode ser a implantação de cultivos em áreas planejadamente reduzidas, garantindo-se haver água, via irrigação, durante todo ciclo para as culturas, incluindo a fração de água que deve ser percolada. Ou seja, a meta seria cultivar a máxima área capaz de ser atendida pela oferta de água disponível com base na lâmina real necessária (corrigida para lixiviação), o que seria bonificado com a produtividade potencial das culturas e com a garantia de menor risco à atividade econômica.

Onde não são disponíveis águas superficiais, para transição da agricultura de sequeiro para a irrigada, uma opção seria construir sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais, mas o investimento inicial e, principalmente, as taxas de evaporação da água livre podem ser proibitivos, em muitos casos, devendo-se recordar que não foi casual o insucesso das tentativas de açudagem de águas superficiais no interior do Nordeste, nos primórdios da irrigação no Brasil.

Uma outra opção para irrigação é utilizar águas subterrâneas. Mas, considerando a alta frequência de águas salobras nos recursos subterrâneos de regiões semi-áridas, como a brasileira, seu uso poderia causar grande impacto ambiental (salinização), caso o sistema de cultivo fosse o convencional baseado no solo.

Para contornar esse problema, poderia se utilizar sistemas hidropônicos do tipo fechado, amparados por tanques de evaporação. Nesse conjunto, a solução nutritiva é recirculada havendo a fundamental combinação irrigação/drenagem. Assim, o entrave ambiental do uso de águas salobras poderia ser resolvido, pois, todo o efluente salino final do cultivo (íons da solução nutritiva e das águas salobras) seria captado nos próprios reservatórios do sistema, facilitando sua destinação mais apropriada. Não haveria salinização e contaminação do solo e, como benefício, haveria ainda a possibilidade de se cultivar em águas mais salobras que no sistema convencional, pois, na hidroponia as plantas não são submetidas ao estresse da falta de água no cômputo do estresse hídrico.

Essa alternativa também poderia ser condizente aos programas de dessalinização de águas subterrâneas salobras, implantados na Região Nordeste e que visam a dessedentação e o

abastecimento doméstico, pois, a osmose reversa, que é o processo mais usual para remoção dos sais, gera, além da água doce, um resíduo líquido ('rejeito') altamente salino, o qual não pode ser indiscriminadamente descartado no ambiente. A agricultura intensiva e sustentável como vislumbrada com o sistema hidropônico proposto poderia gerar recursos para a aquisição e manutenção do dessalinizador, servindo ainda para dar um destino mais nobre às suas águas residuárias: a produção vegetal, seja para alimentação humana ou animal.

Em se comprovando a viabilidade técnica do uso de águas salobras em sistemas hidropônicos, pode ser possível viabilizar a construção de tanques de evaporação para o efluente final do processo, empregando recursos gerados na própria atividade. Em se provando a viabilidade econômica e ambiental, ter-se-ia disponível para os agricultores, sobretudo os inseridos na zona semi-árida do Nordeste, uma alternativa de agricultura mais condizente à sua realidade. A garantia da subsistência e o excedente disponível para venda poderiam fortalecer não apenas a agricultura familiar e micro-empresarial na região, mas aquecer também os comércios locais, com a expansão de mercados para produtos e serviços, fazendo-se ainda melhor preservar os recursos naturais, que se exaurem com a agricultura extensiva e o extrativismo, não obstante contribuintes da desertificação.

### **1.1 Hipótese**

Em hipótese, para um mesmo nível de fertilidade e salinidade do meio, as plantas podem ser mais estressadas em cultivos convencionais que em cultivos hidropônicos, considerando que no cultivo convencional o nível de umidade oscila entre um evento de irrigação e outro, havendo a diminuição dos potenciais osmótico e mátrico no cômputo do potencial total da água. Na hidroponia, inexistente o potencial mátrico, ao menos na maior parte do tempo, devido ao estado de saturação ao qual estão submetidas as plantas, fato que pode se constituir em vantagem quando se utilizar águas salobras.

O maior potencial da água na hidroponia deve representar uma maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, com menor gasto energético e menores prejuízos morfo-fisiológicos, para uma mesma quantidade de sais, em relação ao cultivo em solo. Manter equivalente estado de saturação no solo, apesar de exequível, implica incorrer em riscos fitossanitários maiores, sendo condição epidemiológica para patógenos muitas vezes já presentes no meio, além de representar maiores chances de lixiviação de íons, com perdas financeiras (íons de fertilizantes) e/ou

ambientais (poluição do solo e das águas receptoras). Neste sentido, em sistemas hidropônicos, espera-se que culturas, sobretudo de ciclo rápido, proporcionem o uso sustentável de águas salobras, naturais ou residuárias provenientes da dessalinização.

Como na hidroponia não há efeito da salinidade sobre a matriz, pois essa inexistente (hidroponia tipo NFT) ou é relativamente inerte (hidroponia em substrato), os prejuízos às plantas, como verificados nos sistemas convencionais e decorrentes das alterações da estrutura do solo (especialmente em função do íon  $\text{Na}^+$ ), tornam-se nulos ou menores, sendo esse outro fator que, em hipótese, também contribuiria para o uso de águas salobras na hidroponia, em mais longo prazo de sustentabilidade que aquele obtido em solo.

Particularmente para o uso de rejeito de dessalinizadores, poder-se-ia, nos cultivos hidropônicos, em tese, reduzir o volume original até volumes correspondentes às tolerâncias das culturas (concentrações limiares de sais), partindo da premissa que menores volumes são mais fáceis de manusear e destinar. Além disso, o valor agregado na produção hidropônica pode tornar viável a construção de tanques de evaporação para recepção das águas residuárias finais do cultivo hidropônico. A utilização do rejeito para produção de espécies glicófitas pressupõe que o objetivo do aproveitamento não seja a redução da concentração de sais do efluente. Não se pode objetivar uma substancial redução do volume desse efluente utilizando tais espécies, pois, à medida que fossem consumindo água, os sais seriam concentrados em níveis críticos. Portanto, espera-se conciliar a redução apenas parcial do volume de água salobra, mediante a produção de glicófitas, com posterior utilização de tanques de evaporação subsidiados pelos próprios cultivos.

Ao final do ciclo, seja em solo, seja em hidroponia NFT, tem-se no meio de cultivo o aporte de elementos essenciais e não essenciais às plantas. Em ambos os sistemas de cultivo, há carga salinizante/polvente. No cultivo em solo, a drenagem natural associada à fração de lixiviação pode remover essa carga, mas a remoção leva às águas subterrâneas. Quando se instalam drenos subterrâneos, a carga polvente pode ser captada e emitida para fora do meio de cultivo, mas quase sempre a emissão as leva para corpos d'água ou terrenos, contaminando-os. Na hidroponia NFT, a carga polvente já está captada e, com a vantagem de poder ser menos tóxica que o lixiviado de solos, pode ser diluída para re-circulação, utilizada para irrigar outras culturas, ou ainda ser facilmente direcionada para concentração em tanques de evaporação.

Gerando-se tecnologia para uso de águas salobras em sistemas hidropônicos, poder-se-ia programar, desde que rentáveis, seqüências de cultivo de modo a rebaixar o efeito do potencial

osmótico e/ou se extrair íons específicos a partir de soluções nutritivas ‘envelhecidas’ (desbalanceadas e salinizadas). Amparando-se na premissa de que quanto menor o volume de águas residuárias com poder poluente, mais fácil seu manuseio e destinação, sendo idealizado o efluente sólido, o rejeito líquido final de todo o processo poderia ser lançado em tanque de evaporação.

## **1.2 Objetivo**

Considerando os pontos supracitados acerca do objeto de investigação, foram propostos estudos com a cultura da alface em hidroponia, sendo essa cultura selecionada pela sua importância mercadológica; pelo seu elevado desempenho técnico-econômico em hidroponia; sua precocidade; e sua sensibilidade à salinidade do solo.

O objetivo do presente trabalho foi mensurar a viabilidade técnica da utilização de águas salobras, naturais ou residuárias da dessalinização, na produção de alface cultivada em sistema hidropônico, tendo em vista o aproveitamento de águas subterrâneas no semi-árido brasileiro.

Especificamente, procurou-se averiguar se a tolerância da alface à salinidade na hidroponia do tipo NFT é superior à obtida no cultivo em solo. Também foi objetivo específico analisar a viabilidade da combinação de águas doce e salobra para o cultivo da alface em ambos os sistemas de produção.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Eu aprendi a partir deste experimento que todo (material) vegetal surge imediata e materialmente do elemento água sozinho. Peguei um pote de barro e coloquei nele cerca de 91 kg de solo seco ao forno, saturei-o com água e plantei ali um broto de salgueiro pesando 2,3 kg. Passados 5 anos, a árvore crescida a partir disso pesava cerca de 76,7 kg. Mas o pote de barro foi constantemente umedecido apenas com água de chuva ou (quando necessário) água destilada; e ele era largo (em tamanho) e enterrado no solo; e, para evitar transporte de poeira ao redor, a partir da mistura com o solo, a borda do pote foi mantida coberta com uma placa de ferro revestida com estanho e perfurada com vários furos. Não computei o peso das folhas que caíram nos quatro outonos. Finalmente, sequei novamente o solo do pote e ele foi encontrado com os mesmos 91 kg, menos cerca de 57 gramas. Conseqüentemente, 74,4 kg de madeira, córtex e raízes surgiram apenas a partir da água.

J. B. van Helmont (1580-1644)

### 2.1 Revisão Bibliográfica

#### 2.1.1 Escassez de recursos hídricos

Epstein e Bloom (2006) ressaltam que a equivocada valoração de van Helmont à água, por mais que seja censurável à luz do conhecimento atual em nutrição mineral de plantas, deve ser respeitada em função de seu pioneirismo numa nova ciência.

Não existe elemento essencial mais essencial que os outros para a vida de um organismo. Essa assertiva da Ciência da Nutrição, vegetal, animal ou humana, é indelével.

A água pura somente fornece dois nutrientes (ou elementos essenciais): hidrogênio e oxigênio. Por outro lado, a magnitude de valor dada por van Helmont à água não parece tão absurda quando se analisa a fisiologia de um organismo. A participação dos demais nutrientes no organismo vivo é condicionada pela água: por exemplo, a entrada de carbono (transpiração) e dos demais nutrientes (absorção radicular ou foliar) na planta é governada por essa substância. A água não substitui todos os nutrientes, mas ela dá sentido à sua essencialidade: é a centelha da vida. Simplificadamente, pode-se dizer que a vida na Terra surgiu da água e que vidas extraterrenas são procuradas na sua evidência.

Distinguem-se organismos aquáticos e terrestres com base em seus habitats, mas fisiologicamente todos os organismos vivos são aquáticos, pois suas células podem funcionar apenas quando banhadas por água e saturadas por ela: água é “matriz” da vida’ (BALL, 2001).

De todos os recursos de que a planta necessita para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola e de ecossistemas naturais (TAIZ; ZEIGER, 2004). A importância ecológica da água está associada ao fato de que quase todos os processos fisiológicos das plantas são, direta ou indiretamente, influenciados pelo suprimento hídrico (KRAMER; BOYER, 1995).

A água compreende a maioria da massa de células vegetais, o que pode de imediato ser constatado se forem visualizadas ao microscópio seções de células vegetais maduras: o citoplasma compreende somente 5 a 10 % do volume celular; o restante é um vacúolo cheio de água. A água tipicamente constitui de 80 a 95 % da massa de tecidos vegetais em crescimento. Vegetais comuns, como cenoura e alface, por exemplo, contêm de 85 a 95 % de água (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Por raciocínio lógico, se a água é fundamental para a vida vegetal, é também para a vida dos animais e do homem, pois esses não são autotróficos e dependem das plantas. Por outro lado, a água também é diretamente imprescindível ao organismo animal. Por exemplo, segundo Miranda (2004), o corpo humano é composto de água entre 70 e 75 %, sendo ela oriunda da ingestão de líquidos (47 %), da respiração celular (14 %) e dos alimentos (39 %). Segundo Tomaz (1998), à temperatura de 20 ° C, uma pessoa consome, em média, 2,3 L de água. A perda desse mesmo volume corresponde a 1,4 L expelidos pela urina, 0,35 L pela pele, 0,1 L pelo suor e 0,1 L pelas fezes. Cerca de 63 % da água no corpo humano é encontrada dentro das células (água intracelular).

Mas não apenas às fisiologias e aos crescimentos vegetal e animal a água é imprescindível. O crescimento econômico e o desenvolvimento social, a fisiologia da sociedade, passam também pela disponibilidade hídrica.

Além de um recurso imprescindível à vida, a água também é um insumo de desenvolvimento e bem-estar (qualidade de vida). Por exemplo, associada às políticas públicas viciadas em corrupção, como historicamente praticadas na região Nordeste do Brasil, a escassez, quantitativa e qualitativa, de água é um dos primordiais fatores de origem da miséria na região. Nesse contexto, Monteiro (2002) encontrou forte correlação entre indicadores sócio-econômicos

no Estado do Ceará e a salinização das águas que abastecem suas populações. Os 10 municípios (entre 170) com piores indicadores possuem quase 70 % de seus poços com altos teores de sais, enquanto que nos 10 melhores classificados este percentual é de apenas 16 %.

Em virtude da escassez qualitativa e quantitativa de água, diversos pesquisadores apontam para importantes litígios locais e mesmo conflitos entre nações, considerando que o consumo mundial dobra a cada 20 anos (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000; REBOUÇAS, 1999a). Segundo Rebouças (1999a), a guerra da água é um conflito milenar que tende a se expandir para além das suas áreas tradicionais, Oriente Médio e Norte da África, sobretudo porque muito pouco vem sendo feito para evitá-la. Paz, Teodoro e Mendonça (2000) informam que atualmente em 26 países é crônica a falta de água, citando-se Kuwait, Israel, Jordânia, Arábia Saudita, Líbia, Iraque, Bélgica, Argélia, Cabo Verde, Etiópia, Hungria, México, Estados Unidos, França e Espanha.

Falkenmark (1986) apud Rebouças (1999a) considera que menos de  $1.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  por habitante já representa uma condição de estresse hídrico numa área, e que menos de  $500 \text{ m}^3$  anuais per capita já significa escassez de água. Ainda que o limite de estresse hídrico territorial não seja alcançado em qualquer um dos estados brasileiros (REBOUÇAS, 1999a), alguns deles apresentam disponibilidade próxima à limiar.

No âmbito nacional, a escassez prolongada de água se confunde com a região Nordeste. Conforme Rebouças (1997), as secas de 1825, 1827 e 1830 marcaram o início da açudagem no Nordeste semi-árido como fonte de abastecimento humano e animal durante tais períodos. Em 1831, a Regência Trina autorizou a abertura de fontes artesianas profundas. Bernardo (1992a) informa que em 1877, pela primeira vez, a seca no Nordeste foi considerada oficialmente um desastre nacional. Em dezembro daquele ano, foi criada a primeira Comissão Nacional para resolver esse problema, sendo recomendada a construção de açudes, estradas de ferro e de rodagem, e de poços. Aventou-se a possibilidade de transposição de bacias, por meio de canal, entre os rios São Francisco e Jaguaribe. Esses são alguns eventos que inauguraram a primeira fase da irrigação na nação. Atualmente, a transposição das águas do rio São Francisco voltou a ser veiculada e debatida (CONFEA, 2000), talvez como mais um sintoma do não aprendizado a se conviver com as secas e os recursos disponíveis na região. Certamente, também um reflexo do aumento da demanda hídrica regional.

A escassez de água, seja quantitativa ou qualitativa, tem sido uma constante preocupação ao longo da História da humanidade. Porém, a partir da última década do século XX, esse

problema ficou mais evidenciado, devido ao crescimento populacional, à melhoria das condições de vida, o que demanda mais água, e à importância que os meios de comunicação têm dado ao tema, permitindo sua divulgação em todos os âmbitos (JUAN, 2000). Além disso, Ayers e Westcot (1999) argumentam que a negligência à qualidade da água se deveu à abundância, até então existente, de fontes de água, em geral de boa qualidade e fácil utilização.

A veiculação da escassez de águas doces na mídia, a despeito de evidenciar o problema, pode criar uma representação da realidade como forma de distorção sistemática pela qual aqueles que estão submetidos à informação vêem o mundo objetivo por um ‘filtro’ que promove ou omite fatos de forma arbitrária (CORRÊA, 2007). Os interesses dos controladores da mídia podem fomentar o enfrentamento decisivo do problema, mas também podem servir à sua continuidade ou à abordagem atenuada das suas causas.

No Nordeste do Brasil, por muito tempo se encarou as secas e suas conseqüências como fatalidades. Também foi sempre tolerado o papel pseudo-assistencialista dos políticos que se beneficiavam dos ‘desastres’ e sua ‘eventualidade’. Segundo Campello (1995), são algumas das mazelas a serem superadas nessa região: a baixa eficiência da profusa lista de organismos criados, de programas e projetos elaborados e não-implantados; o caráter paternalista e político-eleitoreiro das intervenções realizadas; a falta de coordenação; a pouca eficiência no uso das águas já disponíveis no semi-árido do Nordeste (açudes e poços), assim como a descontinuidade dos esforços. Caracteriza Rebouças (1997) que na realidade do semi-árido nordestino, onde campeia a fatalismo, ainda se observa a existência de práticas de manejo solo/água e de cultivo que se diferenciam daquelas típicas da era paleolítica tão somente por utilizarem instrumentos de trabalho feitos com os metais. Em conseqüência, é longa a trajetória de mudança e grande a responsabilidade dos formadores de opinião, em especial dos técnicos e cientistas.

Em 1996, a demanda hídrica mundial estava estimada em  $5.692 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$  contra uma oferta de  $3.745 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ , ou seja, a oferta hídrica só atendia a cerca de 66 % dos usos múltiplos. Mantendo-se as taxas de consumo e se considerando um crescimento populacional à razão geométrica de 1,6 % a.a., o esgotamento da potencialidade de recursos hídricos pode ser referenciado por volta do ano 2053. Assim, as disponibilidades hídricas precisam ser ampliadas e, para tanto, são necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para



exploração viável e racional da água (MAIA NETO, 1997 apud PAZ; TEODORO; MENDONÇA 2000).

Nesse sentido, à realidade do Nordeste tem que se investir esforços e assumir responsabilidades para se superar duas importantes crises, alojadas no cenário mundial atual e definidas de forma lúdica por Paz, Teodoro e Mendonça (2000): a crise alimentar e a crise da escassez de água. Mediante essas crises, que parecem indissociáveis, será necessário aumentar a produção das lavouras e concomitantemente diminuir o consumo de água na atividade agrícola, objetivos que levam ao dilema da agricultura irrigada, ora apresentada como a prática agrícola que, isoladamente, melhor pode incrementar a produtividade (BERNARDO, 1992a), ora apontada como uma das principais formas de degradação ambiental (BERNARDO, 1992b).

Considerando as taxas de aumento populacional mundial e a conseqüente demanda crescente por alimentos, intuitivamente, tem-se que aceitar o aumento do consumo de água na agricultura (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000; ONGLEY, 1997). Por esse motivo, cada vez mais se testemunha a necessidade de utilização de fontes alternativas de água, muitas vezes caracterizadas como de qualidade inferior para a atividade agrícola (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000; GHEYI et al., 2005; PESCOD, 1992), o que é concordante com o fato de ser a agricultura o setor que mais deriva água para uso consuntivo<sup>1</sup> no mundo (cerca de 69 % de toda água superficial derivada) (CHRISTOFIDIS, 1997 apud PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Para viabilizar a agricultura irrigada, atendendo à demanda crescente por alimentos no cenário da escassez hídrica e da utilização de fontes com qualidade inferior, é fundamental redefinir práticas que não comprometam a sustentabilidade ambiental. Assim, o projeto agrícola deve ter sua vida útil perdurável, pois a economia tornou-se inseparável da ecologia. Como esclarecem Salati, Lemos e Salati (1999), para o desenvolvimento sustentável, o recurso água deve ser racionalmente gerido.

Na região Nordeste do Brasil, além da limitação dos recursos hídricos pelo clima, há uma tendência à limitação por origem antrópica, seja dando conseqüência às mudanças climáticas provocadas no planeta, seja como resposta às atividades locais, especialmente a agricultura e a

---

<sup>1</sup> O uso da água pode ser dividido em duas categorias: uso consuntivo e uso não consuntivo. No uso consuntivo, a água é um fim e no uso não consuntivo a água é um meio para um fim. No primeiro caso, tem-se o uso agrícola, o consumo humano e o consumo nas indústrias. No segundo, têm-se as hidroelétricas, o transporte fluvial e a recreação na água, etc (TOMAZ, 1998).

pecuária irracionalmente conduzidas, que têm depredado os recursos naturais, sendo testemunhadas a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, a erosão do solo e o assoreamento de corpos d'água, cenário conjunto que culmina com a desertificação de grandes áreas, onde esmorecem as vidas das plantas e dos seus dependentes heterotróficos.

A escassez hídrica no Nordeste é uma causa à miséria e, à medida que aumenta como parte da depredação ambiental, torna-se também sua consequência. Um ciclo vicioso à semelhança daquele descrito por Mendes (1986) sobre a pobreza como condição da falta de investimentos em tecnologia, e esta carência como função da pobreza.

### **2.1.2 Águas subterrâneas como alternativa**

Uma importante fonte alternativa às águas superficiais são as águas subterrâneas. Estima-se que existam no Brasil pelo menos 400.000 poços (ZOBY; MATOS, 2002). A água subterrânea é intensamente explorada no País. A água de poços e fontes vem sendo utilizada para diversos fins, tais como o abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. No Brasil, 15,6 % dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea, 77,8 % usam rede de abastecimento de água e 6,6 % usam outras formas de abastecimento (IBGE, 2002 apud ZOBY; MATOS, 2002).

No Estado de São Paulo, dos 645 municípios, 462 (71,6 %) são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 (47,7 %) são municípios totalmente abastecidos por este recurso hídrico. No Maranhão, mais de 70 % das cidades usam água de poços, e no Estado do Piauí este percentual supera 80 %. A água subterrânea participa do abastecimento de comunidades rurais do semi-árido nordestino e da população urbana de diversas capitais do país, como Manaus, Belém, Fortaleza, Recife, Natal e Maceió. É amplamente utilizada na irrigação em Mossoró no Rio Grande do Norte, no Oeste da Bahia e na região de Irecê (BA). Na Região Metropolitana de São Paulo, a água subterrânea é utilizada em hospitais, indústrias e hotéis. Estima-se um número próximo de 11.000 poços em operação. Na Região Metropolitana de Recife, estima-se a existência de 4.000 poços, abastecendo cerca de 60 % da população (ZOBY; OLIVEIRA, 2005).

Sobre os custos de água captada, Rebouças (1999b) informa que comparativamente a alternativa tecnológica mais barata para se atender a uma determinada demanda é a captação de água subterrânea. Em relação às águas superficiais, os fatores da maior competitividade das águas subterrâneas são destacados pelo autor: a notável capacidade de armazenamento dos aquíferos faz

com que a quantidade e a qualidade não sejam afetadas pela variabilidade sazonal ou interanual das fontes de recarga, tais como períodos de estiagem, secas ou enchentes; a potabilidade natural e a maior proteção da qualidade dispensam os investimentos com estações de tratamento; a forma extensiva de ocorrência das águas subterrâneas resulta na possibilidade de captação no local onde ocorrem as demandas, dispensando estações de recalque e adutoras. Ademais, a sua captação não interfere com o desenvolvimento das formas de ocupação da área em apreço, tais como urbanização, construção de indústrias ou atividades agrícolas; os prazos de execução das obras de captação são relativamente pequenos, da ordem de dezenas de dias até alguns meses, contra dezenas de meses até alguns anos no caso da captação de rios e lagos; os investimentos são relativamente pequenos. Ademais, a aplicação dos recursos financeiros para construção de novos poços pode ser realizada na medida em que cresce a demanda de água, não onerando a coletividade atual em benefício dos futuros usuários; os mananciais subterrâneos não sofrem assoreamento, nem perdem grandes volumes de água por evaporação, tal como ocorre nos rios, lagos e barragens, de modo especial nos contextos de clima árido ou semi-árido.

O Brasil é hoje um dos países mais desenvolvidos do mundo em tecnologia de poços profundos. Um litro de água proveniente de poço profundo, em alguns casos, pode custar até 15 vezes menos que um litro de água captada de recursos hídricos superficiais (TOMAZ, 1998).

Segundo publicação da Johnson Division (1978), a maior parte das águas subterrâneas não contém matéria suspensa e, praticamente, nenhuma bactéria, sendo, em regra, límpida e incolor, características que contrastam com as águas de superfície, em geral túrbidas e de considerável teor de bactérias. As águas subterrâneas são, portanto, de superior qualidade sanitária. Acrescenta Steel (1966), que águas subterrâneas normalmente não necessitam tratamento prévio, a sua temperatura se conserva uniforme durante todo o ano, sendo mais baratas do que as acumuladas em açudes, além de ser mais certa a avaliação de sua quantidade, praticamente não sendo afetadas pelas estiagens.

As águas de chuva até atingirem grandes profundidades, interagem com rochas e minerais diversos, sendo submetidas a condições de temperatura e pressão elevadas que constituem um processo de autodepuração capaz de modificar suas características. Além disso, na água, as bactérias anaeróbias, para garantir seu processo metabólico, utilizam-se da matéria orgânica e do oxigênio nela dissolvido, provocando um processo de mineralização de eventuais poluentes orgânicos biodegradáveis representados, em grande parte, pelos materiais carbonáceos e, ainda,

transferindo espécies químicas inorgânicas para as águas infiltradas que, assim, têm suas características físico-químicas modificadas (VAITSMAN; VAITSMAN, 2005).

Devido sua natureza predominantemente mineral, inorgânica, as águas subterrâneas são consideradas mais isentas de microorganismos. Além de valorizada quando se visa o consumo humano, essa característica é também útil à irrigação de certos cultivos. O atual modelo de produção de mudas cítricas vigente no Estado de São Paulo, por exemplo, utiliza-se da melhor qualidade fitossanitária das águas subterrâneas: Para atender às normas de certificação, e evitar contaminar as mudas com patógenos disseminados via água (principalmente *Phytophthora*, agente causal da gomose, e nematóides), preconiza-se o tratamento da água de irrigação com cloro a 5 mg L<sup>-1</sup> ou a utilização de água de poço tubular profundo (FUNDECITRUS, 2003; OLIVEIRA et al., 2001; GRAF, 2001).

O relativamente lento movimento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe um íntimo e demorado contato com os minerais que formam a crosta terrestre e que nela vão se dissolvendo em maior ou menor proporção. Assim, a água subterrânea vai aumentando o seu teor em substâncias dissolvidas à medida que prossegue no seu movimento, até que entre essas seja alcançado um equilíbrio (JOHNSON DIVISION, 1978). Portanto, a qualidade química das águas subterrâneas depende da concentração inicial de sais na água de recarga e, principalmente, das características dos solos e das rochas em que escoam, infiltram e se confinam (HOLANDA; AMORIM, 1997). Justamente em virtude da variabilidade espacial sobre as características do solo e da sua matriz, tem-se a variabilidade qualitativa das águas subterrâneas disponíveis.

A despeito de poderem apresentar melhor qualidade sanitária, as águas subterrâneas podem ter qualidade química (concentração de sais dissolvidos) limitante ao consumo humano e à produção agrícola. No Brasil, a Portaria nº36/90 do Ministério da Saúde estabelece que o valor máximo permissível de sólidos totais dissolvidos é 1.000 mg L<sup>-1</sup> para o consumo humano (REBOUÇAS, 1999a), mesmo valor preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Para a produção agrícola irrigada, Ayers e Westcot (1999) indicam não haver restrição para o uso de águas com até 450 mg L<sup>-1</sup>, existindo moderada restrição para águas com 450 a 2.000 mg L<sup>-1</sup>. A restrição é severa quando o teor de sólidos totais dissolvidos supera 2.000 mg L<sup>-1</sup>.

Conforme legislação ambiental vigente no Brasil, mediante a resolução 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de 17 de março de 2005, as águas do território nacional são classificadas em função da sua salinidade como: águas doces (salinidade inferior ou igual a

0,5 ‰); águas salobras (salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰) e águas salinas (salinidade igual ou superior a 30 ‰) (BRASIL, 2007). Expressando esses valores no Sistema Internacional de Unidades, como faz Rebouças (1999a), o limite superior de salinidade é  $500 \text{ mg L}^{-1}$  para águas doces e  $30.000 \text{ mg L}^{-1}$  para águas salobras.

Existem basicamente três formas em que a água ocorre no subsolo. Nas rochas fraturadas, ela está presente nas discontinuidades da rocha como falhas e fraturas. Corresponde às rochas ígneas e metamórficas. Nos terrenos fraturados-cársticos, além das discontinuidades da rocha, ocorre também a dissolução ao longo dos planos de fraturas, devido à presença de minerais solúveis nas rochas calcárias. Por final, nas rochas sedimentares, a água é armazenada no espaço entre os grãos da rocha. De forma geral, os terrenos sedimentares apresentam os melhores aquíferos, e ocupam cerca de  $4.130.000 \text{ km}^2$ , ou seja, aproximadamente 48 % do território nacional. Os terrenos cristalinos constituem os aquíferos cárstico-fraturados e fraturados, que ocupam cerca de  $4.380.000 \text{ km}^2$ , 52 % do território nacional (ZOBY; OLIVEIRA, 2005).

Segundo Zoby e Oliveira (2005), que compendiarão vários estudos, as águas subterrâneas brasileiras possuem boa qualidade, de modo geral, com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos, incluindo o consumo humano, sendo uma das poucas exceções que citam os aquíferos fraturados (terrenos cristalinos) do semi-árido nordestino, em virtude dos elevados valores de sólidos totais dissolvidos. Reforçam os autores que uma comprovação da qualidade das águas do subsolo do País é o grande uso de águas minerais e potáveis de mesa para consumo humano especialmente nos grandes centros urbanos.

Águas salinas (FERNANDES; GHEYI; MEDEIROS, 2005), efluentes do esgoto e águas residuárias do abastecimento doméstico e das indústrias, além da própria agricultura, no caso da recirculação do lixiviado de drenagem, também são apontadas (GHEYI; MEDEIROS; SOARES, 2005; PESCOD, 1992; AYERS; WESTCOT, 1999) como alternativas às águas derivadas dos rios e lagos, apresentando, no entanto, limitações químicas e sanitárias muitas vezes ainda mais restritivas que as águas subterrâneas salobras.

A dessalinização de águas salobras e mesmo marítimas também é uma outra alternativa ao abastecimento hídrico e à economia de águas superficiais. Estima-se que a atual capacidade instalada de dessalinização no mundo seja superior aos 35 milhões de  $\text{m}^3$  por dia (MARTÍNEZ-BELTRÁN; KOO-OSHIMA, 2006; WATSON; MORIN JR.; HENTHORNE, 2003). Diversas opções para dessalinização existem e sua escolha depende de avaliações econômicas e também

ambientais. Dentre os sistemas de dessalinização, a osmose reversa destaca-se, tanto em número de instalações (68 % das instalações), quanto em percentual da capacidade instalada (44% da capacidade) (WATSON; MORIN JR.; HENTHORNE, 2003). No Brasil, vêm sendo instalados diversos dessalinizadores visando a obtenção de água doce a partir de águas subterrâneas salobras, sobretudo na região Nordeste, onde a escassez hídrica é maior (ZOBY; OLIVEIRA, 2005; CARVALHO et al., 2004; PORTO; AMORIM; SILVA JÚNIOR, 2001).

### **2.1.3 Semi-árido brasileiro**

O Brasil possui uma ampla diversificação climática, predominando os tipos equatorial úmido, tropical e subtropical úmidos, além do semi-árido, este último sobre menos de 10 % do território. Em termos pluviométricos, mais de 90 % do território brasileiro recebe abundantes chuvas (entre 1.000 e 3000 por ano). A interação desse quadro climático com as condições geológicas dominantes engendra importantes excedentes hídricos que alimentam uma das mais extensas e densas redes de rios perenes do mundo. A exceção é representada pelos rios efêmeros e temporários que nascem nos domínios das rochas do embasamento geológico subaflorante (400.000 km<sup>2</sup>) do contexto semi-árido da região Nordeste (REBOUÇAS, 1999a).

A despeito de ser o Brasil o maior detentor mundial de água potável, com 8 % das reservas mundiais, respondendo por 18 % do potencial de água de superfície do planeta, ao se considerar, em lugar da disponibilidade absoluta de recursos hídricos renováveis, aquela relativa à população dele dependente, o País deixa de ser o primeiro e passa ao vigésimo terceiro do mundo. Isso porque, enquanto a Região Amazônica concentra 80 % dos recursos hídricos brasileiros, abrigando 7 % da população, na Região Nordeste, que abriga 27 % da população, apenas estão disponíveis 3,3 % desses recursos (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

A Região Nordeste ocupa 18,27 % do território brasileiro, com uma área de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>. Deste total, 962.857,3 km<sup>2</sup> situam-se no Polígono das Secas, delimitado em 1936 por meio da Lei 175 e revisado em 1951. O Polígono, que compreende as áreas sujeitas repetidamente aos efeitos das secas, abrange oito Estados nordestinos - o Maranhão é a única exceção -, além de parte (121.490,9 km<sup>2</sup>) de Minas Gerais, na Região Sudeste. Já o Semi-Árido ocupa 841.260,9 km<sup>2</sup> de área no Nordeste e outros 54.670,4 Km<sup>2</sup> em Minas Gerais e caracteriza-se por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais (SUDENE, 2004). O Governo Federal por

meio do Ministério da Integração Nacional extinguiu a SUDENE e recém criou a ADENE, agência de desenvolvimento do Nordeste, que atua nessa região e em partes de Minas Gerais e Espírito Santo.

A região Nordeste apresenta quatro grandes domínios geoambientais: Sertão, Zona da Mata, Agreste e Meio Norte ou área de Transição Amazônica. No domínio Sertão (912.208 km<sup>2</sup>), também referido como Semi-árido, e que agrega as terras de Minas Gerais inseridas no Polígono das Secas, as características edafoclimáticas são semelhantes às de outros semi-áridos quentes do mundo (REBOUÇAS, 1997).

Todas as regiões semi-áridas do planeta possuem peculiaridades que as diferenciam entre si (MENDES, 1986), existindo determinadas características que são comuns a todas elas e que, segundo Walker (1979), são as seguintes: Pluviosidade reduzida e altamente irregular no tempo e no espaço; Produção primária altamente variável e dependente do padrão de pluviosidade; As populações animais e humanas reagem à variação de pluviosidade e da redução agropecuária mediante a emigração; Os solos são caracteristicamente pobres em matéria orgânica, mas geralmente muito férteis, já que sofrem pouco ou nenhuma dissolução; Presença de uma crosta que reveste os solos expostos, reduzindo a infiltração da água no solo, favorecendo assim o escoamento superficial e a erosão; Ocorrência de solos salinos em grandes áreas, em virtude da deficiente dissolução e das altas taxas de evaporação; Acelerado processo de desertificação ao redor das aguadas, em virtude do superpastejo animal; Vegetação geralmente constituída por uma mistura de espécies arbóreas e herbáceas; O fogo geralmente não constitui problema relevante, como em outras regiões climáticas; Ocorrem, com freqüência, temperaturas extremas. Tanto é alta a amplitude térmica diária, como a variação sazonal é marcante; É comum o aparecimento de surtos periódicos de grandes populações de insetos.

As regiões áridas e semi-áridas do planeta geralmente são pobres e de agricultura subdesenvolvida. Nestas regiões, além da limitação de água, ocorrem também, com freqüência, solos com sérias limitações. Com relação ao rendimento agrícola, as regiões semi-áridas normalmente não podem competir com as úmidas, de modo que são consideradas terras marginais. As tentativas para produção de alimentos nestas áreas geralmente fracassam por ocasião das secas, o que provoca a desorganização da economia da região e agrava os sérios problemas sociais já existentes. A produção de alimentos deve ficar restrita às áreas passíveis de

irrigação, diminuindo assim os riscos de fracasso e proporcionando uma produção constante e de maior produtividade (MENDES, 1986).

A idéia de que a condição semi-árida está diretamente relacionada com a baixa produtividade agrícola é totalmente falsa e exemplos não faltam para mostrar o contrário. A região semi-árida do Brasil não é pior, em termos de potencialidades agrícolas, do que muitas outras áreas semi-áridas do mundo, notadamente o Oeste dos Estados Unidos. A existência de ilhas de sucesso e prosperidade no contexto semi-árido do Nordeste brasileiro indica ser extremamente viável a ocorrência de significativas e positivas mudanças no seu cenário agrícola (SILVA, 1996 apud REBOUÇAS, 1997).

Entretanto, a continuidade dessas ilhas de sucesso agrícola, assim como o aparecimento de outras, pode ser comprometida nos próximos anos em decorrência do aquecimento global. Para a região Nordeste, estudos de simulação informam que pode haver aumento da temperatura e da evaporação e diminuição das chuvas e dos recursos hídricos, sendo tendências a desertificação e a ‘aridização’ (déficit hídrico durante todo o ano), com a substituição da caatinga por semideserto em algumas áreas (TUCCI; BRAGA, 2003; OYAMA; NOBRE, 2004; NOBRE et al., 2007, MARENGO, 2007). Ou seja, o efeito do clima sobre a região pode tornar-se ainda mais depressivo à economia, sobretudo a das atividades rurais. Nesse particular, segundo França (2001), deve-se considerar que no Nordeste, a agricultura em seu conceito convencional de “dentro da porteira” emprega o equivalente a 38,7 % da população economicamente ativa, o que, assumindo que uma ocupação na produção agrícola corresponde à outra no restante do agronegócio, pode representar 77 %. Certamente, o declínio da atividade agrícola no Nordeste pode resultar em novo êxodo para os centros urbanos, tal como o ocorrido com as grandes secas no passado.

O traço mais marcante do Polígono das Secas é o clima, principalmente pela existência de um regime pluvial que delimita duas estações bem distintas: uma curta estação chuvosa de 3 a 5 meses (inverno), que ocorre no primeiro semestre do ano, e uma longa estação seca (verão), que tem duração de 7 a 9 meses, podendo se alongar nos anos de seca por 18 meses ou mais. O comportamento irregular das chuvas, tanto na sua intensidade como na sua distribuição, provoca periodicamente a ocorrência de secas prolongadas. Embora apresente uma pluviosidade não muito baixa, em termos absolutos (500 mm anuais, em média), o balanço hídrico é altamente



deficitário, principalmente em virtude da elevada evaporação. É uma das regiões semi-áridas mais quentes do globo. A temperatura média é mais ou menos constante ao longo do ano e relativamente uniforme em toda a região. As médias térmicas anuais oscilam entre 23 e 27 °C. A amplitude diária é próxima de 10° C, mantendo-se inalterada, tanto ao longo das latitudes, como em relação ao mar. Em virtude de sua proximidade do Equador e da pouca quantidade de nuvens na maior parte do ano, a luminosidade média anual é muito elevada, situando-se em torno de 2.800 horas de luz solar por ano. Em virtude das poucas nuvens e de sua baixa latitude, a região recebe a incidência quase vertical dos raios solares, o que favorece as elevadas temperaturas que, aliadas à baixa umidade atmosférica, provocam uma excessiva evaporação (em média 2.000 mm por ano). Os elevados coeficientes de evaporação decorrem do forte aquecimento do solo causado pelo calor solar que, além de influir diretamente sobre a evaporação, age também indiretamente através dos deslocamentos de ar que provoca, originando ventos quentes, secos e de elevadas velocidades médias (15 a 25 km h<sup>-1</sup>). A umidade relativa do ar atinge média anual próxima de 50 % (MENDES, 1986).

Na **Figura 2**, tem-se a representação gráfica, disponibilizada pelo INMET (2007) das normais climatológicas de precipitação pluvial e evaporação anuais no período de 1931 a 1990. Observa-se o quanto deficitário é o balanço hídrico no Nordeste, sobretudo na área do Semi-Árido.

Segundo estudos do Plano Integrado de Recursos Hídricos do Nordeste, publicados pela SUDENE (1980) apud Vieira (1999), para uma precipitação média regional de 1.140 mm ano<sup>-1</sup>, o volume precipitado de 1.730 bilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> correspondentes a uma área de 1.663.200 km<sup>2</sup>, fica assim distribuído: 1.523 bilhões m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (88 %) referentes à evaporação e evapotranspiração; 149 bilhões m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (8,6 %) referentes ao escoamento superficial e 58 bilhões m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (3,4 %) referentes à infiltração e escoamento subterrâneo. Em outro estudo, Rebouças e Marinho (1972) informam que para uma disponibilidade hídrica anual de 700 bilhões de m<sup>3</sup>, somente 24 bilhões de m<sup>3</sup> permanecem efetivamente disponíveis, sendo que a maior parte (97 %) é consumida pela evaporação, que em média atinge 2.000 mm anuais.

A hidrologia do Nordeste, além das condições climáticas, está na dependência direta do contexto geológico da região, que, em termos de comportamento hidrológico, divide-se em duas grandes unidades: o embasamento cristalino e as bacias sedimentares. Estas bacias correspondem

a compartimentos encaixados no substrato cristalino através de falhas, e ocorrendo freqüentemente em relevo, as chamadas chapadas, sendo, neste caso, testemunhas de erosão (AUDRY; SUASSUNA, 1995).

Tal dependência é bem sintetizada por Audry e Suassuna (1995), como se segue: O embasamento cristalino é constituído de rochas ígneas e metamórficas de idade pré-cambriana, impermeáveis, com alterações e solos pouco profundos e vegetação aberta típica (a caatinga). Têm-se aí, condições de pouca infiltração, baixa capacidade de armazenamento de água e predominância dos processos de escoamento. Em consequência, a rede hidrográfica é densa, mas os rios são de regime temporário, com enchentes bruscas e escoamento rápido. Não existem lençóis expressivos: as águas subterrâneas limitam-se a lençóis localizados nas zonas de fraturas e fissuras do substrato, que oferecem condições locais de boa permeabilidade, e às zonas de aluviões dos rios que, nas regiões de maior relevo, também são reduzidas. Essas condições edáficas e ecológicas desfavoráveis ao armazenamento profundo de água fazem com que, em contrapartida, as zonas cristalinas sejam naturalmente favoráveis para aqüedagem. As zonas sedimentares, de idades geológicas diversificadas, são simplesmente o posto: rochas permeáveis, solos freqüentemente profundos, predominância da infiltração, rios perenes e armazenamento da água em lençóis profundos de grande extensão. Em termos de importância relativa em superfície, para a totalidade do Polígono das Secas, as formações sedimentares e os aluviões dos rios representam aproximadamente 45 % da área. Mas, para as regiões sertanejas de aridez climática mais acentuada nos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, o cristalino ultrapassa a proporção de 70 %.

As águas dos grandes lençóis profundos das bacias sedimentares são consideradas como de boa qualidade química para irrigação, quando se trata de formações de arenitos. Pode não ocorrer o mesmo em rochas sedimentares ricas em minerais alteráveis ou solúveis. Nas regiões sedimentares, a rede hidrográfica exporta uma parte dos sais dissolvidos até o mar. As águas profundas são menos concentradas; a concentração dos mesmos na superfície e a infiltração são generalizadas a grandes proporções da paisagem e as reservas profundas que recebem essas águas de drenagem são de volumes consideráveis. Isto explica que as águas profundas são menos concentradas e que o fator litológico possa se exprimir tanto na concentração como na diversificação dos tipos de águas, com aparecimento de tipos bicarbonatados e mistos (praticamente os sulfatos não existem nas águas do Nordeste) e com vários equilíbrios entre

sódio, cálcio e magnésio (AUDRY; SUASSUNA, 1995). Conforme Rebouças (1997), nos domínios sedimentares, onde se reservam cerca de 4.000 bilhões de  $m^3$  de água doce subterrânea, poços tubulares têm logrado vazões de até  $500 m^3 h^{-1}$ .

Conforme Cruz e Melo (1967, 1974), apud Audry e Suassuna (1995), as águas fissurais localizadas no cristalino, além de apresentarem níveis de salinidade sempre elevados (condutividade elétrica<sup>2</sup>,  $CE_a$ , sempre maior que  $1,5 dS m^{-1}$ , atingindo frequentemente  $4,5 dS m^{-1}$  e podendo ultrapassar muito esse valor), sempre apresentam, também, limitações de vazões (em média de  $4 m^3 hora^{-1}$ ). Apesar de protegidas da evaporação direta pela profundidade em que se encontram as águas fissurais, a aridez do clima é fator determinante de suas concentrações salinas elevadas. Há predominância do fator climático sobre o litológico e a prova disso é a ocorrência quase exclusiva do tipo de água cloretado sódico, já que se considera o cloro, que é ausente das rochas cristalinas, como trazido pelas chuvas. Segundo Leprun (1983) apud Audry e Suassuna (1995), assim como as águas subterrâneas, as águas superficiais do cristalino são do tipo cloretado sódico. Sua faixa de variação de concentração é considerável ( $0,75$  a  $15 dS m^{-1}$ ).

Em seu trabalho, Audry e Suassuna (1995), ao analisar águas superficiais (21,1 % de rios e 25,4 % de açudes) e os lençóis aluviais do cristalino (53,5 % de poços) no semi-árido dos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, confirmaram que as águas menos concentradas são bastante diversificadas, mais frequentemente do tipo bicarbonatado cálcico e, possivelmente, de tipo misto sódico. As águas mais concentradas são sistematicamente do tipo cloretado sódico: acima de  $1,5 dS m^{-1}$  de CE não se observa mais praticamente qualquer ocorrência de tipo bicarbonatado ou misto.

Zoby e Oliveira (2005) descrevem a qualidade da água subterrânea no Brasil. Em relação ao Semi-Árido, esses autores corroboram com as informações de Audry e Suassuna (1995), apresentando, porém, uma visão mais abrangente da qualidade da região para os diversos sistemas de aquíferos que abastecem a região.

Tradicionalmente, os açudes e poços do Nordeste brasileiro foram construídos visando principalmente ao abastecimento das populações e dos rebanhos. Tal circunstância contribui para a manutenção de um contexto de subutilização que estabelece vivo contraste com o grande

volume de água armazenado e com o potencial valorizável. Nessa situação, registra-se anualmente perda por evaporação da água dos açudes, que representa uma lâmina média de 3 m (REBOUÇAS, 1997). Regra geral, os açudes são pouco utilizados e muitos raramente extravasam. Nestes casos, eles se transformam em verdadeiros ‘tanques de evaporação’ (REBOUÇAS, 1999b).

Essa elevada evaporação leva à redução e mesmo ao secamento de açudes menores. Além disso, piora a qualidade da água quando associada às estiagens. Tratando da variação sazonal da salinidade, Audry e Suassuna (1995) informam que os açudes pequenos e médios e os poços naturais e poços nos rios apresentam inércia reduzida diante das solicitações de origem climática, que tendem a diluir (chuvas) ou concentrar (evaporação) soluções. Sobre esse tema, Laraque (1991) desenvolveu modelo para prever o pico sazonal da salinidade.

Intuitivamente, a qualidade sanitária das águas na estiagem também é piorada. Ou seja, quando mais é necessária às comunidades, a água dos açudes torna-se mais restritiva. Visando contornar esse problema da açudagem no Semi-Árido, pesquisadores recomendam às comunidades locais alternativas como a criação de barragens subterrâneas (BRITO et al., 1999; REBOUÇAS, 1999b) e a cisterna rural (CAVALCANTI et al., 1999).

#### **2.1.4 Uso de águas subterrâneas salobras no semi-árido brasileiro**

Certamente, em qualquer situação fisiográfica, a depleção dos recursos hídricos deve ser avaliada com preocupação. Mas, em regiões como o Nordeste do Brasil, com extensas áreas caracterizadas por um clima semi-árido, representado por altas temperaturas, elevadas taxas de evaporação e baixas precipitações pluviais, fatores que favorecem a escassez de água, a preocupação há de ter caráter iminente.

Ainda que a solução aos problemas da escassez de água no Nordeste seja uma meta há muito tempo almejada, inclusive constituindo a força motriz da primeira fase da história da irrigação no Brasil (BERNARDO, 1992a), quando se priorizou a açudagem, atualmente continua a se verificar os impactos das estiagens sobre a população local, sejam como reflexos econômicos

---

<sup>2</sup>A condutividade elétrica é medida em condutivímetro, sendo a condutimetria baseada na seguinte propriedade: quanto maior a concentração de sais em uma solução melhor será a condução da corrente elétrica (PATERNIANI e PINTO, 2001).

substanciosos na agricultura, seja como prejuízos sociais, os quais se estendem, como consequência, às demais regiões do País.

Apesar da deficiência em recursos hídricos superficiais, poderiam ser extraídos do subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m<sup>3</sup> de água por ano (40 vezes o volume explorado hoje), segundo estudos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2004). Esse volume anual explorável é concordante com aquele apresentado por Rebouças (1997), qual seja 20 bilhões de m<sup>3</sup>, atribuíveis aos domínios sedimentares, pois, segundo esse autor, no domínio das rochas cristalinas as águas subterrâneas têm alcance limitado por ficarem restritas às zonas de fraturas e manchas aluviais.

Nos domínios das rochas cristalinas, o uso das águas subterrâneas também é limitado por um problema típico dos poços do interior nordestino: a concentração elevada de sais. Sem opção, diversas comunidades rurais nordestinas consomem água com salinidade acima do limite recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Nessas comunidades, a única fonte de água é o aquífero cristalino subterrâneo (CARVALHO, 2000). A ocorrência de hipertensão anômala na população da zona semi-árida vem sendo atribuída à utilização de águas com teores de sólidos totais dissolvidos superiores ao máximo permissível do padrão de potabilidade (REBOUÇAS, 1999b). Conforme Rebouças (1999a), no contexto das rochas cristalinas do semi-árido brasileiro, os teores de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas são superiores a 2.000 mg L<sup>-1</sup> em 75 % dos casos. Na agricultura convencional, a utilização indiscriminada dessas águas pode salinizar e desestruturar os solos (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000), agravando os problemas de desertificação já documentados para a região (SCHENKEL; MATALLO, 2003).

Considerando a concentração de sais e de outros elementos presentes nas águas subterrâneas do semi-árido brasileiro, têm-se as opções de sua dessalinização e de seu emprego direto.

#### **2.1.4.1 Dessalinização de águas subterrâneas salobras**

Em 1999, Salati, Lemos e Salati (1999) informavam que no Nordeste brasileiro, onde, dos 70.000 poços abertos até então, cerca de 30.000 estavam desativados ou abandonados por apresentarem água salobra, imprópria para o consumo humano, o Ministério do Meio Ambiente,

Recursos Hídricos e Amazônia Legal estava instalando dessalinizadores que utilizam o processo da osmose inversa. O Projeto Água Boa estava atendendo a 64 municípios, nos Estados da Paraíba, Pernambuco, Piauí, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte, Sergipe, Alagoas e Minas Gerais, com uma população total de 113.300 habitantes. Em alguns desses municípios, a água não era salobra, mas apresentava dureza excessiva (cálcio e/ou magnésio acima dos limites), provocando problemas de saúde (como cálculo renais) na população.

Numa tendência observada há alguns anos, os Governos Federal e Estaduais têm procurado instalar equipamentos de dessalinização das águas salobras subterrâneas, objetivando a geração de água doce para o abastecimento de comunidades isoladas no Nordeste. O programa vigente se chama Água Doce. Conforme a Fundação Banco do Brasil (2007b), no total, os parceiros do Programa Água Doce, quais sejam, Secretaria de Recursos Hídricos/MMA, Fundação Banco do Brasil, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (Codevasf), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Petrobras, vão investir mais de R\$ 13,5 milhões na reaplicação da tecnologia social em 11 estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A proposta do Água Doce é recuperar 1.500 desses equipamentos e criar estruturas para o funcionamento de mais cinco mil. A idéia é que, com o tempo, as próprias comunidades passem a gerir o processo de dessalinização (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2007a).

O Programa prevê a instalação de 17 unidades demonstrativas. Cada unidade é simples e constituída de três etapas básicas. No primeiro momento, a água é retirada do lençol freático por meio de um poço profundo, enviada a um dessalinizador e armazenada em um reservatório para distribuição. Na segunda etapa, o efluente do dessalinizador é utilizado para cultivar a tilápia. No terceiro momento, o concentrado dessa criação, rico em matéria orgânica, é aproveitado para irrigar a erva-sal (*Atriplex nummularia*), por sua vez utilizada na produção de feno para alimentar ovelhas e cabras (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2007b).

O método usado para a dessalinização no Nordeste tem sido, predominantemente, o processo de osmose reversa (PORTO; AMORIM; ARAÚJO, 2004). Amorim et al. (2001) atribuem o predomínio da osmose reversa à simplicidade e robustez do equipamento; aos baixos custos de instalação e operação, incluindo o consumo de energia e de mão-de-obra na operação; à capacidade de tratar volumes baixos ou moderados de água bruta; à elevada taxa de recuperação;

à continuidade do processo e à excelente qualidade da água tratada. Na **Figura 3** é apresentado um equipamento de dessalinização por osmose reversa com baixa capacidade de tratamento.

O processo de osmose reversa pode ser resumidamente explicado como se segue: quando uma solução diluída é colocada em contato com uma solução concentrada, há a movimentação dos íons em direção à solução diluída e a movimentação de água pura em direção à solução mais concentrada. A este conhecido fenômeno, dá-se o nome de difusão. Quando a difusão se processa por meio de uma membrana semi-permeável, que deixa passar a água, mas não os solutos, chama-se a saída da água pura em direção à água concentrada de osmose (**Figura 4**). A pressão necessária a aplicar para evitar a osmose é chamada de pressão osmótica, a qual, conforme Juan (2000), é quantificada como a diferença de nível entre as duas soluções após se atingir o equilíbrio (**Figura 5**). Considerando-se que o interesse seja aumentar o volume da água pura (dessalinização), dever-se-ia aplicar uma pressão extra, superior a pressão osmótica, capaz de suplantando o potencial osmótico da solução mais concentrada, fazendo sair dela água pura em direção à solução menos concentrada. Como neste caso a água pura estaria se movimentando num sentido contrário ao sentido natural da osmose, dá-se o nome a este processo de osmose reversa ou osmose inversa.

Para a dessalinização por osmose reversa, portanto, dois aspectos são fundamentais, de acordo com Juan (2000): a existência de fonte de energia para vencer o potencial osmótico da água salobra/salina, ou seja, para ‘inverter a direção’ que ocorreria na osmose; e a qualidade da membrana semipermeável que irá separar os sais.

$$R = \left( \frac{V_p}{V_a} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$E = \left( 1 - \frac{C_p}{C_a} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

R = percentual de recuperação de água potável, %;

V<sub>p</sub> = vazão de água potável produzida pelo sistema (V<sub>p</sub>), m<sup>3</sup> hora<sup>-1</sup>;

V<sub>a</sub> = vazão de água na alimentação do sistema (V<sub>a</sub>); m<sup>3</sup> hora<sup>-1</sup>;

E = eficiência da membrana na eliminação dos sais, %;

C<sub>p</sub> = concentração de sais na água dessalinizada, mg L<sup>-1</sup>;

C<sub>a</sub> = concentração de sais na água a dessalinizar, mg L<sup>-1</sup>.



Figura 1 - Área de abrangência do Semi-Árido (em amarelo)

(Fonte: BRASIL, 2007)

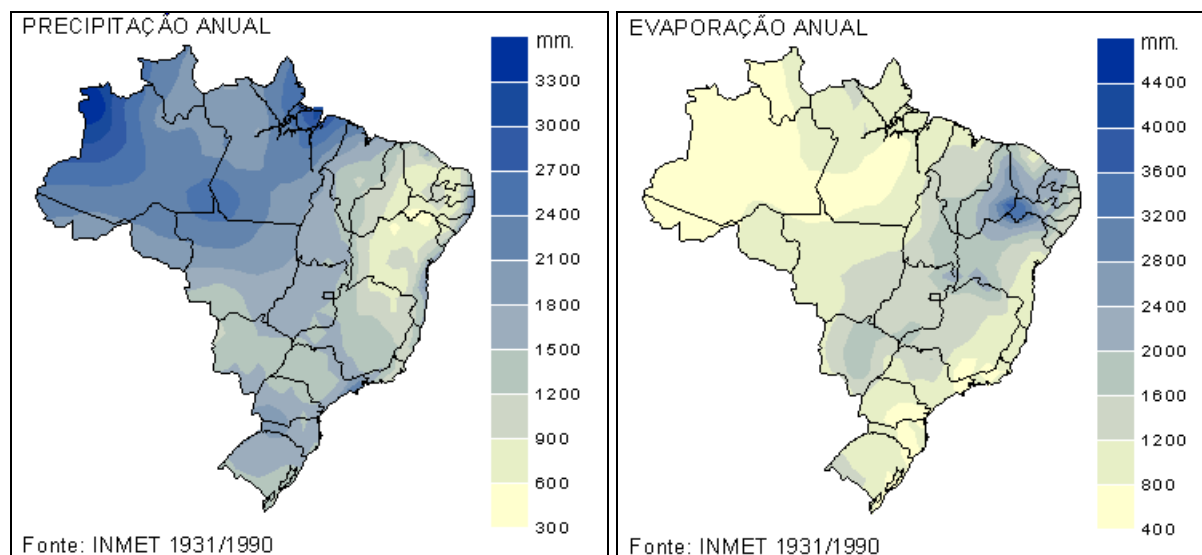


Figura 2 - Normais climatológicas de precipitação pluvial e evaporação anuais no período de 1931 a 1990 no Brasil

(Fonte: INMET, 2007)



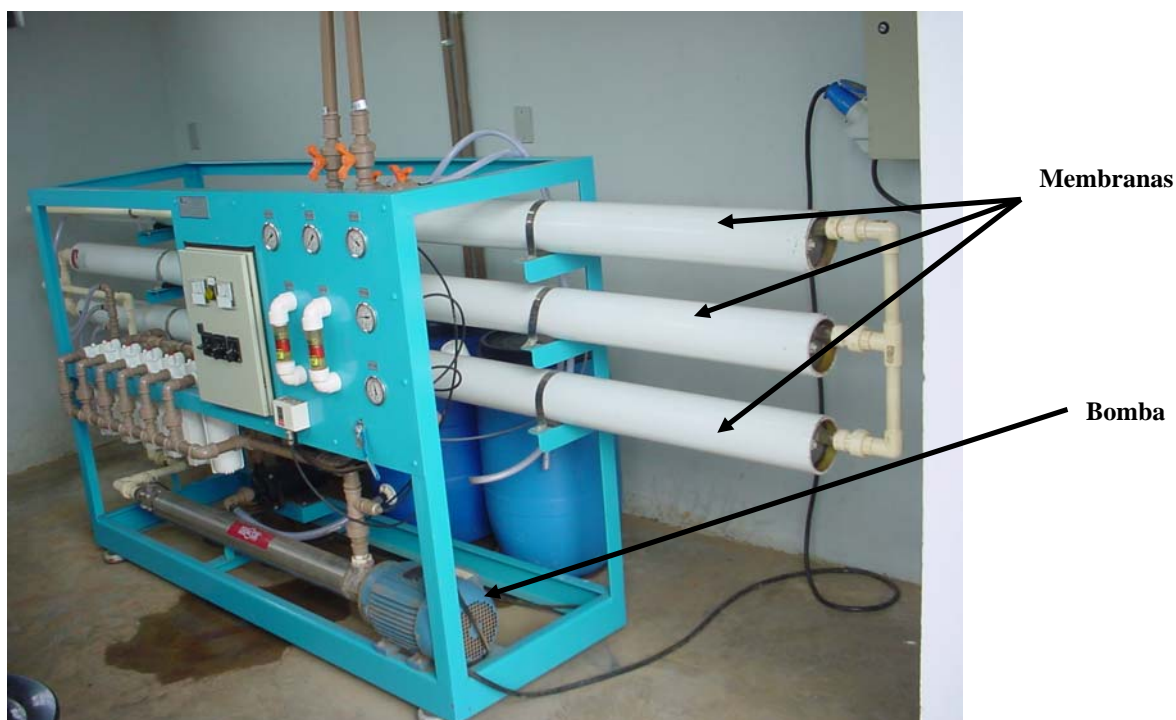


Figura 3 - Equipamento de osmose-reversa com capacidade para  $2 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ , instalado na cidade de Rio Claro-SP visando irrigação de mudas cítricas

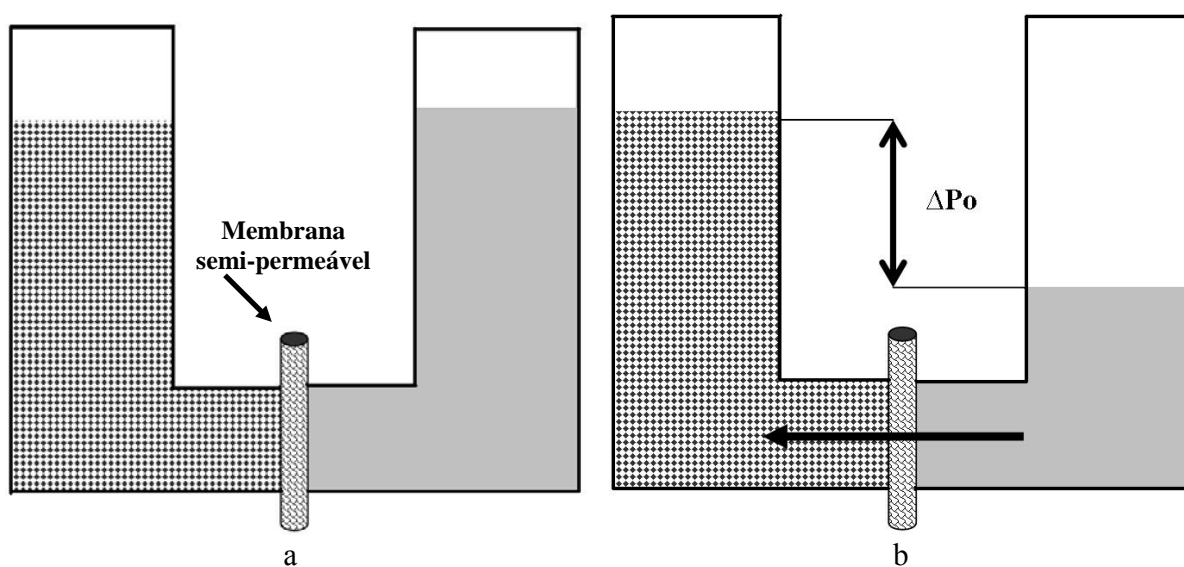


Figura 4 - Reservatórios contendo soluções com diferentes concentrações de sais e separados por membrana semi-permeável (a) e estabelecimento da osmose com o fluxo de água para o reservatório com solução mais concentrada (b)

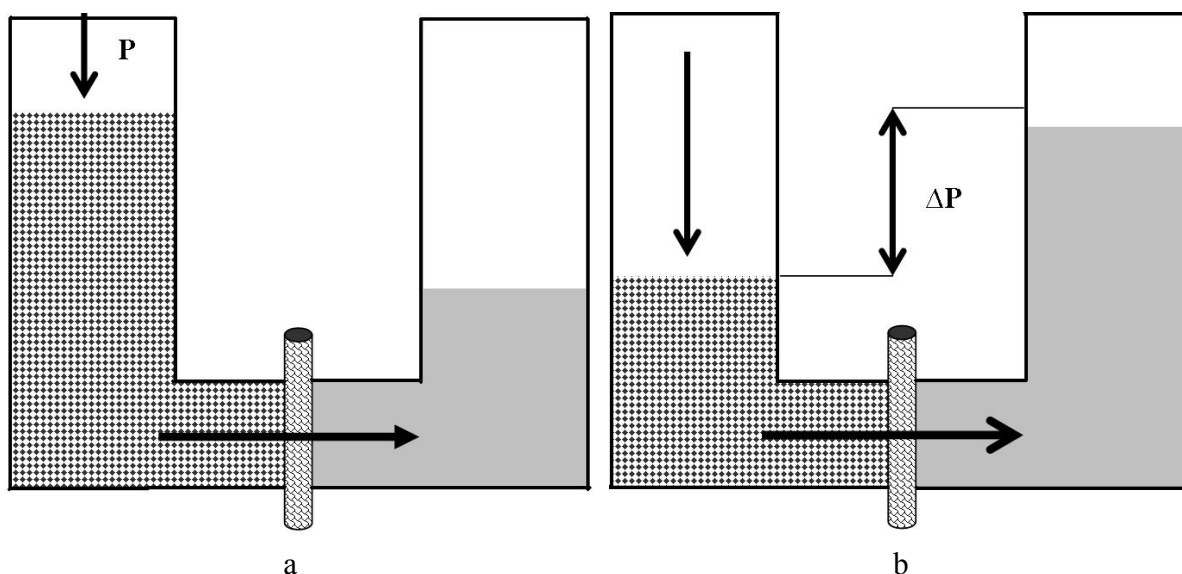


Figura 5 - Estabelecimento do fluxo de água no sentido inverso da osmose mediante aplicação de uma pressão sobre a solução mais concentrada (a) visando superar a pressão osmótica (b)

Para quantificar e qualificar as águas potável e rejeito, diversas equações são utilizadas. Mediante a eq. (1), determina-se o percentual de recuperação de água potável, ou seja, quanto de água potável se produz a partir de dado volume de água na alimentação do sistema. Mediante a eq. (2) por sua vez, avalia-se o percentual de eliminação de sais, isto é, a eficiência da membrana em separar os sais da água de alimentação. Para aumentar a eficiência da dessalinização, pode-se, além de utilizar membranas mais eficientes, trabalhar com diferentes estruturas de produção. Para isto, como explica Juan (2000), pode-se organizar as membranas em paralelo e/ou em série.

Segundo Juan (2000), com as membranas espirais, a recuperação de água dessalinizada pode ser superior a 12 ou 15 % no caso de águas salobras e de 10 % quando são apropriadas para água do mar. Em membranas de fibra oca, a recuperação aumenta até 85 % para água salobra e até 60 % para água do mar. Em relação à eliminação de sais, o autor informa que as de fibra oca normalmente não superam 99,4 %, enquanto as espirais podem chegar até 99,8 %.

Independentemente da eficiência da membrana e da estrutura instalada, o sistema de osmose reversa sempre produzirá a água potável, mas também a água residuária (rejeito, salmoura ou concentrado). Considerando o poder poluente do rejeito, altamente salino, deve-se almejar a melhor escolha para sua destinação, especialmente porque quase sempre os cursos d'água e o solo são os principais meios para sua disposição.

Seja qual for o objetivo da dessalinização, a instalação de dessalinizadores deve ser sempre amparada em estudos de viabilidade econômica e ambiental.

A relação custo/benefício pode permitir a exploração de águas salobras, subterrâneas ou mesmo superficiais, mediante dessalinização para dessedentação e abastecimento doméstico, seja subjetivamente ao se considerar a melhoria do bem-estar das comunidades um benefício imensurável, seja ao se destringir objetivamente sua viabilidade econômica comparativa à aquisição de água doce a partir de outras fontes, como demonstrada por Pessoa (2000).

Por outro lado, o uso de dessalinizadores para abastecimento de projetos agrícolas ainda não teve sua viabilidade econômica estudada no Brasil. Essa talvez seja a razão para o pequeno número de aparelhos que foram instalados com este propósito (PERENNE, informação pessoal), em comparação com os quase 3.000 aparelhos (ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS, 2004) utilizados, somente no Nordeste, para dessedentação humana. Estudos desta natureza poderiam difundir a tecnologia, contribuindo para incrementar substancialmente o bem-estar de comunidades no interior do País, desde que associados à destinação apropriada do rejeito. Adverte-se, entretanto, que a falta de estudos de viabilidade técnica na utilização direta de águas salobras não deveria se constituir elemento irrepreensível e favorável à sua dessalinização.

Mesmo no mundo, a maior parte da água dessalinizada é usada para abastecimento doméstico e apenas menos de 10 % para agricultura. Em termos de dessalinização para uso agrícola, a Espanha lidera o ranking mundial. Nesse país, são produzidas culturas altamente rentáveis para compensar os custos da dessalinização, no caso a osmose reversa (MEDINA, 2006). Os custos são descritos principalmente para aplicação na indústria e dessedentação, embora, na agricultura seja observado que: para grandes instalações que usam o processo da destilação em águas do mar (Golfo Pérsico) os custos variam de US\$ 1.00 a 1.50 m<sup>-3</sup>; quando se emprega o processo da osmose reversa às águas do mar, ficam acima de US\$ 1.50 m<sup>-3</sup> para instalações pequenas, entre US\$ 1.00 a 1.50 m<sup>-3</sup> para instalações de porte médio e abaixo de US\$ 1.00 m<sup>-3</sup> para grandes instalações; para dessalinização de águas salobras pela osmose reversa, tem-se custos inferiores de US\$ 0.50 m<sup>-3</sup> (MARTÍNEZ-BELTRÁN; KOO-OSHIMA, 2006).

Em um estudo recente, Soares et al. (2006c) mostram haver viabilidade econômica na dessalinização para fins agrícolas, ressaltando, porém, que o benefício da dessalinização não se compensa aos custos para salinidade aquém daquela tolerada pelas culturas. Os autores estudaram a produção de tomateiro estaqueado em ambiente protegido, baseando-se nos valores de

rendimento relativo indicados por Ayers e Westcot (1999). Foi observado que a viabilidade reduz com a diminuição do nível tecnológico do produtor.

#### **2.1.4.1.1 Destinação do rejeito da dessalinização**

As águas quando salobras ou mesmo salinas podem ter sua qualidade química majorada mediante dessalinização (JUAN, 2000; MARTÍNEZ-BELTRÁN; KOO-OSHIMA, 2006; PORTO; AMORIM; SILVA JÚNIOR, 2001), processo que produz, além da água potável para dessedentação (PINHEIRO; CALLADO, 2004; PESSOA, 2000) e/ou uso agrícola (SOARES et al., 2006b), uma água residuária de salinidade incrementada (JUAN, 2000). No tratamento por osmose-reversa, esse subproduto torna-se importante porque é gerado em volumes comparáveis ao de água dessalinizada.

Diversas destinações podem ser dadas ao rejeito (MICKLEY, 2004; SOARES et al., 2006a), sendo o mais comum emití-lo ao mar e aos rios. No Brasil, considerando que a dessalinização se processa no interior do continente, portanto, longe do mar, e visando a produção a partir de águas salobras, obtidas de poços com baixas vazões, provavelmente não se compensa a construção de emissários ou estruturas civis complexas. Entretanto, mesmo sendo baixos os volumes de rejeito produzidos em dessalinizadores de pequeno porte, esses são considerados altamente poluentes (AMORIM et al., 2001) e, ao contrário do que se pratica, não devem ser jogados no solo ou nos corpos d'água indiscriminadamente.

Nos países desenvolvidos, em geral, o rejeito está sendo transportado para os oceanos ou injetados em poços de grande profundidade. Todavia, outras alternativas estão sendo estudadas, tais como: bacias de evaporação, redução de volume do rejeito por plantas aquáticas, bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas (PORTO; AMORIM; SILVA JÚNIOR, 2001).

Conforme Mickley (2004), a escolha da melhor opção para se dispor o rejeito da dessalinização deve atender, dentre outros fatores, às disponibilidades locais (terra, compatibilidade das águas receptoras e distância), às disponibilidades regionais (geologia, leis estaduais, geografia e clima), ao volume de concentrado, aos custos envolvidos, à opinião pública e à permissibilidade.

A emissão em águas superficiais é o método mais usado para destinação do rejeito da dessalinização. Segundo Mickley (2004), esta opção é usual para todos os tamanhos de projeto, mas pressupõe compatibilidade com as águas receptoras, podendo haver a necessidade de

diluição. Ainda que os custos desta destinação sejam relativamente baixos (MICKLEY, 2001), deve-se atentar para o impacto sobre a vida aquática, nos rios e mares receptores.

Das grandes estruturas instaladas no mundo para dessalinização de águas marítimas, a principal destinação do rejeito é seu retorno para o mar. Esta alternativa de disposição seria ideal, considerando o poder de diluição dos oceanos. Entretanto, como alertam Hoepner e Lattemann (2002), deve-se considerar a fragilidade de cada ecossistema. O impacto da emissão do rejeito das Ilhas Canárias produz pouco efeito no Oceano Atlântico como um todo, ainda que possa prejudicar o ecossistema costeiro, já que se trata de um corpo d'água aberto e de grande poder de diluição. Certamente, conforme estes autores, o Mar Vermelho, um corpo d'água semi-fechado, caracterizado pela troca limitada de água com o oceano aberto e também pelo frágil habitat biológico, é mais sensível à emissão de rejeito. Para Einav, Hamssib e Periyb (2002), os prejuízos aos ecossistemas marinhos se devem não só à alta concentração do rejeito, mas também à presença de compostos químicos que podem ser necessários ao pré-tratamento da água. Conforme Einav e Lokiec (2003), em Israel, além do impacto na vida marinha, os danos ambientais das plantas de dessalinização de águas marítimas por osmose reversa, são: prejuízo ao uso do solo do litoral (praias ficam ocupadas), poluição decorrente do aumento do uso de energia, poluição de aquíferos (se houver vazamentos nas tubulações) e poluição sonora.

Nos EUA, o rejeito da dessalinização vem sendo principalmente emitido nas águas superficiais (41 %), no esgoto (31 %) ou injetado em poços profundos (17 %). Dentre outras alternativas, também se dispõe o rejeito na terra (2 %) e em tanques de evaporação (2 %) (MICKLEY, 2004). Naquele país, as tendências futuras, para plantas de grande e médio portes, conforme Mickley (2004) seriam: diminuir as destinações para os rios, para os esgotos e para a terra, e aumentar as destinações para os oceanos, para os poços profundos e tanques de cristalização de sais (descarga zero). Para instalações de porte pequeno, localizadas no interior do continente, segundo o pesquisador, em virtude dos custos, a destinação do rejeito para oceanos e para poços profundos fica inviável, sendo tendência continuar emitindo em rios, em esgotos e no solo, além do uso de tanques de evaporação e cristalização.

O esgoto é a segunda principal destinação do rejeito da dessalinização de águas salobras nos EUA. Mas, esta destinação depende do volume e da composição do rejeito, pois pode prejudicar o tratamento do esgoto (MICKLEY, 2001). Segundo Mickley (2004), o deságüe no esgoto pode requerer pré-diluição, pré-tratamento, pagamento de impostos, além da necessidade

da tubulação de acesso. Além disto, explicam Glenn, Thompson e Miyamoto (1998b), a emissão do rejeito em águas superficiais, incluindo esgoto, pode apenas deslocar o problema para longe do local de sua produção, razão pela qual os usuários à jusante são relutantes em aceitar o rejeito até mesmo após sua diluição.

A injeção do rejeito em poços profundos, como praticada na Flórida, fica restrita, em viabilidade econômica, aos grandes projetos de dessalinização, dependendo também das características hidro-geológicas específicas de cada terreno (MICKLEY, 2001).

Para as instalações de dessalinização localizadas no interior do continente, de onde o rejeito não pode ser economicamente transportado para o mar, ou usado na agricultura ou em outras aplicações, sua destinação é um problema crítico para exploração de fontes de água salobra. Na região de Neveg, em Israel, a excelente insolação e a disponibilidade de terra a preços razoáveis, capacita o uso de tanques de evaporação. Entretanto, para reduzir o requerimento de terra e os custos de produção, é essencial desenhar o sistema de osmose reversa com fração de recuperação do produto a mais alta possível (GLUECKSTERN; PRIEL, 1996).

Tem-se que observar que os tanques de evaporação, concentrando o rejeito, fazem concentrar elementos como selênio, boro e metais pesados em níveis tóxicos (ONG et al., 1995). Estes tanques freqüentemente abrigam uma cadeia biológica alimentar ativa, a qual além de concentrar elementos tóxicos em peixes e invertebrados, podem contaminar aves aquáticas (HOTHEM; OHLENDORF, 1989). Glenn, Thompson e Miyamoto (1998b), considerando que tanques de evaporação podem atrair e prejudicar a vida selvagem, testaram modelos para evaporadores de camada arenosa.

Outra alternativa para redução do rejeito seria o secamento em evaporadores ou tanques de solarização sob condições controladas (HAYES; KIPPS, 1992). Ahmed et al. (2003) confirmaram a viabilidade técnica de se tratar rejeitos de dessalinização por osmose reversa em instalações de estrutura simples, usando a tecnologia de cristalização de sais. Baseado em sua análise, esclareceu-se que vários tipos de sais, incluindo gesso, cloreto de sódio, hidróxido de magnésio, cloreto de cálcio, carbonato de cálcio e sulfato de sódio, podem ser produzidos. Estes produtos foram considerados de alta qualidade, estando na demanda de várias indústrias. Observam os autores que um estudo de viabilidade é necessário antes de se decidir precipitar sais de águas de rejeito.

A utilização de bacias de percolação, por sua vez, apesar de permitir a recarga dos aquíferos subterrâneos, provavelmente aumentaria sua concentração química, não sendo recomendada para disposição do rejeito.

A destinação do rejeito pela irrigação é principalmente usada para pequenos volumes (até 4 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) nos EUA. Conforme Mickley (2001), requer muita disponibilidade de terra e normalmente mistura com águas para diminuir a salinidade, ficando limitada pelo clima e pelas taxas de absorção do solo. O rejeito pode ser aplicado para culturas ou na vegetação, mediante aspersores ou por superfície, em substituição à água de melhor qualidade, aumentando sua conservação. Áreas de lazer, como gramados, parques e campos de golfe, além de espaços abertos e cinturões verdes de preservação ambiental, podem ser irrigados. Na Califórnia, informam Amorim et al. (2000), pesquisas avaliam o uso de rejeito em sistemas construídos para serem o habitat de pássaros, peixes e plantas (“wetlands” ou áreas alagadas).

Riley, Fitzsimmons e Glenn (1997) consideraram o cultivo de plantas halófitas a melhor opção para dispor o rejeito da osmose reversa. Conforme Glenn; Thompson; Miyamoto (1998b), a halófita *Atriplex nummularia* tem atributos desejáveis de uma cultura cicladora de rejeito: alto uso consuntivo da água para maximizar a absorção, alta tolerância aos sais para minimizar a fração de lixiviação requerida e elevada produtividade de biomassa, a qual tem utilidade forrageira. Informam Glenn, Brown e O’Leary (1998a) que águas hipersalinas (> 40.000 mg L<sup>-1</sup>) têm sido usadas para irrigar plantas halófitas com sucesso.

Mais recentemente, o gênero *Atriplex* tem se destacado sob a perspectiva de desenvolver espécies apropriadas para irrigação com água do mar (PORTO; AMORIM; SILVA JÚNIOR, 2001). Segundo Glenn et al. (1995), apud Porto, Amorim e Silva Júnior (2001), 50 milhões de hectares podem ser trazidos para a produção agrícola mediante a irrigação com água do mar, utilizando espécies halófitas, em especial a *Atriplex nummularia*.

#### **2.1.4.1.2 Destinação dada ao rejeito no Brasil**

Os trabalhos disponíveis na literatura quase sempre abordam a destinação do rejeito da dessalinização de águas marítimas. Os trabalhos que abordam o rejeito oriundo de águas subterrâneas se relacionam a grandes volumes. Ambas as situações diferem da atual realidade da dessalinização no Nordeste brasileiro, onde se dessaliniza águas salobras mediante

dessalinizadores de pequeno porte. Neste sentido, outras alternativas que não apenas as usuais devem ser avaliadas e propostas.

No Brasil, quase na totalidade dos casos, o rejeito não está recebendo qualquer tratamento e está sendo despejado no solo, propiciando um alto acúmulo de sais nas camadas superficiais do terreno (PORTO; AMORIM; SILVA JÚNIOR, 2001). A deposição deste rejeito poderá trazer, em curto espaço de tempo, sérios problemas para as comunidades que estão se beneficiando da tecnologia de dessalinização, como informam Porto et al. (1999).

Um estudo no município de Petrolina, Estado de Pernambuco, confirmou a salinização do solo causada pelo despejo indiscriminado dos efluentes de dois dessalinizadores instalados em duas comunidades (AMORIM; SILVA JÚNIOR; PORTO, 1997). No Estado do Ceará, Pessoa (2000) verificou que, somente em Canindé, em 25 % das localidades estudadas foram observados problemas de erosão e salinidade nos solos que recebem os rejeitos.

Pinheiro e Callado (2004), no Estado do Ceará, verificaram, considerando 79 comunidades com dessalinizadores em operação, que apenas 20 % destas aproveitavam os rejeitos, muito embora sem qualquer fundamentação técnico-científica ou econômica para o seu uso. Segundo estes autores, lavagem de roupas e automóveis constituem a maior frequência em utilização dos rejeitos (38 %), não podendo se afirmar que estas práticas tragam benefício significativo às pessoas, sendo apenas experiências isoladas e motivadas pela absoluta falta de água de boa qualidade. Atividades estritamente econômicas têm sido fruto de exclusiva curiosidade dos produtores, embora alguns projetem a exploração da tilápia vermelha e do camarão com o uso dos rejeitos. Entretanto, o que predomina é a drenagem dos rejeitos para terrenos próximos ao sistema e para os cursos d'água (60 %), que é uma forma mais prática e de baixo custo de descartá-los. Quanto ao retorno do rejeito para o poço, verificado em 9,5% das comunidades, talvez fosse interessante, conforme os autores, aprofundar pesquisas sobre os limites de salinidade que permitissem sua eventual reciclagem. Concluem os autores, pelas pequenas vazões observadas nas comunidades pesquisadas, que os impactos no ambiente decorrentes do rejeito podem ser considerados desprezíveis.

Amorim et al. (2001), entretanto, reforçam que esses rejeitos possuem potencial para contaminar mananciais, solo e até a fauna e flora da região, alertando que os sais depositados na superfície do solo, além de contaminarem mananciais subterrâneos, poderão ser transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial, e salinizar aguadas e áreas



próximas. O sódio dos sais, por exemplo, poderão substituir o cálcio nos sítios de trocas de cátions, causando a dispersão dos colóides do solo, contribuindo para redução da sua condutividade hidráulica. Conseqüentemente, segundo acrescentam os autores, a vegetação da área seria prejudicada, devido à deterioração das características físico-químicas dos solos e aos efeitos negativos dos sais sobre a fisiologia das plantas. Com a destruição do estrato herbáceo, os rebanhos, bem como os animais silvestres, seriam seriamente prejudicados pela falta da pastagem natural e abrigo.

Como alternativa ao rejeito gerado pela dessalinização por osmose reversa, Amorim et al. (2001) apontaram o uso da evaporação solar para a cristalização dos sais dissolvidos, reduzindo o volume dos efluentes líquidos e transformando-os em produto sólido, o que reduz o contato com o solo e facilita o manuseio. A obtenção de sais cristalizados decorre da evaporação da água, por intermédio da precipitação dos sais, quando estes atingem seus pontos de solubilidade. Os pesquisadores observaram o predomínio dos sais sódicos, seguidos dos magnesianos e, por último, dos cálcicos. Mesmo considerando as impurezas nos sais que se cristalizaram, que podem tornar proibitivo o consumo, vislumbraram a necessidade de estudos de viabilidade, devido a sua importância fundamental, não apenas para o setor de suplementação mineral humana e animal, mas também no industrial, principalmente pela predominância do NaCl.

A técnica da cristalização de sais utiliza a seu favor a elevada demanda evaporativa da atmosfera característica do Nordeste. Entretanto, considerando que nem sempre seria interessante perder água por evaporação, trabalhos também focalizam o uso do rejeito como efluente líquido. Em outro estudo, Amorim et al. (2001), avaliando os efluentes líquidos para a criação da Tilápia koina (*Oreochromis* sp.), em águas com condutividade elétrica que variaram de 9,46 a 12,7 dS m<sup>-1</sup>, observaram, após seis meses, que a sobrevivência da citada espécie foi de 91,50 %, valor este dentro dos padrões normais de cultivo (cerca de 85 %), indicando que as condições ecológicas do reservatório foram boas, permitindo, inclusive, a reprodução dos indivíduos. Observaram também que além de condições permissíveis de vida, houve ganho de peso (de 3,2 para 276,73 g por indivíduo), e que este ganho só não foi maior devido não ter sido realizada renovação do efluente nos tanques durante o cultivo. Concluem estes autores que o cultivo de tilápias vermelhas, do gênero *Oreochromis*, traz como conseqüências positivas a alta qualidade do pescado com relação ao sabor e à aparência do peixe e a possibilidade de ofertar alimento de bom valor nutritivo às

populações do semi-árido, sendo uma alternativa com grandes potencialidades de viabilidade econômica, mas cuja escala de exploração depende do potencial de produção de rejeito por dia.

Dubon e Pinheiro (2004) observaram resultados também promissores ao investigar o crescimento da tilápia vermelha *Oreochromis* sp, em água de maré, de salinidade final de 36.000 mg L<sup>-1</sup>. Além da piscicultura, a carcinicultura também vem sendo empregada no aproveitamento da água de rejeito. Um grupo de pesquisa da EMBRAPA investiga a viabilidade de criação de camarão (*Panaeus vannamei*).

Uma outra linha de pesquisa em desenvolvimento no Brasil, com o objetivo de se aproveitar o rejeito da dessalinização, consiste em se empregar espécies halófitas. Dentre estas, a erva-sal (*Atriplex nummularia*) é uma das mais importantes. A erva-sal foi introduzida no Nordeste brasileiro por intermédio da Inspetoria Federal de Obras contra as Secas, na década de 30. Todavia, só agora esta planta está despertando o interesse dos pesquisadores brasileiros. Por ser originário de regiões áridas, o gênero *Atriplex* vem se destacando já por algumas décadas, principalmente por conseguir produzir e manter uma abundante fitomassa, mesmo em ambientes de alta aridez e salinidade, adaptando-se muito bem a regiões com precipitação ao redor de 100 a 250 mm ano<sup>-1</sup> (PORTO; AMORIM; SILVA JÚNIOR, 2001). Porto; Amorim; Silva Júnior (2001) observaram uma produção de matéria seca de 9.436 kg ha<sup>-1</sup> no cultivo da *Atriplex* no Nordeste brasileiro, computando a retirada de 1.145 kg ha<sup>-1</sup> de sais, o que correspondeu, considerando a aplicação de 29.117 kg ha<sup>-1</sup> de sais aplicados no solo via irrigação com água de rejeito, a uma eficiência de extração de apenas 3,93 %. Apesar da baixa eficiência registrada, para um ciclo de 378 dias, os autores ressaltam que outros estudos devem ser conduzidos com a *Atriplex* nas condições brasileiras.

Em uma outra linha de pesquisa, Soares et al. (2005), no município de Rio Claro – SP, numa propriedade que empregava osmose reversa para dessalinizar água de poço tubular profundo, averiguando a influência de águas salobras no crescimento de mudas cítricas, observaram que o rejeito prejudicou o desenvolvimento radicular e o acúmulo de matéria seca das plantas, em comparação com plantas irrigadas com água dessalinizada. Entretanto, mudas de laranja, que é uma das espécies mais sensíveis aos sais (AYERS; WESTCOT, 1999), puderam ser produzidas (SOARES et al., 2005).

Isso sinaliza a alternativa de se produzir, mediante a irrigação com o rejeito, hortaliças e mudas de plantas ornamentais, florestais, frutíferas, entre outras, as quais, quando

comercializadas, estariam expedindo consigo os íons acumulados no substrato de cultivo, potencializando assim a diluição dos sais no ambiente. Além da exportação dos sais, esta prática permitiria maior geração de divisas para a comunidade. Outros projetos públicos, relacionados ao paisagismo e ao reflorestamento, por exemplo, poderiam pagar pela aquisição das plantas. Além da possibilidade de dirigir a produção para espécies mais tolerantes aos sais, a precocidade também deve se constituir uma característica desejável das espécies produzidas.

Em outro trabalho, Soares et al. (2006b) não mensurou prejuízos ao crescimento de porta-enxertos cítricos quando submetidos à irrigação com o rejeito, em comparação à água dessalinizada, o que se atribuiu em parte ao rápido crescimento das plantas. Esta alternativa, de se produzir mudas e plantas em recipientes, seria especialmente factível ao se assumir as preconizações de manejo para águas salobras, como apresentadas por Rhoades, Kandiah e Mashali (2000).

A estratégia de manejo poderia envolver irrigações sub-copa, localizadas e freqüentes, mas com lixiviação mínima ou nula, devendo ser concordante com as disponibilidades regionais de tipos de substrato, de tipos de recipientes de cultivo e de espécies de interesse comercial ou ecológico. O uso de sombreamento e mulching poderia também ser investigado para a tolerância específica de cada espécie. Além da tolerância aos sais e além da demanda por um mercado consumidor, na escolha das espécies a cultivar deveria se priorizar o alto consumo de água pelas plantas, pois quanto maior o consumo de água maior a lâmina de irrigação e, por conseguinte, maior a quantidade de sais aplicada no recipiente. Maior também seria a extração/exportação de sais pelas plantas.

#### **2.1.4.2 Uso direto das águas subterrâneas salobras**

O uso direto de águas salobras na agricultura é experimentado e viabilizado em diversos países. Rhoades, Kandiah e Mashali (2000) citam vários exemplos e estabelecem várias preconizações para o uso de águas salobras na agricultura.

No Nordeste do Brasil, são imprescindíveis investigações sobre o uso direto de águas salobras na agricultura. Isto porque os graves problemas de escassez, com fortes impactos econômicos e sociais decorrentes, poderiam ser aliviados mediante a exploração de recursos subterrâneos, mesmo reconhecendo-se que suas águas muitas vezes são salobras (DEMÉTRIO et

al., 1993). Além disso, a dessalinização pode não ser justificável economicamente para algumas culturas e/ou para produtores que têm baixo nível tecnológico.

Nesse sentido, diversos pesquisadores têm investigado a tolerância de várias espécies à salinidade das águas e dos solos no contexto da região Nordeste. Esses estudos, desenvolvidos em campo ou em condições controladas, envolvem culturas como: banana, mamão, goiaba, graviola, maracujá, pinha, pitaia (CAVALCANTE; LIMA, 2006), abacaxi (MARINHO; FERNANDES; GHEYI, 1998), fruta-do-conde (NOGUEIRA; ALOUFA; ALBUQUERQUE, 2004); melão (GURGEL et al., 2005), caju (BEZERRA et al., 2005), algodão (JÁCOME et al., 2003), feijão (COSTA et al., 2003), arroz (RODRIGUES et al., 2005), amendoim (CORREIA et al., 2005), sorgo (VIEIRA et al., 2005), coentro (MEDEIROS et al., 1998), alface (VIANA et al., 2004), mamona (CAVALCANTI et al., 2005), além de mudas de florestais (VIÉGAS et al., 2003).

De fato, alguns estudos demonstram a viabilidade da utilização de águas salobras na agricultura convencional em solo do Semi-Árido. Segundo Medeiros et al. (2005), por exemplo, na região de Mossoró, RN, tem-se utilizado água de irrigação com até  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , com rendimentos satisfatórios para as culturas da melancia e do melão.

Por outro lado, a necessidade de empregar fração de lixiviação na lâmina de irrigação, visando o controle dos sais abaixo da zona do sistema radicular como preconizado por Rhoades, Kandiah e Mashali (2000), pode levar à contaminação dos recursos subterrâneos com os próprios sais e também com insumos (fertilizantes e defensivos) utilizados nos cultivos, o que se torna muito grave, pois, em virtude do lento deslocamento da carga poluente no perfil, pode se demorar na conscientização desse tipo de poluição (BERNARDO, 1997). A lâmina extra pode também aumentar o gasto de água, o que não é condizente com a escassez da região, sobretudo no embasamento cristalino, onde as vazões dos poços geralmente são inferiores a  $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e os recursos hídricos superficiais são limitados (REBOUÇAS, 1997). Outro fator contrário ao uso dessas águas na agricultura convencional é a necessidade de implantação de sistema de drenagem subterrânea (EPSTEIN; BLOM, 2006; SANTOS; HERNANDEZ, 1997), já que os solos são rasos no embasamento cristalino, sendo sujeitos à salinização, isso quando não já salinizados.

Interessante é o fato de existir no Nordeste extensas áreas salinizadas ou em processo de salinização, em decorrência da agricultura irrigada mesmo quando são exploradas águas de baixa salinidade (BERNARDO, 1992b; PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000; MEDEIROS; GHEYI,

2001). Isso pode ser atribuído à alta evaporação e ao déficit hídrico prolongado, mas também às deficiências na drenagem dos solos e no manejo da irrigação.

### **2.1.5 A salinização e os efeitos negativos da salinidade na agricultura**

O halomorismo (das expressões gregas *halós* e *morphé*, elementos de composição para “sal” e ‘forma’, respectivamente) desenvolve-se no solo, quando as condições do ecossistema são propícias. Altas taxas de evapotranspiração, drenagem deficiente no perfil do solo, águas subterrâneas (lençol freático) enriquecidas por sais, entre outros fatores, favorecem o halomorismo tanto em ambientes de climas áridos e semi-áridos, como em condições de umidade, influenciadas pela água do mar. Os halobiomas evoluem a partir da interação entre os fatores de formação dos solos (material de origem, clima, relevo, organismos vivos e tempo), tendo como consequência o processo pedogenético da salinização (OLIVEIRA, 1997).

A concentração salina da solução do solo, antes da ação antrópica, é definida como salinização primária. A intensidade e efeitos dessa salinização dependem basicamente das condições edafoclimáticas. Climas áridos e semi-áridos, com drenagem deficiente, e águas sub-superficiais ricas em sais solúveis, induzem geralmente o processo de halomorismo. Por outro lado, a salinização pode se estabelecer até mesmo em ambientes onde previamente os teores de sais tóxicos eram inferiores ao limite de tolerância das plantas cultivadas. A essa salinização, decorrente quase sempre do manejo inadequado do solo e da água (ação antrópica), dá-se o nome de salinização induzida ou secundária. Águas de qualidade duvidosa (com elevados riscos de salinidade e sodicidade), adubos com elevado índice salino (cloreto de potássio, nitrato de sódio e nitrato de amônio, por exemplo), drenagem ineficiente, dentre outros, são fatores que podem acelerar o processo da salinização secundária (OLIVEIRA, 1997).

Estimativas da extensão das condições de salinidade do solo por todo o mundo variam, mas podem ultrapassar um bilhão de hectares, considerando que ao final dos anos 70 já se estimavam valores próximos a essa ordem de grandeza (SZABOLCS, 1978 apud MEDEIROS; GHEYI, 2001; EPSTEIN et al., 1980). Como a área com solo no mundo soma 13 bilhões de hectares (EPSTEIN; BLOOM, 2006), cerca de 8 % são prejudicados por sais, não havendo qualquer continente livre de solos salinizados (PESSARAKLI; SZABOLCS, 1999).

Trabalhando com várias estimativas da extensão global da salinização, Ghassemi, Jakeman e Nix (1995) estimaram que dos 230 milhões de hectares de terras irrigadas no mundo, cerca de

45 milhões têm severos problemas de salinidade induzida pela irrigação. Já Szabolcs (1985) apud Medeiros e Gheyi (2001), considerava metade das áreas irrigadas como prejudicadas pela salinidade, informando que aproximadamente 10 milhões de hectares eram abandonados anualmente em virtude desse problema. Observando que as principais áreas no mundo prejudicadas pelos sais se encontram nas regiões áridas e semi-áridas, Medeiros e Gheyi (2001) concluem pela associação de causa-efeito entre irrigações e salinidade do solo.

A salinidade do solo é definida em função da concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) ou da condutividade elétrica medida no extrato de saturação ( $CE_{es}$ ). Conforme Oliveira (1997), pedogeneticamente, pode-se hierarquizar o grau de salinidade em função da acumulação de sais no perfil dos solos. Nesse sentido, têm-se solos: ligeiramente salinos ( $CE_{es}$  entre 2 e 4  $dS\ m^{-1}$ ); moderadamente salinos ( $CE_{es}$  entre 4 e 8  $dS\ m^{-1}$ ); fortemente salinos ( $CE_{es}$  entre 8 e 15  $dS\ m^{-1}$ ) e extremamene salinos ( $CE_{es} > 15\ dS\ m^{-1}$ ).

Para demonstrar o potencial de salinização do solo na agricultura irrigada, é comum se efetuar um exercício sobre o aporte de sais ao solo mediante as lâminas de irrigação. Medeiros e Gheyi (2001) e Bernardo (1997) são exemplos de autores que se utilizam desse cálculo. Citando-se o efetuado por Medeiros e Gheyi (2001): aplicando uma lâmina de 100 mm de água com baixa salinidade ( $CE = 0,5\ dS\ m^{-1}$  ou  $SDT = 320\ mg\ L^{-1}$ ), pode-se incorporar no solo cerca de 320 kg de sais por hectare, sendo que cada irrigação ou lâmina adicional provocaria um aumento progressivo se estes sais não forem lixiviados ou removidos do sistema. Na presença do lençol freático alto, a água ascende por capilaridade na zona radicular. Em função da evapotranspiração, a água se perde para a atmosfera e os sais transportados se concentram nas camadas superficiais do solo.

Com esse simples exemplo, demonstra-se a obrigatoriedade da drenagem (natural ou artificial) e do uso de fração de lixiviação na agricultura irrigada, sobretudo quando se pretende explorar águas salobras (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000). E especialmente quando o balanço hídrico é deficitário.

Registros históricos evidenciam que grandes civilizações residentes no baixo curso do Rio Eufrates, como a dos Sudamerianos, foram extintas em função, dentre outros motivos, da indução da salinidade nas suas antigas terras férteis, localizadas na várzea da planície aluvional da Mesopotâmia (OLIVEIRA, 1997).

Embora ocupe uma área bem menor que a dos solos naturalmente salinos (salinização primária), as áreas com salinização secundária são as que trazem mais prejuízos econômicos, pois é justamente nessas áreas onde há um investimento frustrado de capital e trabalho (SILVA et al., 2005). Mesmo nos EUA, com todo seu aparato tecnológico, os problemas da salinização secundária parecem incontroláveis. Epstein e Bloom (2006) rememoram alguns autores, desde Hilgard (1886) até von Schilfgaard (1990), que questionaram a sustentabilidade da agricultura irrigada, em virtude dos problemas relacionados à salinidade.

No Brasil, embora não sejam disponibilizados dados atuais, sabe-se que a agricultura irrigada também proporciona os mesmos problemas, sobretudo no Nordeste do país, como indicado por Medeiros e Gheyi (2001) e Bernardo (1992b). No semi-árido do Nordeste, as maiores incidências da salinização secundária se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados Perímetros Irrigados (OLIVEIRA, 1997). Bernardo (1997) informa que no Nordeste aproximadamente 30 % das áreas irrigadas dos projetos públicos estão com problemas de salinização e que algumas dessas áreas já não produzem, à semelhança do que já começava a ocorrer em Minas Gerais. Para Medeiros e Gheyi (2001), essa ordem de grandeza da salinidade dos solos no Nordeste é considerada bastante conservadora. Segundo Oliveira e Resende (1990) apud Oliveira (1997), a agricultura familiar, secularmente praticada nessa região, nas áreas características de planícies aluvionais, não tem demonstrado incremento da salinidade induzida.

Os efeitos negativos da salinização-sodificação nos solos são: desestruturação, aumento da densidade aparente e da retenção de água e menor infiltração da água pelo excesso de íon sódio (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000; AYERS; WESTCOT, 1999), além da diminuição da fertilidade físico-química. Por outro lado, a salinidade do meio prejudica o desenvolvimento das plantas mediante: a diminuição do potencial osmótico da solução, o que se associa ao estresse hídrico pela dificuldade decorrente em se absorver água do solo, mesmo que este esteja úmido (seca fisiológica); o acúmulo de íons tóxicos nos tecidos (Cl, Na, B); o desequilíbrio iônico ou a associação destes fatores (McKERSIE; LESHEM, 1994; LIMA, 1997; RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000; AYERS; WESTCOT, 1999).

Em função desses fatores, a evapotranspiração (ETc) da cultura pode ser modificada pela salinidade do solo. A menor absorção de águas pelas plantas em condições salinas produz sintomas semelhantes aos das secas periódicas como, por exemplo, um murchamento temporário,

folhas queimadas, cor verde-azulada de certas plantas, crescimento reduzido e folhas pequenas. Segue-se que condições de forte evaporação acentuam o efeito da salinidade sobre a absorção de água e, conseqüentemente, evidencia-se mais rapidamente os efeitos sobre a ETc. Um mesmo nível de salinidade do solo pode provocar mais danos em condições quentes que em tempo frio, a não ser que o sistema de manejo das águas permita atender o aumento da demanda de ETc. Os efeitos nocivos da salinidade do solo sobre a absorção da água pela cultura podem ser parcialmente compensados mantendo-se um alto nível de umidade na rizosfera (DOORENBOS; PRUITT, 1997).

A implicação prática da salinidade sobre o solo é a perda da fertilidade e a suscetibilidade à erosão e desertificação, além da contaminação do lençol freático e das reservas hídricas subterrâneas. Nas plantas, o efeito prático da salinidade são as perdas de produtividade e de qualidade, e mesmo a ausência de produção.

Na literatura especializada são apresentados vários modelos para se estudar a resposta das culturas à salinidade e classificá-las de acordo com sua tolerância aos sais (STEPPUHN; Van GENUCHTEN; GRIEVE, 2005; FERREIRA et al., 2005). Esses modelos podem ser baseados na salinidade do solo (condutividade elétrica medida no extrato de saturação, CEes) (STEPPUHN; Van GENUCHTEN; GRIEVE, 2005), no decréscimo da evapotranspiração relativa ou em parâmetros fisiológicos, como o potencial da água na folha (FERREIRA et al., 2005). Ferreira et al. (2005) chamam a atenção para o modelo baseado no potencial da água na folha, pois nele se eliminam as influências locais do solo e do clima sobre as respostas das plantas em um experimento.

Para os modelos baseados na salinidade do solo, segundo Bresler (1982) apud Ferreira et al. (2005), o decréscimo na produção pode ser descrito segundo três padrões básicos (**Figura 6**) quando a salinidade aumenta em relação ao nível limiar. Algumas culturas podem ser tratadas como pertencentes a um grupo que segue o decréscimo de produtividade assintótico (curva b) e outras com um decréscimo semelhante ao apresentado na curva c, embora sejam raros os casos em que a linearidade (curva a) deixa de existir. Essa linearidade ocorre, freqüentemente, quando a salinidade do solo se encontra no intervalo correspondente às produções relativas limiar e 50 % da potencial, limite este inferior, a partir do qual a colheita da cultura não mais compensa sob o ponto de vista econômico (FERREIRA et al., 2005).



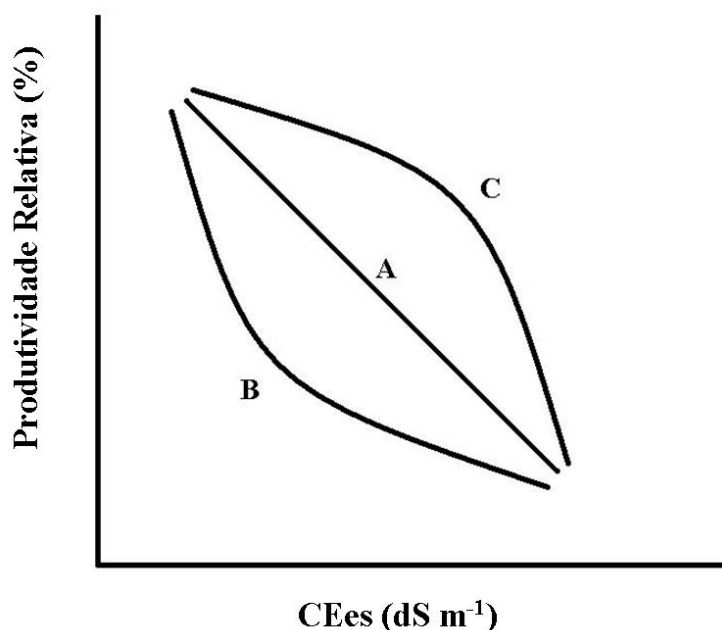


Figura 6 - Funções generalizadas de resposta da produtividade relativa das culturas em função da salinidade do solo (CEes)  
(Fonte: FERREIRA et al., 2005)

Dentre os modelos disponíveis, o mais difundido é o platô de resposta linear desenvolvido por Maas e Hoffman (1977) e apresentado na **eq. (3)**. Segundo Ferreira et al. (2005), esse modelo é usado praticamente em todos os trabalhos relacionados à produtividade relativa em função da salinidade. Conforme a **Figura 7**, que exemplifica o modelo aplicando-o à cultura da alface, observa-se que há dois segmentos lineares, um constituído por um platô com declividade nula e o outro por uma reta cuja declividade indica a redução relativa por unidade de acréscimo na salinidade do solo. Essa declividade é fornecida pelo coeficiente  $b$  do modelo, sendo, no caso da alface, igual a  $12,987 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ . O ponto em que as retas se interceptam indica a salinidade limiar (SL), que é a máxima tolerada pela cultura (no caso da **Figura 7**, SL da alface =  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ ). Com esse modelo, torna-se possível simular cenários de produtividade para cada nível de salinidade do solo disponível ao irrigante, permitindo-lhe estudá-los mediante ferramentas de análise econômica.

$$y = 100 - b(CE_{es} - SL) \quad (3)$$

em que:

$y$  = rendimento potencial, %;

CEes = salinidade do extrato de saturação,  $\text{dS m}^{-1}$ ;

SL = salinidade limiar da cultura,  $\text{dS m}^{-1}$ ;

b = diminuição do rendimento por aumento unitário da salinidade acima do valor de SL,  $\% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ .

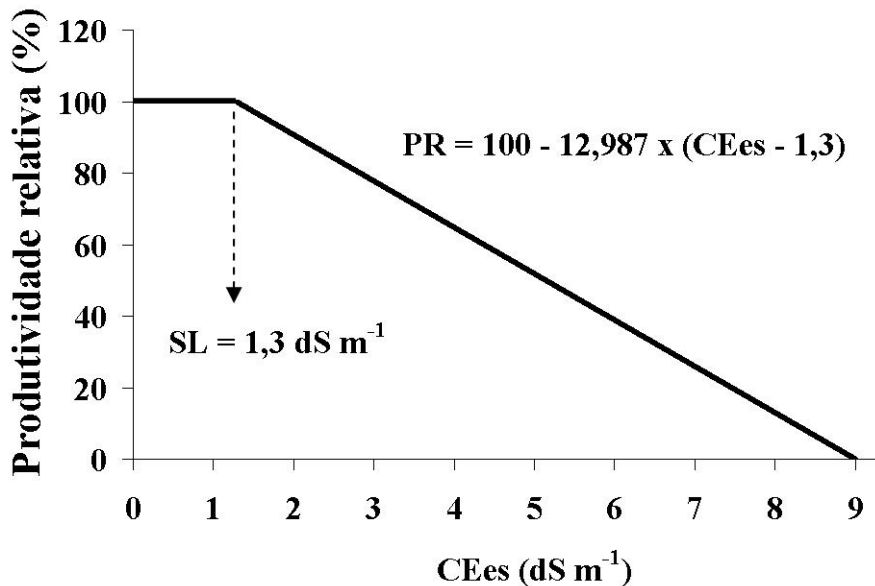


Figura 7 - Modelo de Maas e Hoffman aplicado à cultura da alface

(Fonte: AYERS; WESTCOT, 1999)

Na literatura especializada, são disponibilizados valores de salinidade limiar para diversas culturas, quase sempre baseados em Maas e Hoffman (1977) e Maas (1984) apud Ferreira et al. (2005). Por outro lado, o trabalho de Maas e Hoffman (1977) é um compêndio das informações obtidas de outros estudos, havendo citação de cinco referências bibliográficas para algumas culturas e apenas uma referência para outras. Para a cultura da alface, por exemplo, foram utilizadas três referências, quais sejam: Ayers, Wadleigh e Bernstein (1951); Bernstein, François e Clark (1974) e Osawa (1965). Ainda que o número de referências utilizadas seja reduzido, e tenha havido relevantes avanços no manejo da água, no melhoramento genético e nas práticas fitotécnicas, ainda hoje, 30 anos depois, a tolerância indicada por Maas e Hoffman (1977) é muito utilizada.

Apesar disso, os próprios Maas e Hoffman (1977) e também Ayers e Westcot (1999) informam que a salinidade limiar indicada por eles deve ser entendida apenas como de tolerância

relativa entre grupos de culturas, pois, valores de tolerância absoluta variam com o clima, condições de solo e práticas culturais.

Nesse sentido, o uso irrestrito desses valores pode levar às subestimativas e superestimativas da produtividade, pois dificilmente se manteriam as mesmas condições de contorno dos trabalhos originais. Assim, com os dados disponibilizados por Maas e Hoffman (1977) e também Ayers e Westcot (1999), pode-se agrupar culturas e se ponderar pela maior tolerância de umas sobre as outras. Por exemplo, pode-se escolher cultivar beterraba (tolerante) ao invés de alface (sensível).

Entretanto, como discutido por Ferreira et al. (2005), ao se excluírem os efeitos edafoclimáticos, pode se redefinir a classificação das culturas quanto à salinidade, elevando o grau de tolerância para algumas e diminuindo-o para outras. Esse fato demonstra que mesmo o caráter informativo da tolerância relativa entre grupos de cultura precisa ser tomado com cuidado no planejamento agrícola quando se baseia nos dados de Maas e Hoffman (1977).

Da assunção que as águas subterrâneas salobras e as águas residuárias (rejeito) de sua dessalinização têm a mesma natureza, pressupõe-se a adoção das mesmas medidas de segurança para seu uso na agricultura. Evitar molhar a parte aérea das plantas, utilizar culturas e cultivares tolerantes, diminuir a submissão ao excesso de radiação, manter a umidade do meio mediante irrigações mais freqüentes e o “mulching”, aplicar frações de lixiviação, implantar sistema de drenagem, utilizar corretivos químicos para controle do sódio e do cloreto (MEIRI; PLAUT, 1985; RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000; AYERS; WESTCOT, 1999) são medidas preventivas e mitigadoras dos efeitos da salinidade sobre as plantas, mas que, apesar de já consagradas pela literatura especializada, podem não ser capazes de evitar a salinização do solo após ciclos sucessivos utilizando águas salobras, especialmente nas condições de clima semi-árido, onde o balanço hídrico favorece o acúmulo de sais na camada arável.

Partindo do princípio que as tecnologias existentes (SANTOS; HERNANDEZ, 1997) para recuperação dos solos salinizados são laboriosas, dispendiosas e baseadas na aplicação de lâminas de lavagem, havendo aí, além do custo ambiental associado, os custos de oportunidade da água e corretivos empregados, dever-se-á, ao se aceitar utilizar águas salobras como recursos hídricos alternativos na realidade do semi-árido brasileiro, manejá-las em sistemas de produção intensivos, baseados na maior produção vegetal em menor ocupação do solo, e que garantam menor impacto ambiental.

### **2.1.6 Um sistema de produção intensiva auto-sustentável baseado na irrigação**

Historicamente, verifica-se que o nordestino, nas diversas formas de ocupação do território, fundamentou a sua economia no aproveitamento do potencial hídrico localizado, explorando de forma extensiva tanto a agricultura quanto a pecuária. Contudo, face a irregularidade do regime das chuvas e do baixo nível tecnológico/organizacional, dentre outros aspectos subjetivos, não conseguiu condições de consolidação econômica dessas atividades. Por sua vez, tais condições primitivas de uso e ocupação do meio físico muito têm contribuído para a destruição do solo, o empobrecimento das pastagens nativas e a redução das reservas de água localizada (REBOUÇAS, 1997).

Se por um lado, segundo Oliveira e Resende (1990) apud Oliveira (1997), a agricultura familiar secularmente praticada nas áreas características de planícies aluvionais do semi-árido brasileiro não tem demonstrado incremento da salinidade secundária, por outro, isso pode ser atribuído ao seu improvável acesso aos insumos de produção como a irrigação e a adubação mineral. Além disso, não se pode isentá-la dos demais tipos de depredação ambiental.

Nesse sentido, a transição para uma agricultura irrigada na região parece ter demonstrado sua incapacidade de conter o impacto ambiental, favorecido pelas condições edafoclimáticas e pela falta de planejamento e extensão. Modernização não é sinonímia de desenvolvimento, como bem discutido por Chalita (2005). Na região do semi-árido, para que a agricultura, familiar ou não, supere a residualidade do caráter de subsistência e assuma o de atividade econômica, é necessário modernizar o processo produtivo, sobretudo com a adoção de técnicas de irrigação, e educar os agricultores nos princípios da sustentabilidade financeira-ambiental.

A agricultura extensiva de sequeiro que prioriza o volume de produção obtido de grandes áreas, em detrimento da produtividade, por mais que seja conduzida com esforço e lucubração, não traz alívio aos riscos assumidos pela probabilidade da escassez hídrica do clima semi-árido. E, principalmente para pequenos produtores isolados, torna-se mais ingrata já que a compensação do baixo rendimento pelo volume de produção é limitada pelo tamanho da propriedade. Deve-se ressaltar ainda que nem sempre a área útil de cultivo equivale ao tamanho da propriedade no semi-árido nordestino, em virtude do afloramento das rochas. Além disso, a descapitalização e o pouco acesso ao financiamento não permitem a mecanização ou a contratação de mão-de-obra.

Essa dificuldade é bem compreendida ao se atentar para as observações de Evangelista (2000). Segundo esse autor, o Nordeste é a região brasileira que detém a maior parcela dos estabelecimentos agrícolas familiares do país (49,7 %). A grande maioria dos estabelecimentos nordestinos (2.055.157 estabelecimentos) se enquadra na categoria familiar (88,3 % dos estabelecimentos nordestinos). Esses estabelecimentos detêm 43,5 % da área, geram aproximadamente o mesmo percentual do valor bruto da produção (43,5 %) e capturam 26,8 % do financiamento total. O Nordeste é ainda a Região que apresenta a menor área média por estabelecimento na agricultura familiar (17 ha) e a segunda menor na agricultura patronal (269 ha), com valores bastante inferiores às médias do país (26 e 433 ha, respectivamente). De igual modo, a Região apresenta as menores rendas médias totais e monetárias por estabelecimento, seja na agricultura familiar, seja na patronal. As rendas total e monetária da agricultura patronal nordestina são aproximadamente 52 % das médias do país; já na agricultura familiar esse quadro é bem distinto: a renda total média do Nordeste é apenas 43 % da brasileira e a renda monetária média é ainda inferior: somente 39 %.

Nesse sentido, a agricultura extensiva que alcança sucesso em outras regiões do país e mesmo nas 'ilhas' no Nordeste, parece incompatível com a geração de renda na realidade de comunidades isoladas no semi-árido nordestino.

Enfrentando-se as estiagens ao lhes perceber como fenômeno repetível e não eventual (BRASIL, 2007; REBOUÇAS, 1997), deve-se concentrar esforços e capital em áreas planejadamente reduzidas que permitam a manutenção de níveis produtivos e de lucratividade, reduzindo da atividade o status lotérico do clima. Para tanto, é imprescindível a captação, conservação e uso eficiente de água.

Também é preciso, ao se assumir a agricultura irrigada, incorporar um método de manejo racional da água (PIRES et al., 2001). Ou seja, a transição de uma agricultura de sequeiro para uma outra 'de molhamento' não permitirá sua sustentabilidade, solucionando-se um problema e gerando outros provavelmente mais graves. A irrigação se diferencia do molhamento por meio do manejo da irrigação, no sentido de informar o quanto irrigar, quando irrigar e como irrigar, levando em consideração os aspectos climáticos, edáficos, econômicos e relativos às práticas culturais. Finalmente, a escolha do método e do sistema de irrigação mais apropriado deve concordar com as restrições de: capital, disponibilidade hídrica, qualidade da água, solo e

topografia, recurso humano, tamanho da propriedade e preservação ambiental (SCALOPPI, 1986).

Como bem colocado por Bernardo (1997), não se pode concordar com aqueles que preconizam a paralisação do desenvolvimento de novos projetos de irrigação por causa de possíveis problemas ecológicos, mas também não se pode concordar com os que desconsideram totalmente os impactos ambientais relacionados com os novos projetos e se apóiam somente na relação custo-benefício. Ambos analisam, exclusivamente, uma única face do problema. Acredita-se que, na maioria dos casos, é possível compatibilizar desenvolvimento e proteção do meio ambiente.

À irrigação não pode ser atribuída a saída única para os problemas do semi-árido, mesmo porque esse atributo foi falível e insuficiente no passado. Entretanto, o manejo da água, salvo as intervenções políticas contrárias, pode contribuir substancialmente para o desenvolvimento na região. Para tanto, a irrigação deve ser inserida no manejo da água. E na irrigação deve estar contido o manejo da irrigação.

Segundo o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2007), aproximadamente 500 mil propriedades rurais na área semi-árida não dispõem de oferta adequada de água, aumentando sobremaneira sua vulnerabilidade às secas, cujo impacto se traduz, gravemente, na baixa-estima das comunidades atingidas.

Para comunidades isoladas no semi-árido nordestino, tendo em vista a falta de recursos para adução de águas superficiais distantemente localizadas, além da elevada taxa de evaporação que diminui a quantidade e a qualidade dos açudes, quando esses são disponíveis, uma opção razoável são as águas subterrâneas. Como informado por Rebouças (1999b), essas águas também podem ser exploradas em escala compatível com o crescimento de sua demanda, não onerando o investimento inicial, uma importante vantagem, especialmente ao se lembrar que na região sempre foi tendência a escolha de projetos de vulto, faraônicos, mas de alcance limitado e orientados por boas intenções que esmoreciam apenas como estratégica para poucos.

Para compensar a necessidade de se cultivar menor área, podem e devem ser priorizadas culturas mais rentáveis, como ocorre com os cultivos protegidos em casas-de-vegetação. Para aumentar a eficiência do uso da água, pode-se escolher sistemas de irrigação localizada (VERMEIREN; JOBLING, 1980) e se utilizar o mulching (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000), o que, além de proporcionar alta eficiência no uso da água, é favorável ao uso daquelas

classificadas como salobras, por manter a umidade do solo e evitar a concentração salina por evaporação.

Conforme dados apresentados pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006), na região Nordeste, que apresenta 732.840 ha irrigados, correspondentes a 21,3 % da área irrigada no Brasil (3.440.470 ha), têm-se 32,5 % da área atendida pela irrigação por aspersão convencional, 28,3 % pela irrigação por superfície, 15,1 pela aspersão via pivô central e 24,11 % pela irrigação localizada. Em relação à área com irrigação localizada no Brasil (337.755 ha), a do Nordeste equivale a 52,33 %, o que pode sinalizar o emprego vantajoso desse método visando sobretudo contrapor a baixa disponibilidade hídrica nessa região do país.

Uma desvantagem importante da irrigação localizada é o investimento inicial, geralmente mais alto que nos outros métodos (SILVA; MANTOVANI; RAMOS, 2003), derivando daí seu melhor retorno quando indicada para o cultivo de culturas mais rentáveis. Deve-se considerar também que as águas salobras podem obstruir emissores e mesmo tubulações (VERMEIREN; JOBLING, 1980; PIZARRRO, 1996), diminuindo a vida útil do equipamento de irrigação localizada. Além disso, esse método de irrigação não tem a mesma eficiência/eficácia na lixiviação dos sais, como a alcançada com a irrigação por aspersão (VERMEIREN; JOBLING, 1980), sendo, portanto, depende das chuvas ou da aspersão para o propósito da recuperação do solo.

A obstrução de emissores talvez seja o maior problema da irrigação localizada devido aos seus pequenos diâmetros (PIZARRRO, 1996), mesmo porque, além dos precipitados químicos, outras partículas minerais (areia, argila, etc) e orgânicas (algas, bactérias, restos vegetais ou animais) podem levar ao entupimento (**Tabela 1**). Essa é uma das causas do aumento dos custos operacionais e de manutenção da irrigação localizada, podendo levar ao descrédito da tecnologia e mesmo ao abandono da atividade (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979; NAKAYAMA; BUCKS, 1991), mesmo quando águas classificadas como doces sejam usadas. Reitera-se novamente que modernização nem sempre traz desenvolvimento.

**Tabela 1** - Parâmetros usados para avaliar o risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação

<b>Tipo de problema</b>	<b>Reduzido</b>	<b>Médio</b>	<b>Alto</b>
<b>Físico</b>			
Sólidos suspensos (mg L <sup>-1</sup> )	<50	50 - 100	> 100
<b>Químico</b>			
pH	<7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	<500	500 - 2.000	> 2.000
Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	<0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L <sup>-1</sup> )	<0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Ácido sulfídrico (mg L <sup>-1</sup> )	<0,2	0,2 - 2,0	> 2,0
<b>Biológico</b>			
População bacteriana (UFC mL <sup>-1</sup> )	<10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

Fonte: Pizarro (1996)

Sistemas de irrigação por aspersão, apesar de menos suscetíveis ao entupimento, não são recomendados para aplicação de águas salobras, pois, o acúmulo foliar de íons e as injúrias são maiores (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000). Já sistemas de irrigação por superfície, apesar de recomendados para uso de águas salobras, trazem o inconveniente da menor eficiência de aplicação de água, geralmente observada em campo, além de não apropriados para os terrenos pedregosos (SCALOPPI, 2003) existentes no semi-árido brasileiro. Por outro lado, a obrigatoriedade do sistema de drenagem, que deve acompanhar o de irrigação, seja ele qual for, devido aos solos rasos mal drenados naturalmente (TANJI; KIELEN, 2002), pode onerar proibitivamente o investimento inicial nas comunidades do semi-árido nordestino.

Nesse sentido, para aproveitamento das águas salobras disponíveis, torna-se interessante testar a funcionalidade, a aceitação e a condução operacional de sistemas irrigados de cultivo intensivo, baseados em pequenas áreas e, preferencialmente, não estabelecidos em solo, o que visa evitar sua salinização e também tornar dispensável o investimento da drenagem.

Sistemas de produção intensivos baseados em pequenas áreas protegidas (casas-de-vegetação) são amplamente divulgados e reconhecidos pelos agricultores mais tecnificados. Suas vantagens são inúmeras (RODRIGUES, 2002), sendo a diminuição do excesso de radiação e a menor perda por evaporação algumas das compatíveis com a utilização de águas salobras, ainda que o controle das altas temperaturas possa ser uma desvantagem substancial ao se pensar em locais de clima semi-árido, como ocorre no Nordeste.



Outra tecnologia da agricultura intensiva é a utilização de recipientes de cultivo, associados aos substratos (FURLANI et al., 2002). Como discutido por Soares et al. (2005), essa tecnologia é particularmente interessante ao se imaginar que os sais aplicados nas irrigações durante um ciclo são expedidos com o produto vendido em recipiente, o que evita sua acumulação no local da atividade.

Talvez o mais característico dentre os sistemas de produção intensiva seja a hidroponia, que segundo Rodrigues (2002) é uma técnica alternativa de cultivo de plantas com solução nutritiva na ausência ou na presença de substratos naturais ou artificiais. Conforme Teixeira (1996), ainda que a utilização de cultivos hidropônicos no Brasil seja criticada em razão da grande extensão de área cultivável no país, esse tipo de cultivo é uma opção para o emprego em pequenas áreas e também onde o cultivo convencional não seria possível.

A produção hidropônica, como conhecida hoje, revela-se suportada por um diversificado conjunto de informações agronômicas que a caracteriza não apenas uma tecnologia de produção bem organizada, mas uma tecnologia vanguardista. Na hidroponia, pode ser encontrada a utilização de modernas técnicas de adubação, tratamento de água, proteção fitossanitária e controle climático. A automação e o uso de computadores também são uma realidade associada a esse cultivo. Entretanto, o princípio e a técnica em si são simples. Não obstante, como informado por Resh (1992) e Rodrigues (2002), plantas foram cultivadas ‘sem terra’ desde os Sumérios, habitantes da antiga Mesopotâmia. Nessa região desértica, foram encontrados vestígios de poços e canais para a irrigação. Na Babilônia, os jardins suspensos da rainha Semíramis foram construídos baseados no princípio hidropônico: as plantas eram cultivadas em terraços isolados por uma camada de folhas metálicas, sobre as quais provavelmente se colocava um substrato composto essencialmente de areia, um pouco de terra e limo. A água caía em cascata, de terraço em terraço, irrigando esses jardins, considerados uma das sete maravilhas do mundo. Outros exemplos de cultivo são os jardins flutuantes chineses da dinastia Chou (1027-770 a.C) e as chinampas astecas que flutuavam em água pantanosa no território de Tenochtitlan (México).

Enquanto tecnologia de vanguarda no setor agrícola, a hidroponia pode parecer inacessível aos pequenos produtores do semi-árido, mas deve-se ressaltar que a técnica em si é simples e a incorporação de tecnologias pode ser gradativa ao incremento da renda e da educação do agricultor. Por outro lado, a viabilidade e indicação da técnica, especialmente se águas salobras

forem as únicas disponíveis, devem ser precedidas pelas experimentações intensiva e extensiva<sup>3</sup> e, sobretudo, devem ser amparadas pela educação dos usuários e a consolidação do serviço de extensão. Essa é uma observação importante visando não se levar ao campo uma modernização efêmera, que somente serve ao desestímulo.

Sem aumento do bem-estar coletivo, o desenvolvimento fica fadado ao insucesso por maior que seja a modernização prevista num processo produtivo. Essa observação é muito importante especialmente quando se procura migrar para o cultivo em ambiente protegido.

Geralmente a produção hidropônica está associada às casas-de-vegetação. Não obstante, Teixeira (1996) afirma que o cultivo hidropônico é uma atividade que deve ser desenvolvida em ambiente protegido para que haja maior controle do crescimento das plantas e da solução nutritiva. Isso reforça a vantagem relativa à menor incidência de pragas e doenças do cultivo sem solo, mas resulta no maior investimento inicial e também na necessidade de conhecimento sobre o manejo das condições climáticas no interior do ambiente. Conforme Tivelli (1998) apud Rodrigues (2002), a área cultivada sob ambiente protegido no Brasil estava diminuindo nos últimos anos, relatando-se que de 70 a 80 % dos agricultores abandonavam a atividade por volta do segundo ano de cultivo.

Ainda que a tendência atual tenha mudado, esse fato histórico tão recente demonstra, como exposto por Rodrigues (2002), a necessidade de maior auxílio por parte das instituições de pesquisa e extensão a esse segmento de mercado. Revela também a crença de que apenas a presença do ambiente protegido é suficiente para fornecer as condições ideais de desenvolvimento e produtividade.

O ambiente protegido, ao impedir a incidência das chuvas promove uma condição assemelhada à de uma área árida ou semi-árida (MEDEIROS, 1998). Inclusive, quando se cultiva no solo e sob ambiente protegido, há grande risco de salinização do solo (SILVA; DUARTE; DIAS, 2005; MEDEIROS, 1998; DIAS, 2004). O manejo da água, da adubação e da atmosfera interna (temperatura, radiação, umidade relativa do ar) são pontos críticos que podem inviabilizar os cultivos protegidos. Especialmente se levado à região semi-árida brasileira, onde o menor acesso às informações e à assistência poderiam agravar a inviabilidade.

---

<sup>3</sup> Os experimentos-chave, de cunho nitidamente científico, concentrados nas estações experimentais, são objeto da Experimentação Intensiva, que pesquisa novas possibilidades. Já a Experimentação Extensiva encara os experimentos nas fazendas, nas condições da prática, essenciais para que se julgue adequadamente a aplicabilidade e conveniência econômica dos novos métodos indicados pela Experimentação Intensiva (Pimentel-Gomes, 2000).

Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde se tem um verão chuvoso e com dias mais longos, a casa-de-vegetação deve funcionar como guarda-chuva. Por outro lado, na região Nordeste, deve funcionar como protetor de raios solares (MARTINEZ, 2006). Segundo Neville Vianna Barbosa dos Reis entrevistado do periódico ITEM (2002), a região Nordeste é privilegiada para o cultivo de hortaliças em ambiente protegido. Centros urbanos com grande potencial de consumo e ambiente seco, onde é mais fácil controlar a incidência de doenças. Região de baixa umidade, o problema é a quantidade de energia concentrada dentro da casa. É necessário, então, diminuir a quantidade de radiação para controlar a temperatura.

Nesse sentido, deve-se usar modelos de casa-de-vegetação apropriados para a região. A cobertura plástica poderia ser substituída por tela. Ou a cobertura plástica poderia ser removível, ficando a proteção contra pragas à responsabilidade de uma tela.

Para diminuir a temperatura do ar, poderia se utilizar as seguintes medidas: elevar o pé-direito da casa; nebulizar a atmosfera; instalar exaustores e ventiladores (MARTINEZ, 2006).

A viabilidade operacional e econômica deveria ser investigada rigorosamente. Visando oferecer uma casa-de-vegetação de baixo custo, adaptada à condição tropical, Leal; Caetano e Ferreira (2006) apresentam a descrição de uma com 280 m<sup>2</sup>, orçada em R\$ 2.525,40. Outra opção seria manter o sistema hidropônico à céu aberto, como demonstrado por Hochmuth e Hochmuth (2007).

### **2.1.7 O cultivo hidropônico**

Com o avanço da Ciência e a documentação dos resultados de inúmeros pesquisadores, a importância do solo e da atmosfera como fornecedores de nutrientes para a planta foi revelada, descobrindo-se, então, o equívoco da conclusão de van Helmont.

Em 1860, o botânico alemão Julius von Sachs demonstrou que a fase sólida do solo pode ser inteiramente dispensada na nutrição de plantas. Ele preparou soluções de sais fornecendo os principais elementos nutrientes minerais, então conhecidos como sendo essenciais, e contendo (sem ele saber disso) quantidades ‘traço’ adequadas de micronutrientes presentes como contaminantes nos sais principais. Já em 1936, Hoagland e Broyer formularam uma solução nutritiva que, com modificações, ainda é amplamente usada (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Em 1925, surgiu o interesse comercial das indústrias de casa-de-vegetação pela utilização dos cultivos em solução nutritiva para resolver problemas da necessidade de rotação de cultura,

pragas, doenças, fertilidade e estrutura do solo com o objetivo de substituir o cultivo convencional. Entretanto, naquela época não havia um sistema hidropônico comercial (RODRIGUES, 2002).

Em 1940, William Gericke apresentou um trabalho descrevendo um sistema hidropônico quase comercial, já utilizando o termo hidroponia que é a união das palavras gregas *hidro* (água) e *ponos* (trabalho). O sistema proposto por Gericke teve rápida difusão nos Estados Unidos e em outros países, entretanto o sensacionalismo da imprensa americana que dizia ser a “descoberta do século” associada à ganância de muitos, ao venderem equipamentos inadequados ao cultivo levaram a técnica ao descrédito (RESH, 1995).

No mundo todo, em razão das diferenças de clima, disponibilidade de material de construção, escassez de água, falta de mão-de-obra e de outros fatores limitantes, o sistema hidropônico de Gericke foi aos poucos sendo modificado. Em meados de 1960, surgiu na Inglaterra a técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT, do inglês nutrient flux technique) desenvolvido por Cooper e sua equipe no Glasshouse Crops Research Institute (GCRI), cujas pesquisas também influenciaram o desenvolvimento de outros sistemas hidropônicos (RODRIGUES, 2002).

O sistema NFT juntamente com o DFT (técnica do fluxo profundo, do inglês deep flow technique) são os dois sistemas hidropônicos que apresentam viabilidade econômica até agora. Ambos são classificados como sistemas fechados, pois a solução nutritiva é reaproveitada continuamente. Sua vantagem em relação aos sistemas abertos diz respeito ao controle ambiental (RODRIGUES, 2002).

No Brasil, onde tem crescido o interesse nos últimos anos pela hidroponia, predomina o sistema NFT (FURLANI et al., 1999). Conforme Furlani (1999), no país, ao final dos anos 90, a alface representava 80 % da produção hidropônica e o restante da produção era distribuído entre as culturas de agrião, rúcula, salsa, cebolinha, morango, manjeriço e menta.

No sistema NFT, a solução nutritiva é bombeada aos canais e escoada por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes das plantas fixadas em orifícios presentes nos canais de cultivo (FURLANI et al., 1999), daí o nome de batismo da técnica.

O fluxo corrente de água não deve inundar as raízes por completo. Aproximadamente 2/3 delas devem estar submersos para absorver a água e os nutrientes, e 1/3 no ar, absorvendo oxigênio. Manter uma provisão constante de oxigênio é fator determinante para garantir o êxito

desse método (STAFF, 1997). Além disso, o sistema NFT opera, mediante um temporizador, fornecendo solução nutritiva em intervalos regulares. Para a cultura da alface, por exemplo, o controlador deve ser regulado para funcionar em intervalos de 15 minutos (15 minutos ligado, 15 desligado), desde o amanhecer até o anoitecer e, durante a noite, 15 minutos a cada duas horas (ALBERONI, 1998).

Respeitando-se as recomendações técnicas, a hidroponia pode propiciar inúmeras vantagens aos agricultores, as quais são citadas por Teixeira (1996) e Rodrigues (2002) como: produção de melhor qualidade; maior produtividade; menor emprego de mão-de-obra; mínimo uso de defensivos; colheita precoce; maiores eficiências no uso da água e fertilizantes; melhoria da ergonomia nas atividades; dispensa da rotação de culturas; eliminação de alguns tratamentos culturais; e utilização racional de áreas sub-utilizadas pelo cultivo tradicional. Como desvantagens, citam-se: o alto custo de instalação; a dependência de eletricidade nos sistemas automáticos; a necessidade de mão-de-obra especializada; a possibilidade de negligência às atividades que são rotineiras; acúmulo de matéria orgânica; e a rápida disseminação de patógenos.

Conforme Schwarz (1995), atualmente já foram publicadas em todo o mundo aproximadamente 300 fórmulas de solução nutritiva hidropônica, para diversas culturas. Interessantemente, soluções nutritivas convencionais são relativamente concentradas em comparação com soluções do solo (RODRIGUES, 2002; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Na verdade, acrescentam Epstein e Bloom (2006), Hoagland estabeleceu sua formulação com as maiores concentrações que a maioria das plantas tolerariam sem exibir estresse osmótico.

As plantas não exigem as altas concentrações de nutrientes encontradas nas formulações usuais de soluções nutritivas. Numerosos estudos sobre potássio, fósforo e nitrogênio têm demonstrado que as plantas crescem normalmente e contêm concentrações normais desses nutrientes, se os mesmos estão disponíveis na faixa de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ . Essa descoberta tem levado alguns pesquisadores a enfatizar que a taxa de suprimento de nutrientes, não sua concentração, é o fator importante. A razão para a alta concentração de nutrientes nas formulações-padrão recai na dificuldade experimental de reabastecimento de nutrientes a partir de um depósito, à medida que as plantas os exaurem (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Seja qual for a recomendação para a solução nutritiva usada, concentrada ou não, sempre se deve ter para o cultivo hidropônico o emprego dos elementos essenciais às plantas, quais sejam: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo e Cl. O suprimento de C é via atmosfera, e o H e O

são fornecidos pela própria água pura. Outros elementos considerados benéficos às plantas são Co, V, Ni, Si e Na, os quais podem ser considerados no preparo da solução nutritiva a depender da cultura a explorar.

### **2.1.8 Disponibilidade de água para hidroponia**

As quantidades dos fertilizantes para o preparo da solução nutritiva devem obedecer aos requerimentos nutricionais da cultura, mas também, conforme Furlani et al. (1999) devem ser limitadas pelas quantidades dissolvidas na água disponível. Nesse sentido, a análise química da água é fundamental para o preparo da solução nutritiva.

Conforme Rodrigues (2002), a qualidade da água é fator a ser considerado na seleção de áreas mais favoráveis para o cultivo hidropônico, sendo a análise química e microbiológica da água o primeiro passo a ser dado na elaboração de um projeto de cultivo hidropônico. Esta recomendação do autor corrobora com o fato de existir pouco conhecimento sobre os efeitos da salinidade em cultivos hidropônicos.

Talvez por tal carência, e também por segurança, Resh (1995) e Schwarz (1968) preconizassem que se evite na hidroponia o uso de água que contenha mais de 50 mg L<sup>-1</sup> de cloreto de sódio, limite esse muito aproximado do indicado por Benoit (1992) (11,5 mg L<sup>-1</sup> de Na e 35,5 mg L<sup>-1</sup> de Cl). Por outro lado, informa Rodrigues (2002) que algumas pesquisas realizadas no exterior indicam a possibilidade de utilizar águas salobras com mais de 2.500 mg L<sup>-1</sup> de sais, desde que a água se movimente livremente no sistema radicular e que haja drenagem.

Os padrões de qualidade da água recomendados por Benoit (1992) incluem ainda: 80,2 mg L<sup>-1</sup> de cálcio, 12,2 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, 48,1 mg L<sup>-1</sup> de sulfato, 244 mg L<sup>-1</sup> de carbonato, 0,0027 mg L<sup>-1</sup> de boro, 0,00063 mg L<sup>-1</sup> de cobre, 0,00028 mg L<sup>-1</sup> de ferro, 0,00549 mg L<sup>-1</sup> de manganês, 0,00327 mg L<sup>-1</sup> de zinco, 0,00475 mg L<sup>-1</sup> de flúor e condutividade elétrica de 0,5 dS m<sup>-1</sup> à 25° C.

Em relação à quantidade, o volume de água em um projeto hidropônico deve ser estimado com base no máximo consumo, pois, na hidroponia as plantas tendem a se desenvolver mais. Por outro lado, considerando a maior eficiência do uso da água na hidroponia, seja pela redução ou anulação da evaporação (SANJUÁN; GAVILÁN, 2004), a estimativa deve ser baseada na transpiração encontrada ou esperada para as condições climáticas locais. Portanto, o volume requerido na hidroponia deve ser menor que no cultivo convencional, sendo essa a razão, conforme Schwarz (1995), para sua adoção em regiões áridas. E, se o cultivo hidropônico for

associado a uma casa-de-vegetação, o gasto de água deve ser ainda menor, pois, conforme Martins et al. (1999), nesse ambiente se pode ter uma redução de 20 a 40 % no consumo hídrico, em relação ao cultivo a céu aberto, em virtude da menor demanda evaporativa (menores radiação solar e velocidade do vento).

Nesse particular, pode-se evidenciar o emprego e sucesso da hidroponia em condições de baixa disponibilidade hídrica e mesmo de aridez. São exemplos encontrados na literatura (RESH, 1992; DOUGLAS, 1987; SCHWARZ, 1995) os cultivos em Tucson e Phoenix (Arizona), México, Ilhas Canárias e Espanha (inclusive a região semi-árida de Almeria), Caribe, Havaí, Austrália, Nova Zelândia, Iran, Kuwait e outros países árabes, Israel (particularmente no deserto de Neveg e ao longo do Mar Morto), África do Sul e regiões central e leste da África.

Em regiões áridas do mundo, tais como México e Oriente Médio, as instalações hidropônicas combinadas com unidades de dessalinização da água estão sendo desenvolvidas para usar água do mar como fonte de água de irrigação. Esses complexos estão localizados próximos ao oceano, e as plantações se fazem na areia da praia (RESH, 1992).

Quanto maior for o volume de solução por planta, menores são as alterações ocorridas nas concentrações de nutrientes, fato que também leva à menor necessidade de correção da solução. A vida útil da solução nutritiva de um sistema hidropônico fechado é de três a quatro semanas, dependendo da fase de desenvolvimento da planta e da estação do ano (CASTELLANE; ARAÚJO, 1995). E segundo Jones Jr. (1983), um maior volume por planta permite um maior contato dos elementos essenciais com o sistema radicular e uma diluição do efeito de substâncias tóxicas ou inibitórias que porventura possam estar inseridas no sistema. Essa é uma observação muito útil, quando se dispõe de água com qualidade inferior. Por outro lado, pode sinalizar a necessidade de se retirar mais água da bacia hidrográfica para o cultivo hidropônico, a despeito da eficiência no uso da água durante o ciclo ser maior.

Na literatura internacional são disponíveis inúmeros trabalhos que tratam de cultivos hidropônicos na disponibilidade de águas salobras. Muitos desses trabalhos, entretanto, mais se prestam a esclarecer questões morfo-fisiológicas, sendo estabelecidos em vasos, utilizando areia, quartzo moído ou outros materiais inertes, quase sempre sem menção à aeração da solução nutritiva. A utilização das informações geradas por esses estudos podem não ser suficientes para os produtores que empregam meio de cultivo diferenciado daqueles utilizados em pesquisas.

No Brasil, também poucos são os trabalhos cujo objeto de estudo é o cultivo hidropônico utilizando águas salobras e salinas. Desses, parte objetiva averiguar diferenças de tolerância entre variedades (“screening” em programas de melhoramento), tal qual o realizado por Willadino et al., 1999 com milho, ou ainda os mecanismos de tolerância e as mudanças morfológicas e/ou fisiológicas decorrentes da salinidade. Os efeitos da salinidade sobre a produção vendável, que na prática é de maior interesse aos agricultores, é um tema pouco abordado. Além disso, extrapolar os valores de tolerância aos sais, determinados nos cultivos em solo, para o hidropônico seria um equívoco, podendo representar sub-aproveitamento das potencialidades das águas e das espécies de interesse.

Devido à escassez de produtos registrados para controle fitossanitário em ambiente protegido e em hidroponia (RODRIGUES, 2002), também se justificam pesquisas com águas salobras nos cultivos hidropônicos, considerando que as águas subterrâneas, mesmo salobras, podem ter melhor qualidade biológica que as águas superficiais (STEEL, 1966), prevenindo-se um dos gargalos deste tipo de cultivo (doenças disseminadas via água) (RODRIGUES, 2002) e também contribuindo para menores contaminações ambiental e alimentar provocadas por defensivos.

A poluição ambiental pode ser uma desvantagem da hidroponia quando se projeta o descarte da solução nutritiva. Nos sistemas abertos esse problema é maior e alguns países, como a Alemanha, já começaram a proibir esse tipo de sistema (RODRIGUES, 2002). Em sistemas fechados, o problema é menor, mas também existe, especialmente quando a solução nutritiva envelhecida é descartada no solo. Além do custo ambiental, Rodrigues (2002) estima que do gasto com água e fertilizantes, correspondentes a R\$ 1,00 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, cerca de 80 centavos são perdidos no descarte da solução não reaproveitada.

Considerando que esse problema deve ser mais sério quando se usa água salobra, tendo em vista o envelhecimento mais rápido da solução, poder-se-ia efetivar, com o descarte da hidroponia, a agricultura bio-salina em solo ou ainda em instalação hidropônica própria. Se nesse tipo de agricultura plantas tolerantes aos sais e/ou halófitas podem ser exploradas com sucesso em solo, como informado por Fernandes, Gheyi e Medeiros (2005), com a hidroponia, plantas glicófitas e sensíveis aos sais poderiam também ser inseridas na atividade produtividade, com a vantagem de serem espécies que usualmente levam à maior agregação de valor nos produtos gerados, quando comparadas às halófitas. Mais do que atividade econômica complementar, essa



atividade ajudaria na prevenção e remediação da salinização do solo e de reservas hídricas, como previsto por McKersie e Leshem (1994).

Segundo Jarvis (1992) apud Rodrigues (2002), o *Phytium ultimum* não desenvolve muito bem em meio com condutividade elétrica de  $4,3 \text{ dS m}^{-1}$  e a infecção desse patógeno em pepineiros e tomateiros diminuiu com o aumento da CE. Para outros patógenos, foi observado o oposto. Mas, a observação torna-se interessante aos usuários de águas salobras, uma vez que o *Phytium* é o principal patógeno da produção hidropônica de alface.

### **2.1.9 Maior tolerância ao estresse salino na hidroponia**

Imaginando um cenário no semi-árido nordestino: no início do período chuvoso, o agricultor semeia milho em 20 hectares. As plântulas crescem pujantes e rapidamente. Após chuvas intensas e concentradas em poucos dias durante o curto período chuvoso, o solo, por ser raso e pouco intemperizado, está saturado e o lençol freático próximo à superfície. Falta oxigênio às plantas (estresse por hipoxia). Cessadas as chuvas, a elevada radiação solar, mediante a evaporação, faz se concentrar os sais, dissolvidos nas camadas superficiais e também presentes na franja capilar. Com a continuidade dos dias de estiagens, intensifica-se a evapotranspiração e o solo se torna cada vez menos úmido e mais concentrado em sais. Falta água às plantas (estresse pela desidratação e estresse por efeito osmótico). Em virtude dos íons sódio e cloreto trazidos pela elevação do lençol freático, as plantas passam a assimilá-los em altas concentrações nos tecidos (estresse mineral por toxidez), o que dificulta a absorção de íons essenciais (estresse mineral por deficiência nutricional). A temperatura do ar começa a subir e, em função da menor umidade do solo, os estômatos se fecham. Com isso, tem-se menor transpiração e, em consequência, a temperatura foliar aumenta (estresse térmico) e há menor absorção de nutrientes. A restrição às entradas de  $\text{CO}_2$  e nutrientes conduz à menor produção de fotoassimilados. A produtividade fica comprometida. Após o pujante crescimento inicial, as plantas começam a fenecer. A produtividade final corresponde apenas à de 2 hectares irrigados. E a qualidade das espigas dificultará a comercialização. Se não valer como a subsistência, nem se acumulará o custo da colheita.

No reino vegetal, a condição “sem estresse” raramente existe, se existe (GRIERSON, 1999 apud EPSTEIN; BLOOM, 2006). Nesse sentido, Epstein e Bloom (2006) preferem não pensar nas plantas como sendo estressadas e não estressadas, mas, como organismos que vivem dentro

de uma variação contínua, que vai de muito benigna a severamente adversa. Além disso, a situação para uma planta frequentemente não é estática ou permanente, variando muito no espaço ou no tempo.

Citando um provérbio chinês que diz que fortunas não vêm aos pares, e transtornos não vêm sozinhos, Epstein e Bloom (2006) reforçam que estresses ambientais frequentemente ocorrem em conjunto. Por exemplo, a salinidade pode induzir desidratação. A desidratação pode induzir estresse por aumento de temperatura. Aumento de temperatura pode induzir deficiências de nutrientes.

Para tornar menos confuso o conceito de estresse, Taiz e Zeiger (2004) definem estresse como um fator externo, que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta, sendo geralmente medido em relação à sua sobrevivência, à produtividade agrícola, ao acúmulo de biomassa ou ao processo primário de assimilação (absorção de CO<sub>2</sub> e de minerais). Segundo os mesmos autores, o conceito de estresse está intimamente ligado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão<sup>4</sup> da planta para enfrentar um ambiente desfavorável.

Como exposto anteriormente, a salinidade leva à seca fisiológica, que está relacionada à redução da absorção de água pelas raízes, mesmo quando o solo está úmido. Além disso, à medida que um solo perde umidade, há concentração de sais e o efeito da salinidade é maior. Portanto, o estudo do potencial total da água no solo ajuda a entender o estresse hídrico no que diz respeito à falta de água pelo seu esgotamento (secamento) e pelo efeito osmótico.

Da segunda década à metade do século XX, foi desenvolvido o conceito de “continuum” ou sistema solo-planta-atmosfera, que enfatiza as interrelações dos fatores edáficos, vegetais e atmosféricos na regulação das condições hídricas das plantas (ANGELOCCI, 2002). A transferência da água no ‘continuum’ é usualmente descrita em base termodinâmica.

As propriedades das soluções são descritas pelo conceito termodinâmico do potencial químico, como primeiro exposto por J. Willard Gibbs (1875-1876) (KRAMER; BOYER, 1995). Todas as coisas vivas, incluindo as plantas, requerem uma adição contínua de energia livre para aumentarem e repararem suas estruturas altamente organizadas, assim como, para crescerem e se reproduzirem. Processos como reações bioquímicas, acúmulos de solutos e transporte a longa distância são todos movidos por um acréscimo de energia livre na planta.

---

<sup>4</sup> Aptidão se refere a um nível de resistência geneticamente determinado, adquirido por um processo de seleção durante muitas gerações. É diferente de aclimação, que é o aumento da tolerância como consequência da exposição anterior ao estresse (TAIZ ; ZEIGER, 2004).

O potencial químico da água é uma expressão quantitativa da energia livre a ela associada. Em termodinâmica, energia livre representa potencial para realizar trabalho. Observa-se também que o potencial químico é uma grandeza relativa: ela é expressa como a diferença entre o potencial de uma substância em um determinado estado e o potencial químico da mesma substância em um estado padrão (ANGELOCCI, 2002; LIBARDI, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Interessantemente, as respostas fisiológicas das plantas ao estresse hídrico parecem mais relacionáveis à umidade do solo do que ao próprio potencial da água na parte aérea (EPSTEIN; BLOOM, 2006; SINCLAIR; LUDLOW, 1985; PASSIOURA, 2002). Uma hipótese atual é a de que o pH da seiva do xilema serve como um sinal entre raízes e parte aérea. Condições estressantes da rizosfera alteram rapidamente o balanço de nutrientes nas raízes, o que, por sua vez, diminui o bombeamento de prótons para o sistema vascular, aumentando então o pH da seiva do xilema (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

De qualquer forma, demonstra-se o importante papel da umidade do solo sobre a fisiologia na parte aérea das plantas. O sinal para fechamento de estômatos a partir do solo leva à redução da transpiração e, portanto, à diminuição da produtividade, já que a entrada de CO<sub>2</sub> atmosférico via foliar e de nutrientes via sistema radicular, depende, dentre outros fatores, da transpiração (“continuum”).

Em base termodinâmica, o potencial químico da água presente no solo pode ser estimado conforme a eq. (4) (REICHARDT e TIMM, 2004). Nessa equação, fica exposto que o potencial químico da água é dado pelo somatório de componentes.

$$\psi_{TOTAL} = \psi_G + \psi_P + \psi_M + \psi_{OS} + \psi_T \quad (4)$$

em que:

$\psi_{TOTAL}$  = potencial total da água, kPa;

$\psi_G$  = potencial gravitacional da água, kPa;

$\psi_P$  = potencial de pressão da água, kPa;

$\psi_M$  = potencial mátrico da água, kPa;

$\psi_{OS}$  = potencial osmótico da água, kPa;

$\psi_T$  = potencial de temperatura da água, kPa.

Par medir o potencial gravitacional num dado ponto de um perfil de solo, basta medir a distância vertical deste ponto até à referência gravitacional escolhida. Para pontos acima da referência, têm-se potenciais gravitacionais positivos. Para pontos abaixo, têm-se potenciais negativos (LIBARDI, 2006). No limite inferior da camada de solo explorada pelo sistema radicular (profundidade efetiva das raízes), o potencial gravitacional da água será corresponde à altura dessa camada, em se mantendo a referência na superfície do solo. Assim, por exemplo, para a cultura da alface, que tem profundidade efetiva das raízes igual a 0,3 m, o  $\psi_G$  será variável de 0 até -0,3 m. Caso, o  $\psi_G$  seja inferior à -0,3 m, pode-se falar que a água for perdida por percolação. Na hidroponia do tipo NFT, considerando que as raízes crescem horizontalmente e que a altura da característica lâmina corrente seja no máximo 4 cm (em tubulações projetadas para a cultura da alface, por exemplo), o potencial gravitacional variará de 0 até -0,04 m. Nesse caso, percebe-se que para um mesmo volume de água disponível em ambos os sistemas, a energia livre da água será menor no solo, em se mantendo constantes os demais componentes do potencial total da água.

O potencial de pressão ocorre no caso em que o solo esteja numa condição de saturação e à exceção da ausência de saturação ocorre somente quando o solo for expansivo. Para a condição de saturação, o  $\psi_p$  num ponto do perfil representa a pressão da água (hidrostática) atuando sobre esse ponto, sempre apresentando valor nulo ou positivo, o que somente aumenta a energia livre da água (LIBARDI, 2006; MIRANDA; GONÇALVES; CARVALHO, 2001). A referência é considerada como a superfície livre da água submetida à pressão atmosférica ( $\psi_p = 0$ ). Pode-se ter uma lâmina d'água sobre o solo saturado, como na irrigação por inundação. E se pode ter a presença de lençol freático elevado saturando parte do perfil do solo. Em ambos os casos, tem-se uma condição desfavorável à maioria das culturas, sendo o mais comum a presença de lençol freático ou de uma sub-camada saturada. Para a cultura da alface, por exemplo, caso haja saturação em metade da profundidade efetiva das raízes, o  $\psi_p$  variará de 0 até +0,15 m. A permanência da saturação do solo prejudica o desenvolvimento dessa cultura, razão pela qual se deve buscar o  $\psi_p = 0$ , em detrimento do aumento da energia livre da água. No caso da hidroponia, pode-se ter a contribuição do  $\psi_p$  para o aumento da energia livre da água sem a ocorrência de hipoxia, já que nesse sistema a saturação é compensada pela aeração e oxigenação.

Para o sistema NFT, a variação do  $\psi_p$  vai de 0 até +0,04 m, o que corresponde à altura da lâmina corrente. Em sistema DFT, a lâmina de solução nutritiva pode chegar à 0,25 m.

Mingoti et al. (2006) mostraram ser a alface ‘Verônica’ sensível ao encharcamento ao avaliar sua produção em Latossolo Vermelho-Amarelo Álico (71 % areia, 7 % silte e 22 % argila).

O componente potencial mátrico representa as forças de retenção entre a matriz do solo e as moléculas de água. Dessa maneira, está diretamente relacionado com a umidade do solo, sendo tanto menor quanto mais seco estiver o solo. Essa interação diz respeito aos fenômenos da capilaridade e da adsorção, os quais conferem à água estados de energia menores que o da água livre sob pressão atmosférica, de forma que o seu valor é sempre negativo. Em condições de saturação, os poros presentes no solo estarão totalmente ocupados com água, não existindo, portanto, a interface ar-água, e anulando também as forças entre a matriz do solo e as partículas da água, o que torna o  $\psi_M$  nulo. À medida que o solo vai secando, a capilaridade começa a atuar, e o  $\psi_M$  vai se tornando mais negativo, contribuindo para diminuir a energia livre da água (LIBARDI, 2006; MIRANDA; GONÇALVES; CARVALHO, 2001). Em condições de campo, para mensurar o  $\psi_M$  se utiliza o tensiômetro. Para fins de manejo da irrigação, o valor do  $\psi_M$  é usado para estimar a umidade do solo mediante a curva característica do solo. As culturas respondem diferentemente à depleção da água disponível no solo e para cada cultura há um  $\psi_M$  crítico, que indica o momento de uma nova irrigação. Para a cultura da alface, por exemplo, que suporta uma depleção de 30 % na água disponível do solo, o  $\psi_M$  crítico é -20 kPa. Portanto, para seu cultivo, o  $\psi_M$  deve ser idealmente mantido entre 0 e - 20 kPa. Em condições de campo, não é incomum se ultrapassar o  $\psi_M$  crítico em virtude da rapidez com que o solo perde água, o que nem sempre se compatibiliza com sistemas de irrigação não automatizados. O importante é não permitir o prolongamento de níveis de  $\psi_M$  aquém do crítico. Por sua vez, no cultivo hidropônico do tipo NFT, as raízes estão em meio aquoso, não havendo os fenômenos de capilaridade e adsorção. Tal qual um solo saturado, na hidroponia NFT, o  $\psi_M$  é nulo. E, portanto, a energia livre ponderada no tempo (entre um evento de irrigação e outro) é menor no cultivo convencional em solo que na hidroponia, mesmo sob o regime de irrigações frequentes. Quando não se faz o manejo da irrigação via  $\psi_M$  crítico, mas via turno de rega por exemplo, a variação do  $\psi_M$  pode

ser ainda maior, podendo representar maior submissão das plantas à diminuição da energia livre da água no solo.

O termo potencial osmótico em geral é desprezível na maioria das regiões agrícolas do Brasil, com exceção dos solos de regiões áridas e semi-áridas do Nordeste (MIRANDA; GONÇALVES; CARVALHO, 2001). Em geral, diferenças de  $\psi_{os}$  entre dois pontos não causam movimento significativo de água, mas sim de solutos. Seria o que ocorre entre dois pontos no solo. Por outro lado, quando há a presença de membrana semipermeável, há restrição de movimento para alguns íons e há movimentação de água para o ponto em que a concentração de água é menor. É o que ocorre entre a planta e o solo. Trata-se do mesmo processo descrito anteriormente sobre dessalinização: a osmose. No caso da água no solo, o  $\psi_{os}$  diz respeito à pressão necessária para impedir a osmose (pressão osmótica), mas com sinal negativo, pois, considerando a água pura como referência, a presença dos solutos leva à diminuição da energia livre da água e, por conseguinte, o  $\psi_{os}$  é sempre nulo ou negativo. Em cultivos comerciais, o  $\psi_{os}$  precisa variar de um valor mínimo até um máximo tolerado pelas culturas. Quando o  $\psi_{os}$  está além do  $\psi_{os}$  mínimo, sinaliza-se a falta de nutrientes (solutos essenciais) às plantas, o que deverá implicar em menor nível de produtividade, daí a necessidade das adubações de fundação e de manutenção. Por outro lado, quando o  $\psi_{os}$  se encontra aquém do  $\psi_{os}$  máximo, há indicação de problemas relacionados à salinidade, também implicando negativamente na produtividade. Em cultivo convencional baseado no solo, o  $\psi_{os}$  equivalente ao nível ótimo de adubação não é estático, sendo estabelecido apenas quando o solo está na capacidade de campo. À medida que o solo seca, o  $\psi_{os}$  diminui. Ao se cultivar com base no  $\psi_{os}$  máximo medido na capacidade de campo, a oscilação entre esse limiar e valores de  $\psi_{os}$  ainda menores poderá ser muito prejudicial à produtividade, à medida que se deixa o solo perder água entre as irrigações. Para a cultura da alface cultivada em solo com CE de 2 dS m<sup>-1</sup> (1.280 mg L<sup>-1</sup>; -72 kPa) medida na capacidade de campo, sendo disponibilizado 1,5 L de solução do solo por planta, uma redução de 30 % na água disponível (fator de depleção da alface = 0,3), implica no alcance de uma CE de 2,86 dS m<sup>-1</sup> (1.828 mg L<sup>-1</sup>; -103 kPa). No caso da hidroponia NFT, não há aumento do  $\psi_{os}$  por concentração, desde que o reservatório tenha abastecimento de água constante. O potencial osmótico da solução nutritiva pode ser calculado pela eq. (5) de Van't Hoff.

$$\psi_{os} = -PO = m \times i \times R \times T \quad (5)$$

em que:

PO = pressão osmótica, atm;

m = número de moles, moles;

i = correção devido à ionização do sal (constante de dissociação do produto multiplicado pelo número de moles de íons fornecidos pelo sal);

R = constante dos gases (0,0823 atm L ° K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>), atm;

T = temperatura em graus Kelvin (correspondente à temperatura ° C + 273), ° K.

O cálculo da pressão osmótica total é dado pelo somatório das pressões osmóticas parciais de cada sal adicionado (RODRIGUES, 2002) e/ou presente na água.

O potencial de temperatura diz respeito à variação de temperatura do sistema considerado e a temperatura do estado tomado como padrão. Devido ao efeito complexo da temperatura sobre o potencial químico de um sistema, normalmente esse componente não tem sido considerado nos estudos que envolvem a energia livre da água. Portanto, assume-se que os sistemas são aproximadamente isotérmicos, nos quais a influência da temperatura pode ser desprezada. Com isso, a fase padrão deve estar sempre à mesma temperatura que a fase considerada (ANGELOCCI, 2002; LIBARDI, 2006). Nesse sentido, será assumido que o  $\psi_T$  é nulo. E não há diferença<sup>5</sup> entre a hidroponia e o solo, em relação a esse componente.

Feitas essas considerações, espera-se que na hidroponia o  $\psi_{TOTAL}$  da água seja maior que no solo sob condições iso-osmóticas à capacidade de campo, devendo isso implicar na maior tolerância das plantas aos sais.

### 2.1.10 Cultivo de alface sob salinidade

Obviamente, a orientação primeira do agricultor para definir as espécies a cultivar vem do mercado. Mas, para se aproveitar águas salobras, dever-se-á, preferencialmente, escolher as culturas e cultivares mais tolerantes e de ciclo curto, pois assim os efeitos prejudiciais da salinidade à produção seriam menores. Também se torna interessante explorar culturas mais rentáveis, capazes de cobrir os custos associados à preservação ambiental, sendo adaptáveis às

---

<sup>5</sup> Essa consideração precisa ser melhor avaliada.

condições climáticas locais e ao modelo de sustentabilidade baseado na agricultura intensiva como previsto anteriormente.

Nesse sentido, na eleição de culturas que podem ser produzidas em hidroponia com o uso de águas salobras, seleciona-se a alface (*Lactuca sativa* L.) como uma das mais interessantes.

A cultura da alface é classificada como moderadamente sensível à salinidade do solo pela FAO (AYERS; WESTCOT, 1999), apresentando salinidade limiar de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  e redução no rendimento de 13 % para cada acréscimo unitário na salinidade acima da limiar. Essa espécie se destaca como a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil (CEASA-CAMPINAS, 2006), apresentando um ciclo de apenas 50 a 70 dias após semeadura. Além disso, a alface também se sobressai como a espécie mais cultivada em cultivos hidropônicos no Brasil, representando 80% da produção nesse sistema de cultivo (FURLANI, 1999). E, curiosamente, contrariando a classificação de tolerância para cultivo em solo apresentada por Ayers e Westcot (1999), a literatura especializada em hidroponia (RODRIGUES, 2000; RESH, 1992) aponta a alface como hortaliça tolerante à salinidade, podendo, inclusive, haver efeito benéfico dos sais ao proporcionarem maior firmeza às plantas (RODRIGUES, 2002).

Além do ciclo curto e do amplo mercado, uma outra característica da cultura da alface que a torna muito atrativa aos agricultores é sua possibilidade de produção durante todo o ano, o que se atribui à adaptabilidade de suas inúmeras cultivares às diferentes condições climáticas. Em relação à salinidade do solo, as diferenças varietais também parecem importantes para a alface. Os próprios Ayers e Westcot (1999), em referência a Maas e Hoffman (1977), afirmam que os valores que apresentam devem ser considerados apenas como de tolerância relativa entre grupos de cultura. Em seu estudo, Maas e Hoffman (1977) apontam como fatores capazes de influenciar a tolerância aos sais pelas plantas: estágio de desenvolvimento da cultura; variedades e porta-enxertos usados; fertilidade do solo; umidade do solo; aeração e; condições climáticas.

Shannon, McCreight e Draper (1983) e Shannon e McCreight (1984) verificaram diferenças entre cultivares de alface quanto à salinidade. Pasternak et al. (1986), trabalhando com níveis de salinidade obtidos pela adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> (3:1 em base gravimétrica), também verificaram essas diferenças. Além disso, para suas cultivares mais sensíveis, Pasternak et al. (1986) encontraram um valor de salinidade limiar igual a  $1,98 \text{ dS m}^{-1}$  e uma diminuição no rendimento de 5,6 % para cada aumento unitário na salinidade acima da limiar. Considerando as categorias definidas por Maas e Hoffmann (1977), Pasternak et al. (1986) reclassificaram a alface para a



categoria de plantas resistentes aos sais. A discrepância dos resultados é explicada por Pasternak et al. (1986) como resultado das diferenças na condução da cultura. Enquanto eles empregaram irrigação por gotejamento, os dados apresentados por Maas e Hoffmann (1977) foram obtidos com irrigação por sulco ou por aspersão.

Se a tolerância da alface aos sais muda em função do método de irrigação, para o cultivo hidropônico em relação ao convencional em solo também pode haver diferença na tolerância. Entretanto, informações de experimentos conduzidos sob as mesmas condições de contorno (genótipo, clima, estado fitossanitário etc) e contrastando ambos os sistemas de produção são indisponíveis.

Os poucos trabalhos existentes tratam da salinidade sobre a cultura da alface ou em condições de solo (AYERS et al., 1951; PASTERNAK et al., 1986; PAPADOPOULOS, 1987; BELTRÃO; TRINDADE; CORREIA, 1997; FERREIRA et al., 1998; GERVÁSIO; CARVALHO; SANTANA, 2000; BELTRÃO; JESUS, PANAGOPOULOS, 2002; VIANA et al., 2004) ou, ainda mais raros, em hidroponia (FEIGIN et al., 1991; HUETT, 1994; SERIO et al., 2001; ACHILEA, 2003; MICELI; MONCADA; D'ANNA, 2003; TESI; LENZI; LOMBARDI, 2003; TAS; PAPADANDONAKIS; SAVVAS, 2005; ANDRIOLO et al., 2005). Tentativas de comparação das tolerâncias obtidas nos dois sistemas de produção a partir desses trabalhos isolados podem levar a conclusões equivocadas, considerando que os parâmetros da tolerância são distintos em cada sistema.

No Sul do Brasil, Andriolo et al. (2005) investigaram o crescimento da alface em hidroponia, utilizando cinco níveis de salinidade obtidos pela variação da concentração da solução nutritiva, portanto, sem uso de íons tóxicos. Os autores registraram salinidade limiar igual a  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  e redução linear de  $14,9 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ , valores mais elevados que os indicados por Ayers e Westcot (1999) para cultivo em solo, o que, desconsiderando efeitos da genética e do clima, podem indicar uma maior tolerância aos sais pela espécie, não apenas em função da fonte salina, mas também em decorrência das diferenças existentes entre os sistemas hidropônico e convencional.

Tomando como base o trabalho de Andriolo et al. (2005) e as preconizações de Furlani (1998) e Furlain et al. (1999), a condutividade elétrica da solução nutritiva deve ser cerca de  $2 \text{ dS m}^{-1}$ . Cultivando alface em diferentes CEsol, Filgueiras; Takahashi; Beninni (2002) mostraram ser possível obter plantas de qualidade e boa produtividade usando soluções com  $1 \text{ dS m}^{-1}$ .

Como justificam Andriolo et al. (2005), os resultados de pesquisas com salinidade em hidroponia para a cultura da alface são escassos na literatura. Na Itália, Tesi; Lenzi e Lombardi (2003) estudaram os efeitos da salinidade, provocada por NaCl, e do nível de oxigênio no cultivo flutuante da alface utilizando solução hidropônica com  $CE_s$  de  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Observaram que os efeitos da salinidade são mais pronunciados na ausência de aeração da solução nutritiva, registrando, neste caso, diminuição no acúmulo de massa de matéria fresca e seca da parte aérea ao utilizarem, respectivamente, solução nutritiva com  $CE_s$  de  $4,6 \text{ dS m}^{-1}$  e  $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ . Com aeração, estes autores não registraram diferenças nos acúmulos de massa de matéria seca da parte aérea e das raízes usando soluções nutritivas com até  $5,8 \text{ dS m}^{-1}$ . Por outro lado, os autores observaram com a aeração da solução sintomas de 'tip burn', um conhecido distúrbio fisiológico na alface relacionado à deficiência de cálcio. Para as plantas não aeradas, essa deficiência foi menos registrada, o que segundo Sonneveld (1988) apud Tesi; Lenzi e Lombardi (2003), deve-se ao fato de que sob salinidade o crescimento da alface diminui e assim o suprimento de cálcio nas folhas jovens pode tornar-se adequado à taxa de crescimento e, paradoxalmente, ser prevenido o distúrbio fisiológico.

Benoit e Ceustermans (1989) apud Koefender (1996) afirmaram que não é fácil estabelecer uma relação segura entre a concentração de nutrientes estimada pela CE da solução e a produtividade de plantas tenras. Se a CE for alta, consegue-se obter plantas bem desenvolvidas mais quebradiças, se a CE for baixa as plantas desenvolvem-se bem, ficando mais macias, porém aparece queima dos bordos.

Trabalhando com CE variando de  $1,5$  a  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ , Burrage e Varley (1980) apud Koefender (1996) encontraram grande uniformidade em plantas de alface, sendo que as queimas nos bordos foliares diminuíram com o aumento da salinidade. Esse resultado contraria os de Huett (1994) e Willumsen (1984) apud Huet (1994), que atribuíram à constante diminuição da salinidade a redução da severidade desse tipo de sintoma. Ambos os pesquisadores mostraram também que diminuindo a relação K:Ca na solução nutritiva diminui-se a gravidade da queima. Creswell (1991) e Huett (1994) provaram que o aumento do acúmulo de cálcio nas folhas leva à diminuição da queima dos bordos.

As folhas mais novas que contêm as menores concentrações de cálcio são as mais suscetíveis à queima dos bordos (THIBODEAU; MINOTTI, 1969). Segundo Creswell (1991),

baseado na presença consistente de sintomas em folhas jovens de alface, a concentração marginal de cálcio varia de 2,6 a 3,8 g kg<sup>-1</sup>.

Assim como ocorre com outras culturas, a produtividade da alface também pode ser melhorada em condições de salinidade mediante a aplicação de alguns fertilizantes. Achilea (2003), cultivando, em sistema de aeroponia, alface ‘Salinas’ com solução nutritiva salinizada à 6 dS m<sup>-1</sup> (34 e 9 mM de NaCl e CaCl<sub>2</sub>, respectivamente), demonstrou que a aplicação de nitrato de potássio aos níveis de 1 e 5 mM resultou em produções de massa de matéria fresca equivalentes a 113 e 127 %, em relação às plantas não tratadas com esse fertilizante. Apesar de não demonstrado pelo autor, a produtividade equivalente às plantas não salinizadas (CEsol = 1,8 dS m<sup>-1</sup>), pode ser estimada em cerca de 90 % quando se aplicou 5 mM de nitrato de potássio.

Como forma de empregar as cultivares de interesse em condições de salinidade, pode-se combinar a aplicação de corretivos químicos visando mitigar os efeitos de íons específicos, sobretudo Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup>. Esse tipo de controle foi postulado (ADAMS; DOERGE, 1987; KAFKAFI, 1984; RAVIKOVITCH; YOLEN, 1971), e um dos fatos que suporta a hipótese é o antagonismo entre íons (K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>; Ca<sup>+2</sup> e Na<sup>+</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>). Para tanto, o incremento do efeito osmótico deve ser compensado pelo benefício dessa mitigação. Conforme Feigin et al. (1991), as diferenças nas respostas envolvendo a aplicação de corretivos, respostas positivas e negativas, parecem ser atribuídas às distintas combinações de salinidade e manejo nutricional. Nesse sentido, torna-se importante averiguar o efeito corretivo em cada situação.

Outro aspecto interessante da salinidade em alface diz respeito à segurança alimentar. A partir de amostras coletadas na Coreia, Chung, Jin e Cho (2005) avaliaram a relação existente entre a salinidade do solo em ambiente protegido e o acúmulo de nitrato em alface. Os autores partiram da premissa que sob ambiente protegido, onde não se tem lixiviação do excesso de sais fertilizantes, deve haver ajuste osmótico pelas plantas para facilitar a absorção de água. Em função da menor intensidade luminosa nesse tipo de ambiente, tem-se menor acumulação de fotoassimilados nas plantas, o que se compensa pela acumulação de nitrato. Em seu trabalho, Chung, Jin e Cho (2005) demonstraram haver uma função osmótica regulatória do nitrato, em substituição aos compostos orgânicos, no desenvolvimento da alface onde a intensidade de luz e o potencial da água no solo são baixos. Esses resultados são importantes para estudos envolvendo salinidade e segurança alimentar, pois, o excesso de nitrato na dieta provoca riscos à saúde,

considerando-se aceitável (CHUNG; JIN; CHO, 2005) um consumo diário máximo de 3,65 mg kg<sup>-1</sup> de peso corpóreo.

Trabalhando com hidroponia, entretanto, Tesi, Lenzi e Lombardi (2003) observaram redução na acumulação de nitrato pela alface submetida à salinidade.

Visando melhorar o desempenho da alface em condições salinas, começam a surgir na literatura trabalhos envolvendo não apenas marcadores moleculares, mas também transgenia. Park et al. (2005) produziram plantas transgênicas de alface resistentes à salinidade e ao estresse hídrico. Os autores introduziram gene de *Brassica napus* em alface usando transformação mediada por *Agrobacterium tumefaciens*. Após dez dias sob 100 mM de NaCl em hidroponia, as plantas transgênicas apresentaram em média 2,8 cm de altura e 2,5 g planta<sup>-1</sup> de massa de matéria seca, enquanto as plantas não transformadas 0,2 cm e 0,3 g planta<sup>-1</sup> de massa de matéria seca.

#### **2.1.11 Estrutura experimental de cultivo hidropônico NFT**

Em muitos casos, as pesquisas envolvendo diferentes lâminas de irrigação ou diferentes doses de nutrientes na fertirrigação tornam-se operacionalmente complicadas e onerosas quando mais de um fator conforma os tratamentos (experimentos em fatorial), pois, o número de reservatórios, registros e de outros acessórios hidráulicos é elevado quando se procura respeitar os dois princípios básicos e compulsórios da experimentação: a aleatorização e a repetição dos tratamentos.

Em virtude disso, os pesquisadores são obrigados a conduzir suas pesquisas em configurações estatísticas menos usuais, como os experimentos em parcelas subdivididas e os experimentos em faixas, o que leva à menor precisão das comparações dos tratamentos principais, além das mesmas desvantagens dos experimentos em fatorial (PIMENTEL-GOMES, 2000; FERREIRA, 2000; BANZATTO; KRONKA, 1989). Por outro lado, outros pesquisadores sacrificam os princípios anteriormente citados, chegando a resultados que até permitem importantes inferências, mas não levam às conclusões categóricas. Outro aspecto importante relacionado ao tema exposto é o envolvimento de um menor número de grupos de pesquisa em torno do objeto de investigação.

Experimentos envolvendo o uso de águas salobras podem recair na mesma problemática. E, quando são instalados em sistema hidropônico de circulação fechada, como na técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT), tornam-se ainda mais complexos, pois, os reservatórios de cada

tratamento devem ser independentes, visando a preservação dos tratamentos. Além disso, a utilização de apenas uma unidade de bombeamento para todas as parcelas somente torna-se possível se os tratamentos não são submetidos concomitantemente, o que pode não ser interessante à pesquisa. Com uma única bomba, pressupõe-se ainda a lavagem do sistema após cada tratamento, constituindo-se outro complicador do manejo. Já a possibilidade de utilização de uma bomba para cada tratamento implica em gastos com acessórios e tubulações que devem se estender até cada uma de suas repetições. E nesse caso, variáveis como pH, condutividade elétrica, concentração específica de nutrientes, consumos hídrico diário e total, são avaliadas apenas em função de um único valor médio, prejudicando a análise estatística. Tal desenho também leva à perda do tratamento, e não apenas à parcela perdida, caso a solução nutritiva seja comprometida por algum motivo, podendo representar um enorme prejuízo estatístico ou mesmo a inviabilidade do ensaio.

Tratando de hidroponia, Martinez (1997) ressalva que apesar do cultivo em água, areia lavada ou quartzo moído ser muito comum em pesquisas na área de nutrição mineral de plantas, as técnicas empregadas em experimentos não são atrativas para a exploração comercial. Essa é uma observação importante, pois, na maioria dos cultivos comerciais brasileiros de alface e de hortaliças folhosas em hidroponia se utiliza a técnica NFT (FURLANI, 1999; RODRIGUES, 2002). Nesse sentido, para tornar-se mais pragmática comercialmente a pesquisa científica em hidroponia deveria ser conduzida em estruturas que reproduzam o sistema NFT de cultivo.

Para uma mesma cultivar e sob um mesmo tipo de solo, é possível obter diferentes valores de tolerância aos sais, em função do manejo da água adotado na condução da cultura. Essa distinção na tolerância é ressaltada e prevista por Ayers e Westcot (1999). Particularmente para estudos envolvendo o uso de águas salobras no sistema NFT, seria equívoco não apenas extrapolar a tolerância aos sais obtida em solo, mas também a tolerância em outros sistemas hidropônicos. Por exemplo, já se demonstrou haver diferenças na produção da alface sob salinidade em função da oxigenação da solução (Tesi; Lenzi e Lombardi, 2003), que por sua vez deve ser função do tipo de sistema hidropônico.

A montagem de uma estrutura experimental, de baixo custo, que concilie o arranjo dos cultivos comerciais com obediência aos requisitos estatísticos é um ponto crítico das pesquisas em hidroponia do tipo NFT quando os tratamentos estão presentes, ou são ministrados, na

solução nutritiva. Nesse contexto, é fundamental a construção de uma estrutura experimental para condução de pesquisas envolvendo a utilização de águas salobras na produção de hortaliças folhosas em sistema hidropônico NFT.

### **2.1.12 Análise econômica da produção hidropônica usando águas salobras**

A irrigação é normalmente utilizada para viabilizar a exploração agrícola em regiões de clima semi-árido, em regiões com secas regulares, ou ainda, em regiões com secas esporádicas (veranicos), onde provê estabilidade da produção, minimizando os efeitos adversos provocados pela deficiência hídrica nas culturas e, conseqüentemente, os riscos econômicos associados (SENTELHAS, 2001).

Para definir estratégias ótimas de irrigação, durante muitos anos, as pesquisas tentaram relacionar as produções das culturas à quantidade de água, guiadas por várias idéias sobre o nível desejável de uso da água (FRIZZONE, 1998). Conforme Vaux e Pruitt (1983) apud Frizzone (1998), três conceitos gerais podem ser identificados. Primeiro, aquele contido em trabalhos, cujo objetivo era estabelecer o nível de irrigação para se alcançar o rendimento máximo. Com esse objetivo, fica implícito que a disponibilidade de água não é fator limitante. Outra corrente é a de máxima eficiência de uso da água, isto é, do rendimento da cultura maximizando por unidade de volume de água aplicado. Por essa teoria, pressupõe-se que a disponibilidade de água é fator limitante da produção. Finalmente, outro conceito propõe que a quantidade de água a ser usada na irrigação seja selecionada no ponto da região econômica de produção, onde a produtividade marginal da água for igual a seu preço. De acordo com esse pressuposto, a disponibilidade de terra é limitante da produção e a estratégia ótima de irrigação consiste em maximizar a receita líquida por unidade de área.

Segundo Frizzone et al. (2005), uma irrigação ótima implica em menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena, com conseqüente redução da produtividade máxima da cultura, porém, com algumas vantagens significativas, sejam monetárias, como o aumento da receita líquida (diminuindo os custos variáveis de bombeamento, por exemplo) e não monetárias, como a redução dos impactos ambientais relacionados à irrigação plena (diminuindo a contaminação das águas subterrâneas com defensivos e fertilizantes). Por outro lado, esse conceito de irrigação com déficit não é adotado pelos irrigantes, e mesmo na literatura especializada não é muito explorado.

Segundo Cuenca (1989) apud Frizzone et al. (2005), a busca da irrigação ótima pode aumentar o risco de uma grande redução da produtividade devido às inesperadas falhas do equipamento de irrigação ou à ocorrência de condições climáticas adversas.

Como ressaltado por Yaron e Bresler (1983) apud Frizzone (1998), para explorações intensivas de culturas de alto valor econômico, como flores, hortaliças, frutíferas, deve-se aplicar irrigação para máxima produtividade, não sendo a irrigação com déficit tão vantajosa.

Considerados os riscos e as incertezas presentes no enfoque da otimização da irrigação, deve-se ponderar ainda pela salinidade do solo e/ou das águas salobras como fator complicador da adoção dessa técnica. Como a fração de lixiviação é preconizada para se mitigar os problemas da salinidade (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 2000), o excesso de água fere o princípio da irrigação com déficit otimizada. Esse desafio também fica esclarecido por Frizzone et al. (2005).

Nesse sentido, na presença da salinidade, deve-se, por enquanto, racionalizar a aplicação da lâmina de irrigação corrigida pela fração de lixiviação. Essa imposição operacional é recompensada pela máxima produtividade, mas assume o custo do maior gasto de água, além de não se isentar os impactos ambientais.

Levando em conta a água como fator limitante, quantitativa e também qualitativamente, no semi-árido brasileiro, reforça-se a necessidade de avaliar o sistema hidropônico, já que essa técnica pode embutir maior eficiência no uso da água, além de poder permitir menor impacto ambiental.

Custo de oportunidade é definido como o valor de um recurso em seu melhor uso alternativo. Observa-se que nessa definição, o custo de oportunidade independe de quem está usando os recursos. O custo de oportunidade decorre do uso de recursos limitados e expressa os benefícios que o empresário renuncia por não utilizar os recursos em outras alternativas de investimento mais rentáveis. Assim, ele representa o custo da melhor oportunidade rejeitada (FRIZZONE et al., 2005).

Se um sistema de cultivo permite o uso de águas mais salobras, mas é uma alternativa renunciada, o custo de oportunidade diz respeito aos benefícios (receita) que poderiam ser alcançados nesse tipo de cultivo. Portanto, sob o ponto de vista econômico, para não se agregar esse custo, na escolha de alternativas para o uso de águas salobras, deve-se optar pelo sistema de

produção que proporcione às plantas o maior grau de tolerância à salinidade, desde que o incremento alcançado na receita não seja superado pelos custos de produção.

Visando uma agricultura menos poluente, a utilização de águas salobras também deveria ser avaliada economicamente mediante seu uso após dessalinização. Nesse caso, a água dessalinizada poderia ser empregada em cultivo convencional ou hidropônico. O levantamento dos custos e dos benefícios em cada sistema, quando associado ao dessalinizador, deve, portanto, ser efetuado para determinação da receita líquida. Além disso, o descarte do rejeito da dessalinização precisa ser inserido na análise econômica.

Em virtude das características regionais, que ajudam a explicar a necessidade de se avaliar o sistema hidropônico de cultivo no semi-árido brasileiro, torna-se fundamental averiguar a tolerância das plantas à salinidade e o retorno econômico proporcionado em diferentes níveis de salinidade. Adicionalmente, na análise econômica deve ser utilizada a produtividade comercializável, considerando que a salinidade não apenas prejudica a quantidade produzida, mas também a qualidade dos produtos (SAVVAS, 2001). No caso da alface, deve-se atentar principalmente para os problemas de queima dos bordos ('tip burn') ocasionados pela salinidade (HUETT, 1994).

### **2.1.13 Aspectos gerais da cultura da alface**

A alface (*Lactuca sativa* L.) como planta cultivada provavelmente tem sua origem no Mediterrâneo. Essa hipótese se fundamenta na presença da forma primitiva (*Lactuca serriola* L.) cultivada naquela região, sendo registrada sua utilização pelos egípcios há 4.500 anos para extração de óleos de suas sementes (RYDER, 1999). Como hortaliça é registrada a sua utilização desde 2500 a.C. Para o Brasil, a planta foi trazida pelos portugueses. As espécies silvestres trazidas na época ainda podem ser encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (GOTO; TIVELLI, 1998).

A alface pertencente à família Asteraceae (Compositae), tribo Cichoriceae, sendo uma planta herbácea, muito delicada, com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas em forma de roseta, podendo essas ser lisas ou crespas, verdes ou roxas, formando ou não uma 'cabeça'. A cultura da alface pode ser subdividida em seis grupos ou tipos: Repolhuda-Manteiga, Repolhuda-Crespa ou Americana, Solta-Lisa, Solta-Crespa, Mimosa e Romana. O



sistema radicular é muito ramificado e superficial, explorando apenas os primeiros 25 cm de solo quando a cultura é transplanta, prática mais comum entre os produtores. (FILGUEIRA, 2000). Apesar de existirem várias cultivares disponíveis no mercado par cultivo convencional, pouco se sabe a respeito da adaptação dessas ao sistema NFT e outros sistemas hidropônicos. Em 1990, as cultivares Brisa (tipo crespa) e Regina (tipo Lisa) foram bastante utilizadas em sistemas hidropônicos em razão da adaptação ao sistema NFT. A partir de 1994, as cultivares Verônica e Elisa foram introduzias nos cultivos hidropônicos (BERNARDES, 1997 apud RODRIGUES, 2002).

Para cultivo em solo, o teor de água deve ser mantido acima de 80 % ao longo do ciclo, inclusive durante a colheita (FILGUEIRA, 2000). O período particularmente antes da colheita é indicado como o mais crítico ao déficit de umidade do solo, conforme Doorenbos e Pruit (1997).

Maggi et al. (2006) observaram que para o cultivo da alface em solo de textura média/argilosa, as melhores produção e eficiência do uso da água foram obtidas com tensão de 35 kPa, em ajuste quadrático. Já Santos e Pereira (2004), cultivando alface americana 'Raider', reportam melhores índices dessas mesmas variáveis para uma tensão de 15 kPa à 15 cm de profundidade de instalação dos tensiômetros. Segundo Silva e Marouelli (1998), hortaliças cultivadas em solo sob ambiente protegido e irrigadas por gotejamento, de modo geral, apresentam melhor desempenho às tensões entre 10 e 30 kPa, com o sensor instalado à 15 cm de profundidade. Howell e Hanson (1976) citados por Pires et al. (2001) também indicam potencial crítico em torno de 20 kPa para a alface.

Em hidroponia do tipo NFT, geralmente se recomenda irrigar de 15 em 15 minutos durante o dia (ALBERONI, 1998; FURLANI et al., 1999). Outra informação prática<sup>6</sup> é manter o sistema continuamente ligado por volta do meio-dia, visando diminuir o estresse das plantas. Por outro lado, é possível operar com outras frequências de irrigações. Pilau et al. (2002), por exemplo, demonstraram economia de 28 % no consumo de energia elétrica, sem prejuízo à produção, quando aumentaram o intervalo entre as irrigações de 15 para 30 minutos. Eles mantiveram as irrigações em 15 minutos.

Originária de clima temperado, a sua adaptação, em regiões de temperatura elevada, tem gerado obstáculos ao seu crescimento e desenvolvimento, impedindo que a cultura expresse todo o seu potencial genético. Nestas condições, ocorre redução do ciclo da cultura, comprometendo

---

<sup>6</sup> Transmitida pelos técnicos da Hidrogood.

sua produção, devido à aceleração do metabolismo da planta e, conseqüentemente, a antecipação da fase reprodutiva (SETÚBAL; SILVA, 1992 apud GRANGEIRO et al., 2006). No Rio Grande do Norte, segundo Ramos (1995) apud Grangeiro et al. (2006), a baixa produtividade observada na região deve-se a utilização de cultivares pouco adaptadas às temperaturas e luminosidade elevadas, como também a não adoção de práticas que visem minimizar os efeitos extremos da temperatura e da luminosidade local.

Grangeiro et al. (2006), cultivando alface cultivar Verônica (grupo Solta-crespa) em solo na cidade de Mossoró (RN), obtiveram 6,4 g de massa de matéria seca por planta após 27 dias de cultivo, estimando uma produtividade de 20,8 toneladas por hectare. Segundo esses autores, a produtividade na região é de apenas 11 toneladas por hectare.

Wheeler et al. (1993) citados por Lopes (2002) concluíram que a variação de fitomassa seca decresce linearmente com o tempo, e que existe também uma interação do tempo com a temperatura do ar. O efeito da temperatura muda de relação positiva para negativa, sendo que a temperatura ótima para o acúmulo de fitomassa diminui de 23 ° C para 10 ° C do transplante para a colheita da cabeça.

A cultura da alface é anual, ou seja, independe de um intervalo de frio para passar da fase vegetativa para a reprodutiva. Dias curtos e temperatura amenas ou baixas geralmente favorecem a etapa vegetativa do ciclo da maioria das cultivares. A planta resiste, inclusive, às baixas temperaturas e geadas leves. Contrariamente, o florescimento, que se inicia com o pendoamento, é favorecido por dias longos e temperaturas elevadas (FILGUEIRA, 2000).

A temperatura mensal ideal para o bom desenvolvimento de plantas de alface varia de 15 a 18 ° C, com máximo de 21 a 24 ° C e mínimo de 7 ° C, sendo as temperaturas altas responsáveis pela emissão do talo floral (BRUNINI et al., 1976 apud LOPES, 2002). Revisando trabalhos sobre a temperatura do ar ideal para a alface, Lopes (2002) observou como indicação de temperaturas cardeais (temperatura basal inferior e superior) valores de mínimos de até 3,5 e máximo de até 30 ° C.

Conforme Rodrigues (2002), o efeito da temperatura sobre o crescimento e a produção da alface é específico para cada cultivar. Segundo o autor, temperaturas diárias mais altas do que 21 ° C induzem o pendoamento, o sabor amargo e aumento de distúrbios fisiológicos.

Com o melhoramento genético, foram obtidas cultivares mais tolerantes ao calor e, atualmente, é possível seu cultivo no período de temperaturas mais elevadas e fotoperíodo mais longo, sem estimular ou retardar o pendoamento, e sem alterar o sabor original, impedindo o acúmulo de lactato, responsável pelo gosto amargo (MATTOS, 2000).

Em relação à temperatura ideal da solução nutritiva, Alberoni (1998) comenta que não se deve ultrapassar os 30 ° C, sendo que o ideal para a planta é a faixa de 18 a 24 ° C em períodos quentes (verão) e 10 a 16 ° C em períodos frios (inverno). Temperaturas muito acima ou abaixo desses limites causam danos à planta, bem como uma diminuição na absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, uma menor produção, com produtos de baixa qualidade, que serão vendidos a preços mais baixos.

Um dos cuidados essenciais na hidroponia é o fornecimento de oxigênio às raízes. Concentrações inferiores a 3 a 4 mg L<sup>-1</sup> e solução em geral prejudicam o crescimento das raízes. No cultivo em NFT, as exigências de O<sub>2</sub> podem ser supridas pela circulação da solução ou injeção de ar comprimido que, além do fornecimento do O<sub>2</sub>, contribuem para a adequada exatidão dos gases gerados no metabolismo das raízes (MARTINEZ, 2006). Visando o provimento de oxigênio e concomitantemente a redução de custos com energia elétrica, atualmente já se pesquisa (SILVA et al., 2005b) a substituição da hidroponia NFT por aquela baseada na capilaridade de solução nutritiva em substrato.

Segundo Alberoni (1998), para que haja um desenvolvimento adequado da alface em hidroponia, deve-se manter o pH na faixa de 5,5 a 6,5. Conforme Furlani et al. (1999), variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,0 prejudicam a integridade da membrana celular. Quando o pH supera 6,5, deve-se ter cuidado com possíveis sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn. As variações no pH são reflexo da absorção diferenciada de cátions e ânions. Para esses mesmos autores, é mais conveniente manter a solução nutritiva equilibrada em cátions e ânions para atender a demanda da planta, que tentar manter o pH numa faixa estreita de valores mediante ácidos (sulfúrico, fosfórico, nítrico ou clorídrico) ou bases (hidróxido de sódio, de potássio ou de amônio) para diminuir ou aumentar o pH do meio.

Para cultivo em solo, Filgueira (2000) recomenda efetuar a calagem quando necessário visando elevar a saturação por bases para 70 %.

Quanto à umidade relativa do ar, a faixa compreendida entre 60 e 80 % é a ideal (MARTINEZ, 2006). Os espaçamentos utilizados na fase definitiva de produção no sistema NFT são 0,25 a 0,3 m entre plantas por 0,25 a 0,3 m entre linhas, correspondendo às densidades de 11 a 16 plantas por m<sup>2</sup> (MARTINEZ, 2006).

O cultivo da alface é praticado de maneira intensiva e geralmente pela agricultura familiar, sendo responsável pela geração de cinco empregos diretos por hectare. Atualmente, a alface lisa vem gradativamente reduzindo seu espaço, correspondendo a menos de 10 % do mercado. O segmento de alface predominante no Brasil é do tipo crespa, com 70 % do mercado. Essa preferência pela alface crespa no Brasil é um fato único em relação à alfacicultura mundial (COSTA; SALA, 2005).

## 2.2 Material e Métodos

Para testar as hipóteses levantadas, foram conduzidos sete experimentos em hidroponia. Os dois primeiros, denominados Experimentos I e II, foram realizados em vasos preenchidos com quartzo moído ('sílica'). Para se obter resultados mais pragmáticos ao produtor, conforme exposição anterior, foi construída uma estrutura experimental desenhada nas características do sistema NFT e na qual os Experimentos III, IV, V, VI e VII foram conduzidos.

Em todos os ensaios não foi aplicado qualquer tipo de defensivo. Não foram detectados sintomas de doenças. Também não foram observados insetos em níveis populacionais que merecessem controle.

### 2.2.1 Experimentos em quartzo moído

#### 2.2.1.1 Experimento I - Produção hidropônica de alface 'Hortênciã' em quartzo moído utilizando águas salobras

O experimento foi conduzido no período de 02/10/2006 a 03/11/2006, em casa-de-vegetação (22° 42' 89,4" latitude Sul, 47° 37' 46,2" de longitude Oeste, 540 m de altitude) do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, sendo instalado em delineamento estatístico aleatorizado em blocos. Cada parcela experimental consistiu de uma planta de alface (*Lactuca sativa* L.) tipo crespa, cultivar Hortênciã, cultivada em vaso plástico de 3,5 L. Foram utilizadas duas cores de vaso, verde e azul, as quais separadas, uma em cada lado da casa-de-vegetação, estabeleceram dois blocos (**Figura 8**). Utilizando-se três repetições por bloco, foram avaliados cinco tratamentos como níveis de salinidade da água de reposição, caracterizados com os seguintes valores de condutividade elétrica ( $CE_a$ ): 0,43; 1,40; 2,23; 3,08 e 3,93 dS m<sup>-1</sup> (**Tabela 2**). O nível de  $CE_a$  de 0,43 dS m<sup>-1</sup>, aqui considerado Testemunha, corresponde à água do sistema de abastecimento local, qual seja: água captada do Rio Piracicaba, tratada em Estação de Tratamento de Água da Prefeitura do Campus da ESALQ e distribuída para consumo humano seguindo análises de potabilidade (padrão de aceitação físico-química e padrões de microbiologia, inorgânicos, orgânicos, agrotóxicos, cianotoxinas, desinfetantes e radioatividade, estabelecidos pela Portaria 518/04 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde). Os demais níveis de salinidade foram obtidos mediante aplicação de CaCl<sub>2</sub> e NaCl na proporção 1:1 (base de massa) (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Condutividade elétrica média da água de irrigação ( $CE_a$ ) e concentrações de NaCl e  $CaCl_2$  usadas em seu preparo

<b>CE medida</b> <b>(dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>NaCl</b> <b>(g L<sup>-1</sup>)</b>	<b>CaCl<sub>2</sub></b> <b>(g L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Soma sais</b> <b>(g L<sup>-1</sup>)</b>
0,43	-	-	-
1,40	0,20	0,20	0,40
2,23	0,55	0,55	1,11
3,08	0,91	0,91	1,82
3,93	1,27	1,27	2,53

Os vasos foram perfurados e equipados com um microtubo de coloração azul protegido por tela, o que compôs seu sistema de drenagem, sendo preenchidos com “sílica número zero” (quartzo moído). A “sílica” utilizada foi lavada em água corrente e, posteriormente, tratada por quatro horas com água sanitária (hipoclorito de sódio à 2,5 %) na proporção de 1 L de produto: 10 L de água: 25 L de “sílica”.

A solução nutritiva utilizada, preparada com a água do sistema de abastecimento e com fertilizantes de modo a fornecer todos os nutrientes necessários durante todo o ciclo da alface, foi baseada em Furlani (1998), sendo sua condutividade elétrica,  $CE_{sol}$ , medida inicialmente em 1,95 dS m<sup>-1</sup> (**Tabela 3**). A cada dia, ao final da tarde, a solução nutritiva era drenada dos vasos para frascos individuais, onde permanecia durante toda noite. Pela manhã, a solução era entornada nos vasos, sendo o procedimento de drenagem repetido ao meio-dia, visando sua aeração. Diariamente, repunha-se para todos os tratamentos um mesmo volume de água. Esse volume repositivo foi crescente ao longo do ciclo, procurando-se manter o volume disponível próximo do original (1,1 L por planta). Visando corrigir eventuais diferenças no consumo hídrico, em função dos tratamentos, em seis datas ao longo do ciclo a reposição de água foi efetuada com volumes variáveis visando se retornar exatamente ao volume original de solução nutritiva em cada parcela (**Figura 9**).

Tabela 3 - Concentração de nutrientes e quantidades de fertilizantes para o preparo de 1 m<sup>3</sup> de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface (FURLANI, 1998)

Fertilizante	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	-----g m <sup>-3</sup> -----												
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	0,15								0,02				
Sulfato de zinco	0,3												0,07
Sulfato de manganês	1,5										0,39		
Ácido bórico	1,8							0,31					
Molibdato de sódio	0,15											0,06	
Fe-EDTA -13% Fe	16									2,08			
<b>Recomendações</b>	<b>24</b>	<b>173,75</b>	<b>39</b>	<b>182,5</b>	<b>142,5</b>	<b>40</b>	<b>52</b>	<b>0,31</b>	<b>0,02</b>	<b>2,08</b>	<b>0,39</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>

Mudas de alface tipo crespa cv. Hortência foram transplantadas para os vasos em 02/10/2005, apresentando de 5 a 6 cm de altura e cinco folhas (incluindo os cotilédones) com emissão da sexta. Com quatro dias após o transplântio (DAT), foram iniciados os tratamentos com a aplicação das águas salobras em reposição à evapotranspiração da alface. Aos 32 DAT, as plantas foram cortadas, submetidas à pré-secagem e, posteriormente, levadas a estufa à temperatura de 70 °C durante 96 horas. Os valores de massas de matéria seca da parte aérea, do sistema radicular e de toda a planta foram determinados em balança de precisão (0,01 g). Adicionalmente foi calculada a relação entre as massas de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea, conforme eq. (6). Empregando-se a eq. (7) também foi avaliado o consumo hídrico diário (aos 7, 20 e 32 DAT), mediante diferença de peso do vaso em relação ao dia anterior, quando se retornou a solução nutritiva ao exato volume de 1,1 L. O volume total consumido foi calculado como o somatório de todos os volumes repostos. Os resultados foram processados no programa "SAS" (SAS INSTITUTE, 1999) para análise de regressão (com repetição).

$$r \frac{msr}{mspa} = \frac{MSR}{MSPA} \quad (6)$$

em que:

$r \frac{msr}{mspa}$  = relação das massas de matéria seca da raiz e da parte aérea, adimensional;

MSR = massa de matéria seca do sistema radicular, g;

MSPA = massa de matéria seca da parte aérea, g.

$$V_{ETC} = (L_f - L_i) \quad (7)$$

em que:

$V_{ETC}$  = volume evapotranspirado, em mL planta<sup>-1</sup>;

$L_f$  = volume atual de solução nutritiva, L;

$L_i$  = volume anterior de solução nutritiva, L.

Utilizando as médias das produções, em termos de massa de matéria seca da parte aérea, foram determinadas para cada nível de salinidade as produções relativas, conforme **eq. (8)**, e as perdas percentuais com base na produção obtida com a água de  $CE_a$  0,43 dS m<sup>-1</sup>. Desta forma também foi calculada a redução do consumo hídrico total em função da salinidade da água, conforme **eq. (9)**. Mediante o software SAS, efetuou-se a análise de regressão dessas médias.

$$PR = \left( \frac{MFPA_{TRAT}}{MFPA_{TESTEMUNHA}} \right) \times 100 \quad (8)$$

em que:

PR = produtividade relativa, %;

$MFPA_{TRAT}$  = massa de matéria fresca da parte aérea de um dado tratamento, g;

$MFPA_{TESTEMUNHA}$  = massa de matéria fresca da parte aérea da testemunha, g.



$$V_{red} = 100 - \left( \frac{V_{TRAT}}{V_{TESTEMUNHA}} \right) \times 100 \quad (9)$$

em que:

$V_{red}$  = redução percentual do volume evapotranspirado no ciclo, %;

$V_{TRAT}$  = média do volume evapotranspirado em um dado tratamento, L;

$V_{TESTEMUNHA}$  = média do volume evapotranspirado na Testemunha, L.

### 2.2.1.2 Experimento II - Contraste do efeito da salinidade provocada por cloreto de sódio e sais fertilizantes na produção hidropônica de alface ‘Hortênciã’ em quartzo moído

O Experimento II foi conduzido na mesma casa-de-vegetação usada no Experimento I. Foram avaliados quatro níveis de salinidade da água, (0,5; 2,0; 3,0; e 5,0 dS m<sup>-1</sup>) e dois tipos de fontes de salinidade, conformando um esquema fatorial 4 x 2, com três repetições dispostas em delineamento inteiramente aleatorizado. Cada unidade experimental (**Figura 10**) foi composta por duas plantas cultivadas em vasos preenchidos com quartzo moído (sílica número zero) e dispostos em bandeja plástica contendo 16 L de solução nutritiva (**Tabela 3**).

Como fonte de íon tóxico, foi utilizado o cloreto de sódio (NaCl). Como fonte de íons fertilizantes foi utilizada uma mistura de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) e cloreto de potássio (KCl). Dessa forma, buscou-se contrastar os efeitos do Na (**Tabela 4**) contra os do Ca e K (**Tabela 5**), mantendo-se proporcionais as concentrações do cloreto para cada uma das fontes de salinidade.

Tabela 4 - Características químicas estimadas das águas obtidas com NaCl

CE almejada dS m <sup>-1</sup>	Soma Cátions (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Cl (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	NaCl (g L <sup>-1</sup> )
0,5	5	5	5	0,293
2	20	20	20	1,170
3	30	30	30	1,755
5	50	50	50	2,925

Tabela 5 - Características químicas estimadas das águas obtidas com CaCl<sub>2</sub> e KCl

CE almejada dS m <sup>-1</sup>	Soma Cátions (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	Ca mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>	K (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	CaCl <sub>2</sub> (g L <sup>-1</sup> )	KCl (g L <sup>-1</sup> )	Cl (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )
0,5	5	2,5	2,5	0,139	0,186	5
2	20	10,0	10,0	0,555	0,745	20
3	30	15,0	15,0	0,833	1,118	30
5	50	25,0	25,0	1,388	1,863	50

Diariamente, pela manhã e ao meio-dia, a solução nutritiva era aerada. A aeração se iniciava retirando os vasos das bandejas e drenando sua solução às mesmas. Posteriormente, com o auxílio de um vaso perfurado, que era cheio e esvaziado à certa altura da bandeja, era procedida a aeração da solução nutritiva (**Figura 11**). Periodicamente foi avaliada a condutividade elétrica da solução nutritiva em cada parcela. À medida que se observava diminuição do volume de solução na bandeja, era reposta água (não salinizada, 0,43 dS m<sup>-1</sup>) visando manter disponíveis 16 L de solução nutritiva. Renovou-se completamente a solução nutritiva em duas épocas durante o experimento: 17 e 32 dias após o transplântio (DAT).

Mudas de alface tipo crespa cultivar Hortência, produzidas em bandejas de isopor e substrato à base de casca de *Pinus* moída, foram transplantadas para os vasos em 09/10/2005. Aos 38 DAT, as plantas foram cortadas, submetidas à pré-secagem e posterior secagem em estufa à temperatura de 70 °C durante 96 horas. Os valores médios da massa de matéria seca da parte aérea das duas plantas por parcela foram processados no programa “SAS” (SAS, Institute, 1999) para análise de variância e contraste de média mediante teste de Tukey a 5 %.

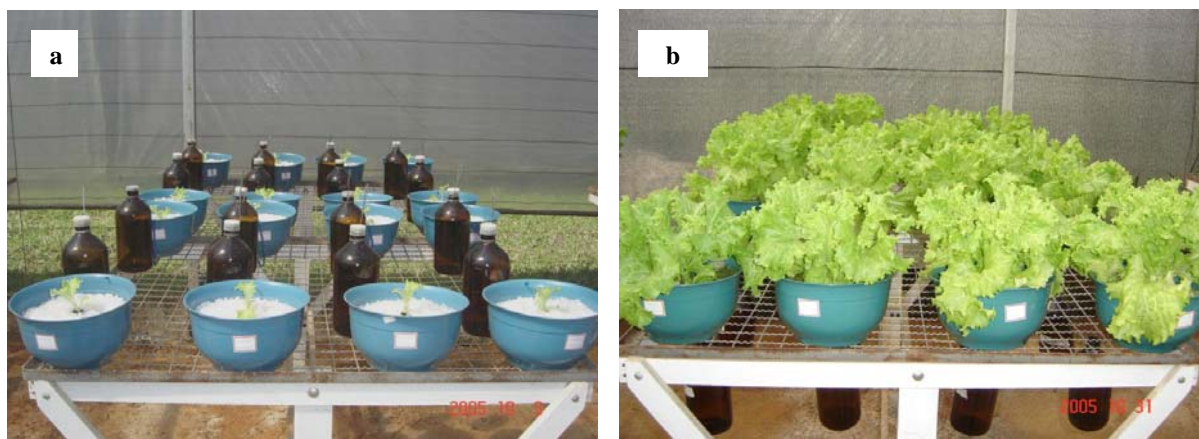


Figura 8 - Vista frontal do bloco com vasos azuis 1 dia após transplântio (DAT) (a) e vista frontal do bloco com vasos verdes 29 DAT (b) (**Experimento I**).



Figura 9 - Solução nutritiva sendo drenada dos vasos para os frascos visando aeração (a) e sendo entornada de volta aos vasos (b) (Experimento I).



Figura 10 - Plântulas de alface cultivadas em vasos preenchidos com sílica e mantidos em bandejas contendo solução nutritiva preparada com água salobra (Experimento II).



Figura 11 - Detalhes do procedimento da aeração da solução nutritiva (Experimento II).

## 2.2.2 Experimentos no sistema NFT

### 2.2.2.1 Local de instalação

A estrutura experimental foi desenvolvida no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior ‘Luiz de Queiroz’ ESALQ-USP, na cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, em casa-de-vegetação do tipo arco simples com 17,80 m de comprimento, 7,10 m de largura, pé-direito de 3 m, altura do arco de 1,35 m e orientação leste-oeste (**Figura 12a**), localizada nas coordenadas geográficas 22° 42’ 89,4” latitude Sul, 47° 37’ 46,2” de longitude Oeste, à 540 m de altitude.

O ambiente é protegido no teto por filme transparente de polietileno de baixa densidade com 0,10 mm de espessura e aditivo anti-ultravioleta, e nas laterais por telas de sombreamento ‘sombrite’ 50 %, havendo cortinas laterais feitas com o mesmo filme de polietileno, as quais podem ser fechadas até à altura do pé-direito em dias frios ou chuvosos.

O piso da casa-de-vegetação foi coberto por geotêxtil de poliéster (bidim OP-20)’, coloração preta, visando aumentar a vida útil do sistema de bombeamento e melhorar as condições fitossanitárias.

Com o objetivo de reduzir a temperatura do interior da casa-de-vegetação em dias muito quentes, foi instalada internamente, à 2,70 m de altura, uma malha termorrefletora (aluminet 50-I) com sombreamento de 50 a 54 % e tamanho do orifício de 2,5 x 10 mm (**Figura 12b**). Conforme o fabricante (POLYSACK, 2006), os percentuais de reflexão, luz difusa e conservação de energia são, respectivamente: 50%, 65% e 20%. Ao fundo e à frente, a casa-de-vegetação também é provida de duas janelas localizadas nos arcos, as quais têm a função de liberar o ar aquecido que ascende do ambiente.

Conforme classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. As temperaturas médias mensais variam de 24,8° C no verão e 17,1° C no inverno, sendo a média anual igual a 21,4° C. As chuvas são da ordem de 1.278 mm anuais, ocorrendo cerca de 1.000 mm de outubro a março e, 278 mm de abril a setembro (SENTELHAS, 1998).

Durante os experimentos foram monitoradas as temperaturas do ar no interior da casa-de-vegetação e da solução nutritiva. Para isso, foram montados termopares (cobre-constantã) abrigados em tubos de PVC, à semelhança de Furlan (2001). Os termopares foram instalados às alturas de 1, 2 e 3 m do solo. Dentro do reservatório de solução nutritiva foi inserido um outro termopar para medir a temperatura da solução. Todos os sensores supracitados foram conectados a um datalogger (**Figura 13**). As médias das variáveis climáticas foram obtidas a cada 15 minutos.

#### **2.2.2.2 Estrutura experimental**

Foi utilizada uma estrutura de hidroponia composta por 40 unidades experimentais (**Figura 12**). Cada parcela representa um sistema hidropônico NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) independente, constituindo-se de: um reservatório plástico azul com capacidade para 60 L de solução nutritiva (**Figura 14**); uma eletrobomba de circulação Metalcorte/Eberle, autoventilada, modelo EBD250076 (acionada por motor monofásico, 120 V de tensão, 60 Hz de frequência, corrente nominal de 2 A, isolamento classe B, 130° C), com componentes internos em plástico para evitar o efeito corrosivo da solução nutritiva (**Figura 15a**); e um perfil hidropônico Hidrogood feito em polipropileno com aditivo anti-ultravioleta, de tamanho médio, diâmetro comercial de 100 mm, comprimento de 2,8 m e orifícios (de 2,5 cm de raio) espaçados em 0,30 m (**Figura 16**).

As eletro-bombas foram instaladas todas à mesma cota, independente do relevo. Já os reservatórios foram instalados sobre tábuas de madeira após sistematização do terreno (**Figura 14b**). Manteve-se, desse modo, a mesma diferença de nível entre o fundo do reservatório e o eixo da bomba, em todas as parcelas (**Figura 14a**).

Na estrutura hidropônica, os perfis foram instalados a uma altura média de 0,85 m, possuindo quatro pontos de apoio (**Figura 16a**) e uma inclinação de 3,3 %. Na extremidade do perfil onde se dá a admissão da solução nutritiva, foi instalado um tampão visando evitar a entrada de luz e eventuais perdas de solução. Com os mesmos objetivos, e também para direcionar o retorno da solução, foi adaptado um frasco plástico branco na outra extremidade do perfil (**Figura 16b**).

As parcelas foram montadas duas a duas sobre traves de madeira, ficando os perfis espaçados em 0,53 m. Entre os pares de parcelas, foi deixado um corredor de 0,95 m de largura para facilitar o trânsito e a operacionalidade (**Figura 16a**). A largura do corredor e o espaçamento entre os perfis foram também projetados para evitar a competição entre plantas pertencentes a tratamentos distintos. Não foram utilizados perfis como bordadura.

Como mostrado na **Figura 17**, uma tubulação de PVC conduz a solução nutritiva bombeada do reservatório até a parte mais alta da bancada, de onde a solução é injetada no perfil hidropônico. A solução injetada percorre o perfil em declive (3,3 %), sendo a gravidade a única força motriz. A diferença de nível entre a eletrobomba, afixada em uma estaca, e o sistema injetor é de 0,76 m. O sistema injetor é composto por dois emissores que saem da tubulação e se prolongam por mangueiras flexíveis até o perfil hidropônico (**Figura 18**), apresentando em média uma vazão conjunta de 1,60 L por minuto (à reservação de 45 L). O excedente não injetado no perfil volta ao reservatório mediante tubulação de PVC, em cuja extremidade se conectou um 'joelho' de 90° visando favorecer a aeração da solução nutritiva (**Figura 20**). A utilização de um registro após a eletrobomba poderia simplificar a instalação hidráulica da parcela, tornando dispensável a tubulação de retorno, mas essa opção foi descartada pelo risco de se forçar a eletrobomba.

A eletrobomba de circulação funciona apenas 'afogada', sendo sua vazão dependente da altura de recalque requerida (**Figura 15b**) e também da lâmina mantida no reservatório (**Figura 19**). A **Figura 19** mostra a variação da vazão medida na calha em função do volume mantido no

reservatório de solução nutritiva, considerando a altura de recalque de 0,76 m. A curva foi construída para uma diferença de nível entre o fundo do reservatório e o eixo da bomba igual a 0,13 m. Para qualquer volume mantido no reservatório superior a 20 L, a vazão no perfil ficou sempre no intervalo indicado (Martinez, 2006; Staff, 1998; Teixeira, 1996) para hortaliças folhosas como a alface, qual seja: 1,5 a 2,0 L min<sup>-1</sup>.

Também foram montados sistemas de abastecimento automático individualizados para cada parcela (**Figura 21**) e construídos com tubulação de PVC de seção contínua e diâmetro de 200 mm. Este tipo de sistema permite a saída automática de água para o reservatório de solução nutritiva mediante uma torneira-bóia, possibilitando a manutenção do volume contido naquele. O depósito de abastecimento foi dotado de uma régua graduada, fixada junto a uma mangueira transparente, o que permitiu o cálculo do volume evapotranspirado por planta num dado período.

Visando contornar o eventual problema do retorno de solução nutritiva por debaixo do perfil em decorrência do abaulamento do mesmo devido ao ganho de peso das plantas, foi instalado um anel de PVC na extremidade de saída (**Figura 22**), sendo sua função captar e direcionar a solução escoada. Esse artifício permitiu evitar a perda de solução nutritiva, garantindo os tratamentos, em suas diferenças iônicas, e também as avaliações de consumo hídrico.

A rede elétrica foi dimensionada para operar todas as 40 parcelas simultaneamente. No painel de controle (**Figura 23a**), foi instalado um contator CWM50 (220V) que tem saída para três disjuntores de 30 A. Cada disjuntor energiza uma linha (com dois fios de 4 mm), a qual aciona um conjunto de 13 ou 14 eletrobombas (110 V) mediante derivações de linhas de 2,5 mm providas com terminais tipo fêmea (**Figura 23b**).

No painel também foi instalado um temporizador digital (220 V), programável para 720 eventos, que permite armar e desarmar o contator em intervalos mínimos de 1 minuto, apresentando ainda bateria com autonomia de 24 horas para falta de energia elétrica. Durante os experimentos foi efetivada a seguinte programação diária de irrigação: irrigações a cada 15 minutos das 06:00 às 11:00; irrigação constante das 11:00 às 14:00; irrigações a cada 15 minutos, das 14:00 às 19:00; irrigações de 15 minutos às 21:00, 23:00, 02:00. Para garantir a programação informada, em virtude de eventual falta de energia elétrica, diariamente foram feitas verificações no horário registrado pelo temporizador.

### 2.2.2.3 Preparo das mudas de alface

Sementes peletizadas de alface foram plantadas em placas de espuma fenólica, em orifícios com 0,6 cm de profundidade, 0,3 cm de diâmetro e formato cônico, feitos com a ponta de uma caneta esferográfica. Antes da perfuração, as placas de espuma fenólica foram lavadas abundantemente com água corrente para isentar o meio de substâncias contaminantes. Em cada orifício foi colocada uma semente, deixando-se a placa em ambiente escuro cerca de 35 horas. Após este período, as placas foram transferidas para casa-de-vegetação, sendo irrigadas inicialmente apenas com água e, após uma semana, com solução nutritiva (Furlani, 1998) diluída a 50 %. Posteriormente, as mudas foram irrigadas com solução nutritiva à 100 %, visando sua adaptação às condições experimentais, evitando-se possível choque osmótico.

A solução nutritiva utilizada tanto na produção das mudas quanto no cultivo foi baseada em Furlani (1998) (**Tabela 3**), sendo caracterizada com CE ao redor de  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  quando composta a partir de água com baixa salinidade ( $0,20 \text{ dS m}^{-1}$ ) conforme Furlani et al. (1999).

Considerando não haver perfis intermediários de cultivo (mesa de desenvolvimento) na estrutura hidropônica montada, optou-se por permitir o maior crescimento das plântulas na espuma até seu ponto de transplantio para os perfis.

A técnica de preparo das mudas foi variável de um experimento para o outro (**Tabela 6**). Inicialmente, as mudas foram preparadas em bandejas plásticas de coloração branca (**Figura 24**), mas foi observada heterogeneidade no desenvolvimento das plantas das bordas em relação às centrais. Posteriormente, optou-se por prepará-las sobre um telado (**Figura 25**), mas também se provocou a formação de mudas heterogêneas com a poda aérea de raízes. Finalmente, optou-se por construir um berçário com hidroponia NFT (**Figura 26**). Nesse, as mudas apresentaram melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior homogeneidade do desenvolvimento da parte aérea (**Figura 27**). Outro fator de variação foi o tamanho da célula de espuma fenólica, seja  $2 \times 2 \text{ cm}$ , ou  $2,5 \times 2,5 \times 3,0 \text{ cm}$ .



Tabela 6 - Informações básicas sobre a produção de mudas em cada um dos experimentos

Exp.	Sistema	Produção das mudas	Espuma fenólica	Plantio	DAS*	Transplante	DAT	Colheita	Ciclo (dias)
I	Sílica	Substrato casca Pinus	-	nd	-	2/10/05	32	3/11/05	-
II	Sílica	Substrato casca Pinus	-	nd	-	12/10/05	36	17/11/05	-
III	NFT	Bandejas plásticas	2x2x2	12/5/06	39	20/6/06	35	25/7/06	74
IV	NFT	Telado	2x2x2	16/7/06	41	26/8/06	33	28/9/06	74
V	NFT e Solo	Berçário NFT	2x2x2	9/10/06	26	4/11/06	27	1/12/06	53
VI	NFT e Solo	Berçário NFT	2,5x2,5x3	1/12/06	30	31/12/06	25	25/1/07	55
VII	NFT e Solo	Berçário NFT	2,5x2,5x3	13/3/07	34	16/4/07	25	11/5/07	59

\*DAS = dias após a sementeira; DAT = dias após o transplante

Tabela 7 - Dados climáticos relativos às datas de transplante em cada experimento, conforme disponibilização do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP

Exp	Data	RG	P	UR	Vento	T Máx	T Mín	T Méd
		(cal cm <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	(mm)	(%)	(km h <sup>-1</sup> )	(° C)	(° C)	(° C)
<b>I</b>	2/10/05	159	0,0	96	8,8	23,1	17,5	20,3
<b>II</b>	12/10/05	558	0,0	68	5,7	35,3	19,1	27,2
<b>III</b>	20/06/06	312	0,0	74	9,2	28,5	9,5	19,0
<b>IV</b>	26/08/06	401	9,3	55	8,4	32,7	12,1	22,4
<b>V</b>	4/11/06	511	0,0	79	10,3	31,2	19,9	25,6
<b>VI</b>	31/12/06	204	10,6	100	4,5	23,5	20,2	21,9
<b>VII</b>	16/04/07	433	0,0	70	6,7	32,9	17,9	25,4

\* Radiação global (RG); precipitação pluvial (P); umidade relativa (UR); velocidade média do vento (vento); temperaturas máxima (T<sub>máx</sub>), mínima (T<sub>mín</sub>) e média (T<sub>méd</sub>). Obtidos de estação meteorológica convencional localizada no campus da ESALQ/USP.



Figura 12 - Visão geral do interior da casa-de-vegetação antes dos ensaios (a) e durante cultivo, protegido com manta termorrefletora (b)



Figura 13 - Termopar instalado à 2 m de altura e datalogger usado para aquisição dos dados

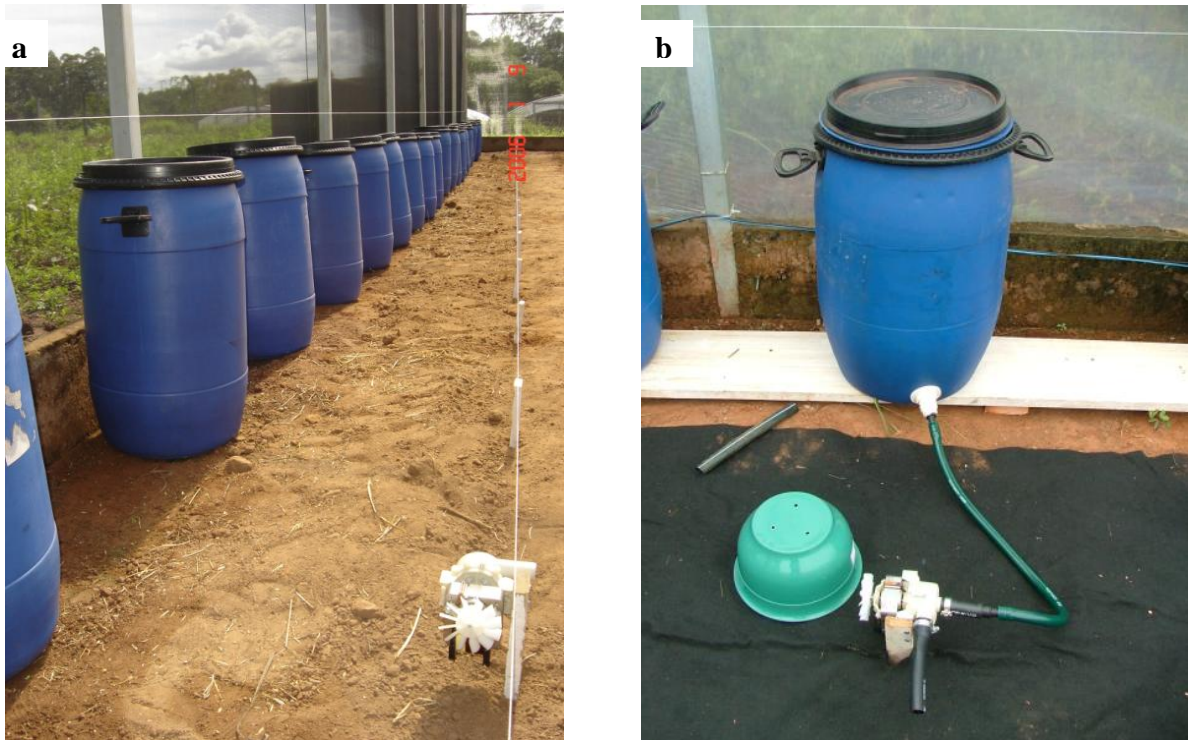


Figura 14 - Reservatórios de solução nutritiva posicionados sobre o terreno antes da sistematização (a) e sobre tábuas de madeira após sistematização

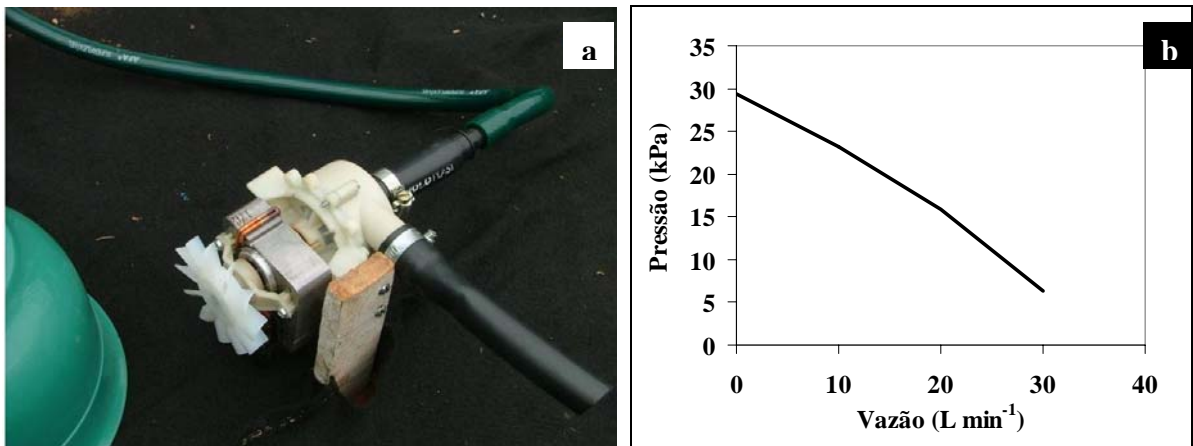


Figura 15 - Eletrobomba de circulação para movimentação da solução nutritiva (a) e sua curva vazão x pressão (b)

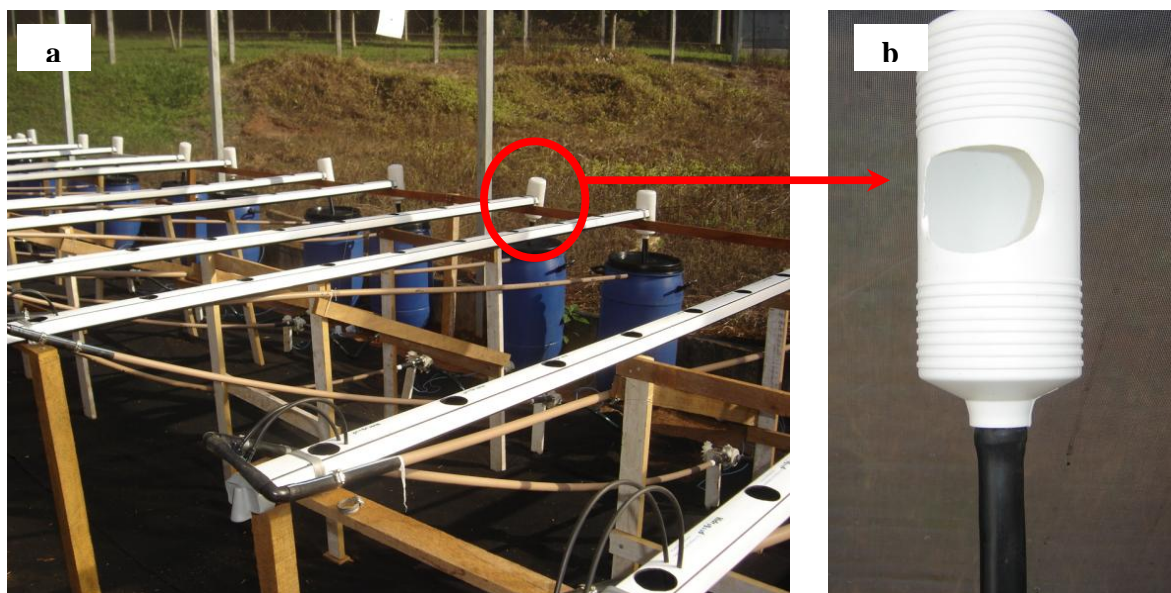


Figura 16 - Perfis apoiados em quatro pontos de sustentação (a) e frasco adaptado como tampão de saída ao perfil hidropônico (b)

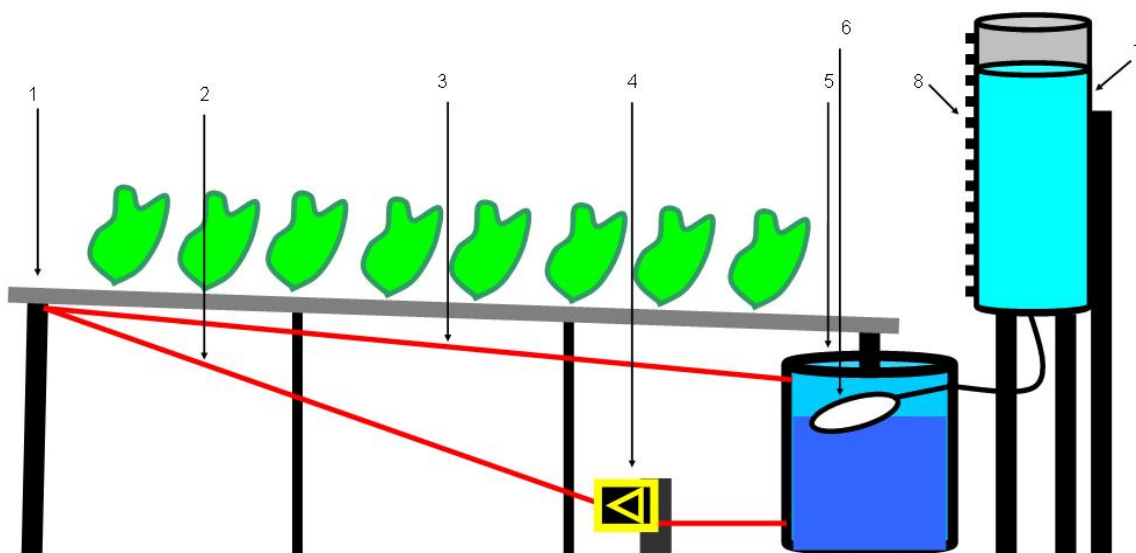


Figura 17 - Desenho do perfil hidropônico dotado de reservatório de abastecimento automático. Legenda da figura: 1 – perfil hidropônico; 2 – tubo PVC condutor da solução até o sistema injetor; 3 – tubo PVC condutor da solução não injetada até o reservatório; 4 – eletrobomba de circulação; 5 – reservatório de solução nutritiva; 6 – torneira-bóia; 7 – sistema de abastecimento automático; 8 – mangueira transparente graduada

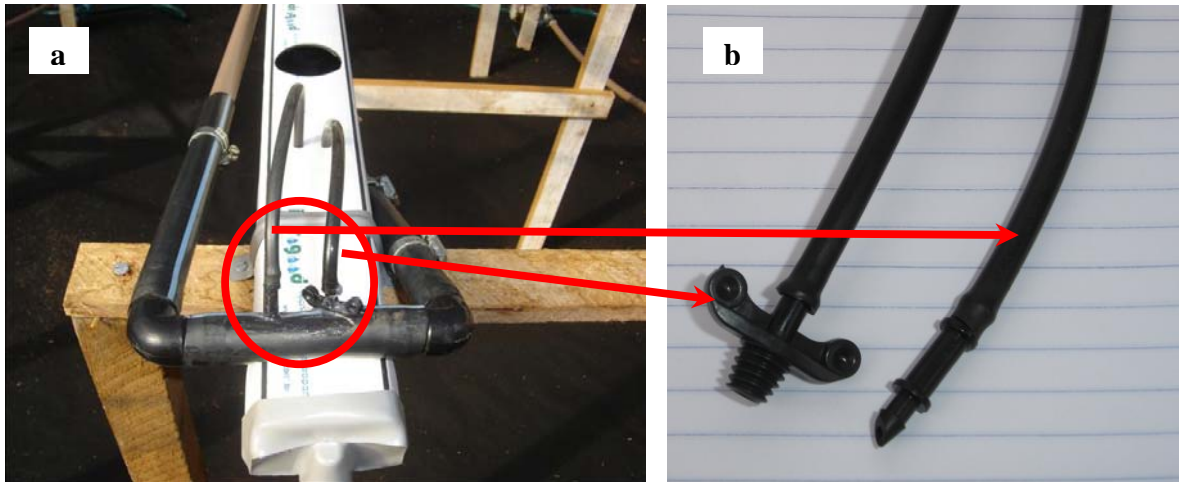


Figura 18 - Sistema injetor de solução nutritiva e tampão de entrada do perfil (a) e tipos de emissores que compuseram o sistema injetor (b)

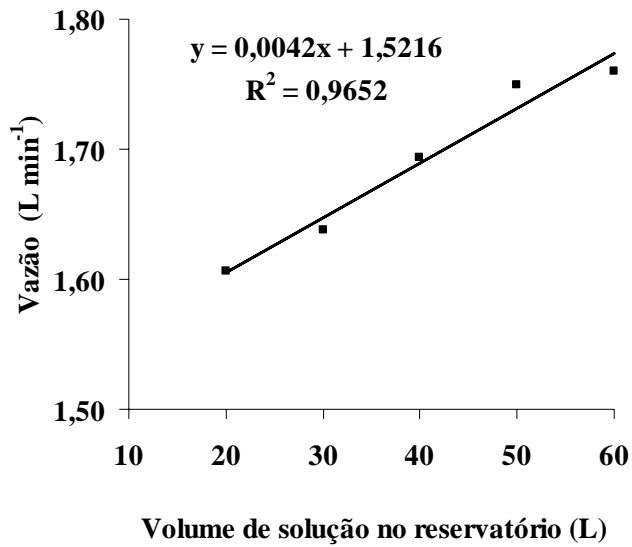


Figura 19 - Vazão média registrada no perfil hidropônico em função do volume de solução nutritiva no reservatório



Figura 20 - Solução nutritiva sendo oxigenada e direcionada mediante joelho de 90°



Figura 21 - Perfis hidropônicos conectados aos seus respectivos reservatórios de abastecimento automático



Figura 22 - Detalhe do anel de PVC utilizado para evitar o vazamento de solução nutritiva



Figura 23 - Detalhe do painel de controle do sistema hidropônico (a) e eletrobombas ligadas à rede elétrica (b)

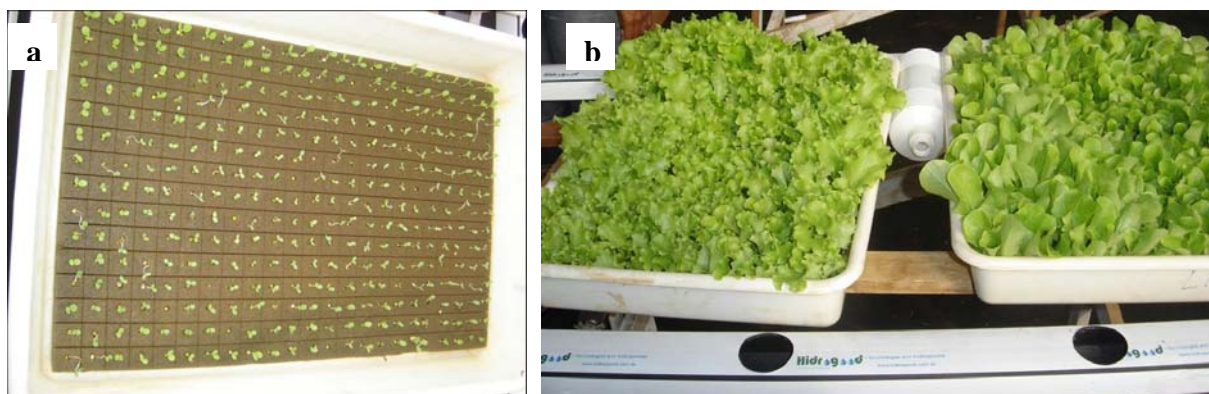


Figura 24 - Plântulas de alface germinadas em espuma fenólica (a) e mudas de alface tipos crespa e lisa dentro de bandejas plásticas (b) (Experimento III)



Figura 25 - Plântulas de alface germinadas em espuma fenólica (a) e mudas de alface Verônica produzidas na espuma e sobre telado (b) (Experimento IV)

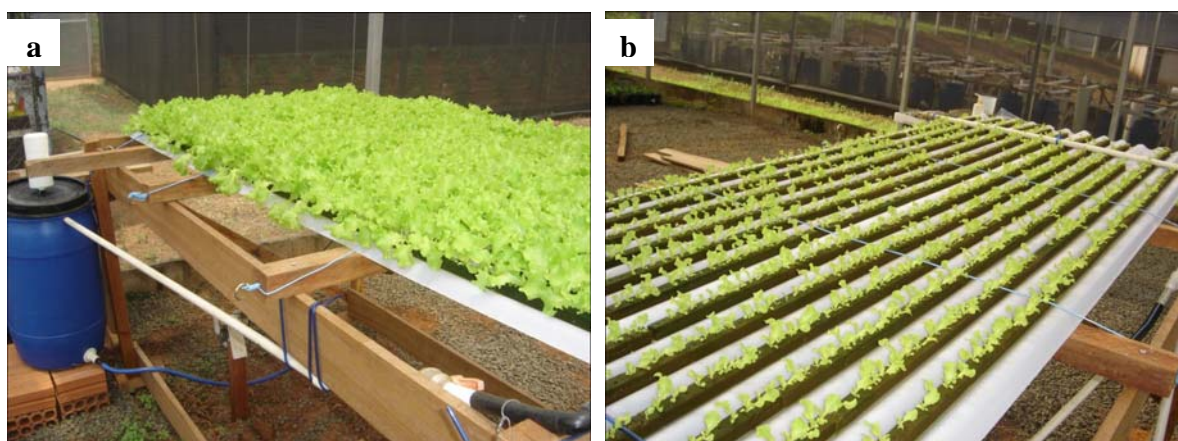


Figura 26 - Berçário para mudas de alface em hidroponia NFT (a) e detalhe das mudas produzidas em tiras de células de espuma fenólica não seccionadas (b) (Experimento V)



Figura 27 - Plântulas de alface em células seccionadas de espuma fenólica (a) e anéis de PVC usados para controlar a perda de solução nutritiva (b) (Experimentos VI e VII)

Para estimativa do tamanho da amostra para as avaliações, seguiu-se o trabalho de Marodim et al. (2000), conforme eq. (10).

$$n = \frac{N \times t^2 \times CV^2}{N \times d^2 + t^2 \times CV^2} \quad (10)$$

em que:

n = tamanho da amostra;

t = valor tabelado de t, tendo sido usado alfa = 0,05;

N = número total de plantas na unidade amostral;

d = semiamplitude do intervalo de confiança expresso em percentagem da média, %;

CV = coeficiente de variação da massa de matéria fresca da parte aérea em cada perfil, %.

#### 2.2.2.4 Experimento III -Efeito do estresse salino estabelecido em diferentes fases de desenvolvimento sobre a produção hidropônica de alface

O primeiro experimento instalado no sistema hidropônico NFT teve como objetivo averiguar em quais períodos da produção de alface se tem menor tolerância aos sais, servindo também para se testar a funcionalidade do sistema para as demais pesquisas propostas.

Foram utilizadas duas cultivares de alface, uma do tipo lisa (Elisa) e outra do tipo crespa (Verônica). Conforme descrição da SAKATA (2007), as plantas da cultivar Verônica são de



porte grande, com folhas de coloração verde claro, apresentando alta resistência ao pendoamento precoce, podendo sua colheita ser iniciada com 60-70 dias após a sementeira. Já as plantas da cultivar Elisa são descritas como de porte grande, cabeças compactas, folhas de coloração verde claro, apresentando alta uniformidade de campo e alto rendimento no embalamento, além de alta resistência ao pendoamento e tolerância ao vírus do mosaico da alface (LMV-2), sendo o início da colheita projetado para 65-75 dias. Ambas as cultivares são indicadas como padrão e líder do mercado em suas respectivas categorias (SAKATA, 2007). A Embrapa também (1998) informa que a Verônica é tolerante ao calor.

As mudas das duas cultivares foram cultivadas em espuma fenólica dentro de bandejas plásticas (**Figura 24**), sendo transplantadas em 20/06/2006, 39 dias após a sementeira. Durante o ciclo da cultura, as cortinas da casa-de-vegetação foram mantidas fechadas durante a noite. Nesse período, as janelas estiveram fechadas durante todos os dias de frio, visando preservar a temperatura no interior do ambiente. Nesse experimento não havia a proteção da malha termorrefletora (**Figura 30**).

O ciclo da cultura, estimado em 35 dias no inverno, foi dividido em fases de uma semana de duração. Foram avaliados seis períodos de exposição aos sais, conforme **Tabela 8**. Em todos os tratamentos propostos, foi estudado um único nível de salinidade na solução nutritiva, qual seja,  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ , obtido com a adição de NaCl ( $2,048 \text{ g L}^{-1}$ ) à solução nutritiva ( $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ ) preparada com água tratada no campus da ESALQ ( $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ). As mudas das cultivares ‘Elisa’ e ‘Verônica’ foram alocadas alternadamente nas parcelas (**Figura 30**), sendo essas distribuídas aleatoriamente conforme sorteio. Considerando existir oito plantas por perfil (parcela), quatro foram de cada cultivar, sendo designadas bordaduras as plantas localizadas nas extremidades do perfil. Foi utilizado o delineamento aleatorizado em blocos, com quatro repetições por tratamento coincidentes com o número de blocos.

Tabela 8 - Descrição dos tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface

<b>Tratamento</b>	<b>Semanas de exposição à salinidade</b>
Testemunha	não exposta
P2	1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup>
P3	2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 4 <sup>a</sup>
P4	3 <sup>a</sup> e 4 <sup>a</sup>
P5	4 <sup>a</sup>
P10	1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 4 <sup>a</sup>

O volume do reservatório de solução nutritiva foi mantido em 50 L. Não foi utilizado o sistema de abastecimento automático e a reposição da água evapotranspirada foi efetuada com o auxílio de uma régua linimétrica adaptada, a qual era inserida até o fundo do reservatório para indicar a altura de solução contida e, por conseguinte, o quanto acrescentar de água. Nessa reposição, foi utilizada água tratada no campus da ESALQ.

O controle dos tratamentos foi realizado mediante medições semanais da condutividade elétrica da solução nutritiva em cada parcela. Aos 35 dias após o transplante (DAT), as plantas úteis foram colhidas e pesadas em balança de precisão para obtenção da massa de matéria fresca da parte aérea. Após pré-secagem na própria casa-de-vegetação, as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada, regulada em 60 °C, visando obter a massa de matéria seca. As médias das três plantas úteis obtidas em cada parcela para cada cultivar foram processadas no software SAS para comparação das médias mediante o teste de Tukey.

#### **2.2.2.5 Experimento IV - Tolerância da alface à salinidade em sistema hidropônico tipo NFT**

Sementes de alface crespa, cultivar Verônica, foram semeadas em espuma fenólica no dia 16/07/2006. As mudas foram produzidas sobre um telado para facilitar a drenagem (**Figura 25**), exigindo, porém, irrigações mais frequentes que no procedimento usado no Experimento III. O transplante para os perfis hidropônicos ocorreu em 26/08/2006, sendo utilizadas mudas com 6 a 9 cm de altura e 4 folhas definitivas (**Tabela 6**).

A partir desse experimento, foram estabelecidas duas mudanças importantes: a casa-de-vegetação foi protegida por uma malha termorrefletora (aluminet 50-I) e o volume do reservatório de solução nutritiva foi mantido em cerca de 45 L mediante o sistema de abastecimento automático (**Figura 31**).

A casa-de-vegetação foi dividida em cinco blocos e em cada um desses foram aleatorizados os oito tratamentos indicados na **Tabela 9**. A variação da salinidade entre os tratamentos foi obtida com a aplicação de NaCl à solução nutritiva. Para o tratamento Testemunha não houve aplicação de NaCl. A água utilizada para o preparo da solução nutritiva apresentava salinidade de 0,59 dS m<sup>-1</sup>, sendo oriunda de uma das Estações de Tratamento de Água do campus da ESALQ. Essa mesma água foi utilizada na reposição do volume evapotranspirado.

O consumo hídrico da alface foi mensurado em função dos tratamentos em cada repetição. Para isso, foram utilizadas as leituras do nível da água no reservatório de abastecimento automático. Para o cálculo do volume diário de água consumida por planta foi empregada a eq. (11).

$$V_{ETC} = \frac{(L_f - L_i) \times \pi \times D^2}{4 \times n \times \Delta T} \times 10^6 \quad (11)$$

em que:

$V_{ETC}$  = volume evapotranspirado, em mL planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>;

$L_f$  = leitura final do nível da água no depósito de abastecimento automático, m;

$L_i$  = leitura inicial do nível da água no depósito de abastecimento automático, m;

$D$  = diâmetro interno do depósito de abastecimento automático, m;

$\Delta T$  = intervalo de tempo entre as leituras, dias;

$n$  = número de plantas no perfil no intervalo de tempo  $\Delta T$ .

Tabela 9 - Descrição dos tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface

<b>Tratamento</b>	<b>NaCl g L<sup>-1</sup></b>	<b>Cl mmolc L<sup>-1</sup></b>	<b>Na</b>	<b>CE<sub>sol</sub> (dS m<sup>-1</sup>)</b>
TEST	0	0,00	0,00	2,46
T1	0,585	10,00	10,00	3,43
T2	1,17	20,00	20,00	4,51
T3	1,755	30,00	30,00	5,44
T4	2,34	40,00	40,00	6,43
T5	2,925	50,00	50,00	7,39
T6	3,51	60,00	60,00	8,50
T7	4,095	70,00	70,00	9,20

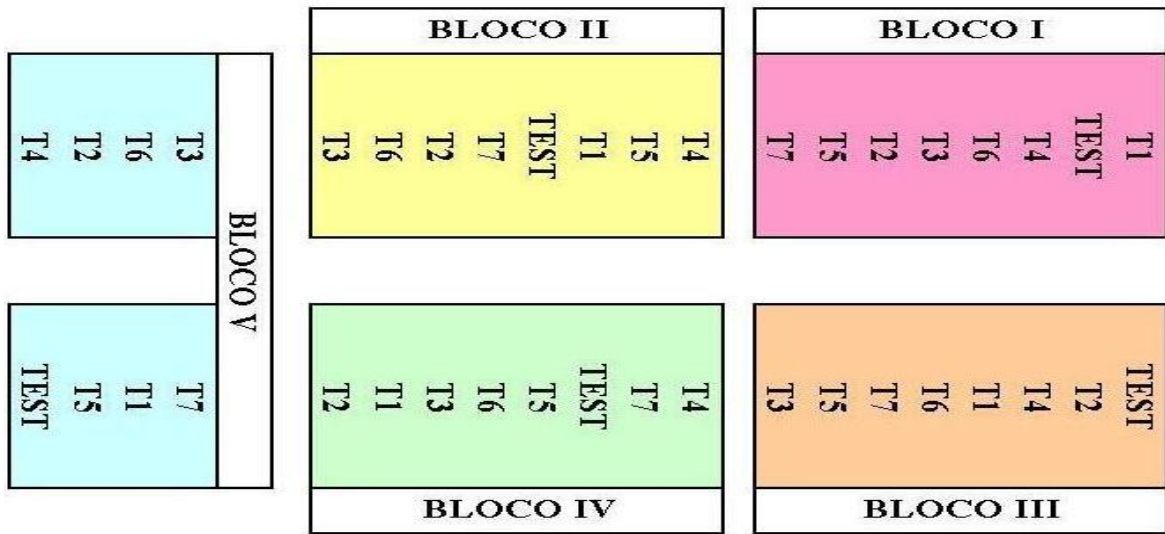


Figura 28 - Aleatorização dos tratamentos e suas repetições às parcelas na casa-de-vegetação

O controle dos tratamentos foi realizado mediante medições semanais da condutividade elétrica da solução nutritiva em cada parcela. Utilizando a eq. (12) foi medida a variação percentual da salinidade em cada tratamento. A média ponderada da salinidade no tempo também foi medida, conforme eq. (13). O afastamento entre as salinidades médias ponderada e inicial foi investigado para cada tratamento conforme eq. (14).

$$D = 100 - \left( \frac{CE_{FINAL}}{CE_{INICIAL}} \times 100 \right) \quad (12)$$

em que:

D = variação percentual da salinidade ao final do ciclo, em %;

$CE_{FINAL}$  = média da salinidade medida ao final do ciclo,  $dS\ m^{-1}$ ;

$CE_{INICIAL}$  = média da salinidade medida no início do ciclo,  $dS\ m^{-1}$ ;

$$CE_{ponderada} = \frac{\sum_{i=1}^I CE_i \times \Delta t_i}{\sum_{i=1}^I \Delta t_i} \quad (13)$$

em que:

$CE_{ponderada}$  = salinidade ponderada no tempo,  $dS\ m^{-1}$ ;

$CE_i$  = condutividade elétrica da solução na  $i$ -ésima leitura,  $dS\ m^{-1}$ ;

$I$  = número de leituras, adimensional;

$\Delta ti$  = intervalo de tempo em que se assume constante a  $CE_i$ , dias.

$$Dp = 100 - \left( \frac{CE_{ponderada}}{CE_{INICIAL}} \times 100 \right) \quad (14)$$

em que:

$Dp$  = diferença percentual da salinidade ponderada em relação à salinidade inicial, em %;

Aos 33 dias após o transplântio (DAT), as quatro plantas centrais em cada parcela (úteis) foram colhidas e pesadas em balança de precisão (na própria casa-de-vegetação) para obtenção da massa de matéria fresca da parte aérea. Também foram mensurados: o número de folhas com comprimento maior que 10 cm, o diâmetro da parte aérea e as massas de matéria fresca das folhas e do caule.

Após pré-secagem na casa-de-vegetação, as plantas foram levadas à estufa de circulação forçada, regulada em 60 °C, visando obter a massa de matéria seca da parte aérea. As raízes foram retiradas dos perfis e também levadas à mesma estufa para obtenção da massa de matéria seca do sistema radicular. Somando-se as massas de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, calculou-se a massa de matéria seca total. O teor de água nas folhas e a razão entre as massas de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular foram determinados usando as médias dessas variáveis em cada parcela, conforme eq. (15) e eq. (6), respectivamente. As médias das quatro plantas úteis obtidas em cada parcela foram processadas no software SAS para análise de regressão. Os componentes do modelo de regressão foram testados pelo test t no SAS.

As produtividades percentuais da alfaca em função da salinidade em cada tratamento foram calculadas em relação à produtividade obtida com o tratamento Testemunha eq. (16). Os valores dos parâmetros  $b$  e  $SL$  do modelo de Maas e Hoffman (1977), eq. (17), foram estimados com o programa SAS (ANEXO C). Na programação não foi inserida a produtividade da testemunha e também aquelas superiores à 100 %.

$$U = \left( \frac{MFPA - MSPA}{MFPA} \right) \times 100 \quad (15)$$

em que:

$U$  = teor de água na parte aérea, %;

$MFPA$  = massa de matéria fresca da parte aérea, g;

$MSPA$  = massa de matéria seca da parte aérea, g.

$$PR = \left( \frac{MFPA_{TRAT}}{MFPA_{TESTEMUNHA}} \right) \times 100 \quad (16)$$

em que:

$PR$  = produtividade relativa, %;

$MFPA_{TRAT}$  = massa de matéria fresca da parte aérea de um dado tratamento, g;

$MFPA_{TESTEMUNHA}$  = massa de matéria fresca da parte aérea da testemunha, g.

$$PR = 100 - b \times (CE - SL) \quad (17)$$

em que:

$b$  = redução da produtividade por aumento unitário da salinidade acima da  $SL$ ,  $(dS\ m^{-1})^{-1}$ ;

$CE$  = salinidade mantida durante o cultivo,  $dS\ m^{-1}$ ;

$SL$  = salinidade limiar tolerada pela cultura,  $dS\ m^{-1}$ .

### 2.2.2.6 Experimento V - Tolerância da alface à salinidade no solo e em sistema hidropônico do tipo NFT

Sementes de alface crespa cultivar Verônica foram semeadas em espuma fenólica em 9/10/2006 e, após 26 dias, foram transplantadas. Nesse experimento, a tolerância da alface à salinidade foi avaliada no sistema NFT e também em solo.

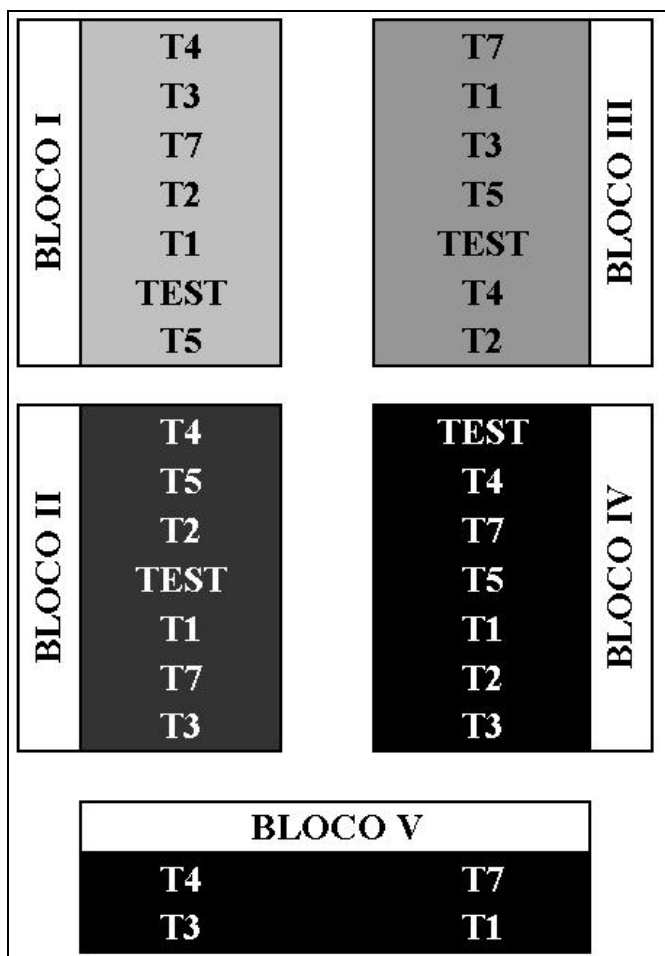


Figura 29 - Distribuição dos tratamentos em cinco blocos separados na casa-de-vegetação durante o Experimento V

Para o experimento em NFT, a casa-de-vegetação foi dividida em quatro blocos e em cada um desses foram aleatorizados os sete tratamentos indicados na **Tabela 10**. Os tratamentos empregados são os mesmos do Experimento IV, à exceção de T6, ausente. A variação da salinidade entre tratamentos foi obtida com a aplicação de NaCl à solução nutritiva. Para o tratamento Testemunha não houve aplicação de NaCl. A água utilizada para o preparo da solução nutritiva apresentava salinidade de  $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ . No **ANEXO A** é apresentada a análise dessa água, oriunda de uma das Estações de Tratamento de Água do campus da ESALQ. Essa mesma água foi utilizada na reposição do volume evapotranspirado. Eventuais diferenças entre experimentos em relação à CE da solução podem ser atribuídas à qualidade da água, variável ao longo do ano.

Tabela 10 - Descrição dos tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface

Tratamento	NaCl g L <sup>-1</sup>	Cl mmolc L <sup>-1</sup>	Na	CE <sub>solução</sub> (dS m <sup>-1</sup> )
TEST	0	0,00	0,00	2,41
T1	0,585	10,00	10,00	3,34
T2	1,17	20,00	20,00	4,35
T3	1,755	30,00	30,00	5,33
T4	2,34	40,00	40,00	6,24
T5	2,925	50,00	50,00	7,32
T7	4,095	70,00	70,00	9,08

Para avaliar a tolerância da alface à salinidade em solo sob as mesmas condições de cultivo que na hidroponia foram utilizadas plantas cultivadas em vasos. O solo utilizado foi oriundo da camada superficial (< 20 cm) de um perfil classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Álico fase arenosa, proveniente do campus da ESALQ (22° 43'13,0" latitude Sul, 47° 36'49,6" longitude Oeste, 569 m altitude) e denominado Série "Sertãozinho". As características químicas e físicas desse solo são apresentadas na **Tabela 11** e na **Tabela 12**.

Sobre uma camada de 2 cm de brita protegida com manta geotêxtil, o solo, peneirado e seco, foi colocado em vasos de 12 L. Esses vasos são perfurados no fundo para permitir a drenagem, foram pintados com tinta prateada para diminuir o aquecimento e cobertos com 'mulch' plástico (**Figura 32**). O 'mulch' usado foi do tipo dupla face prateado/preto, possuía 25 micras de espessura e apresentava refletividade maior que 25 % (POLYSACK, 2007).

Descontada a camada de brita e após sua reestruturação mediante irrigações, o solo passou a ocupar cerca de 11,1 L do vaso. A média da densidade do solo a partir de 8 amostras foi estimada em 1,452 kg dm<sup>3</sup>. A condutividade hidráulica saturada foi estimada em 14,65 cm hora<sup>-1</sup>, sendo classificada como alta. O solo foi salinizado via gotejamento (4 L hora<sup>-1</sup>) com oito soluções nutritivas contendo NaCl à semelhante proporção dos tratamentos usados no ensaio em hidroponia nesse mesmo experimento. As soluções nutritivas salinizantes foram usadas em cinco eventos de salinização para superar o poder tampão do solo e se atingir o equilíbrio dinâmico entre as salinidades do solo e da própria solução.

Na **Tabela 13** é apresentada a média da condutividade elétrica das soluções nutritivas salinizadas aplicadas ao solo nos cinco eventos de salinização. A água utilizada para preparo das soluções apresentava CE de 0,69 dS m<sup>-1</sup>.



A pasta saturada para determinação da CEes foi preparada utilizando-se 0,3 L de solo, ao qual foi sendo adicionando gradualmente água destilada até se atingir o ponto de saturação. O ponto de saturação foi estabelecido quando as amostras passaram a apresentar aspecto brilhante, além de escorregar facilmente pela espátula. As pastas foram colocadas em repouso por um período de 20 horas dentro de câmaras úmidas. Em seguida foram retirados os extratos de saturação por meio de sucção, conforme a metodologia proposta por Richards (1954) (**Figura 33**).

A irrigação no cultivo em vaso foi baseada na tensão da água do solo, sendo a tensão crítica estabelecida em 10 kPa. A tensão da água no solo foi acompanhada diariamente por meio de tensímetro eletrônico de punção acoplado em tensiômetros de câmara de ar instalados à profundidade de 15 cm (**Figura 34a e Figura 34b**). O volume de irrigação era entornado nos vasos manualmente.

No ensaio com solo, cada planta cultivada em vaso foi considerada uma unidade experimental. Os oito tratamentos foram dispostos em delineamento aleatorizado em oito blocos, havendo uma repetição por bloco (**Figura 34a**).

Após 27 DAT, as plantas foram colhidas e processadas como descrito anteriormente no Experimento IV. Para verificar os níveis de macronutrientes e possíveis acúmulos de sódio e cloreto em níveis fitotóxicos ou capazes de comprometer a segurança alimentar, foram realizadas análises químicas das folhas, conforme metodologia proposta por Malavolta; Vitti.; Oliveira (1997).

Tabela 11 - Propriedades físicas do solo

Camada	Umidade	Densidade do solo	Frações granulométricas			
	Volumétrica (%)		Argila	Silte	Areia	Textura
cm	21,68 % à 10 kPa	kg dm <sup>-3</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0 - 20	11,74 % à 70 kPa	1,452	60	40	900	arenosa

Tabela 12 - Propriedades químicas do solo

pH	MO	S	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	----mg dm <sup>-3</sup> ---	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----							-----%-----		
4,4	17	6	5	1,5	12	4	2	28	17,5	45,5	38	10

Tabela 13 - Média da condutividade elétrica da solução nutritiva salinizada aplicada ao solo nos cinco eventos de salinização

<b>Tratamento</b>	<b>CE<sub>sol</sub> (ds m<sup>-1</sup>)</b>
TEST	2,52
T1	3,56
T2	4,66
T3	5,70
T4	6,69
T5	7,76
T6	8,86
T7	9,96

#### **2.2.2.7 Experimento VI - Tolerância da alface à salinidade no solo e em sistema hidropônico do tipo NFT (repetição)**

Sementes de alface crespa cultivar Verônica foram semeadas em espuma fenólica em 1/12/2006 e após 30 dias foram transplantadas. Nesse experimento, foram repetidos os procedimentos usados para estabelecimento e avaliação dos ensaios em hidroponia NFT e em solo do Experimento V.

Para a repetição da pesquisa em solo, foi retirado o ‘mulch’ plástico, deixando o solo perder umidade por alguns dias. Esse procedimento foi importante para preservar a densidade do solo, que poderia ser influenciada pela retirada das raízes do experimento anterior e também pelo transporte dos vasos para nova salinização em outra casa-de-vegetação.

As plantas foram colhidas aos 25 DAT. Foram procedidas as mesmas análises descritas no Experimento IV, à exceção da análise do sistema radicular. Adicionalmente, foram realizadas outras duas análises: a análise do teor foliar de nitrato para ambos os sistemas de plantio e a análise sensorial das plantas produzidas no ensaio em hidroponia NFT.

A análise sensorial foi realizada aos 25 DAT pela manhã, empregando-se folhas coletadas ao mesmo dia por volta das 8:00 da manhã (horário de verão). As folhas de cada tratamento foram sanitizadas com hipoclorito de sódio a 10 ppm durante 10 minutos, seguindo-se sua lavagem em água corrente para remoção do hipoclorito que poderia alterar o sabor. A análise sensorial foi realizada na mesma manhã no Laboratório de Processamento e Análises de Alimentos, usando 29 provadores não treinados (19 homens, 10 mulheres). Foi empregado o teste

da diferença em relação ao Controle (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999). Amostras foram servidas em pratos descartáveis de polipropileno, identificados por números aleatórios. Cada provador recebeu 8 amostras, uma do Controle e as outras dos tratamentos salinos. Foi pedido a cada um dos 25 provadores que provasse uma amostra do padrão e em seguida uma de um outro tratamento, e que atribuisse nota a esse tratamento, de acordo com uma escala de 0 a 9 que representava, respectivamente, a maior semelhança e a maior diferença ao padrão. Também foi solicitado aos provadores que fizessem uma descrição dos atributos que melhor caracterizaram as diferenças entre os tratamentos. Os resultados foram submetidos à análise de variância. E o teste de Dunnett foi aplicado para comparar as médias dos tratamentos.

#### 2.2.2.8 Experimento VII - Utilização de águas salobras em reposição à evapotranspiração da alface no sistema NFT

Sementes de alface crespa cultivar Verônica foram semeadas em espuma fenólica em 13/03/2007 e após 34 dias foram transplantadas.

Diferentemente dos Experimentos IV e V, a reposição da água evapotranspirada foi feita usando diferentes águas salobras. A salinidade foi obtida adicionando NaCl à água tratada disponibilizada no campus, conforme **Tabela 14**. Somente para o tratamento Testemunha foi reposta água sem adição de NaCl. Inicialmente, todas as parcelas receberam solução nutritiva não salinizada ( $CE_{sol} = 2,24 \text{ dS m}^{-1}$ ). A evolução da salinidade mediante reposição com as águas salobras foi acompanhada com medições periódicas da CE da solução. No **ANEXO B** é apresentado o resultado da análise da água do abastecimento local, referente à coleta em 26/03/2007.

Tabela 14 - Concentrações de NaCl, Cl e Na e condutividade elétrica da água ( $CE_a$ ) nos diferentes tratamentos aos quais foram submetidas as plantas de alface

Tratamento	NaCl ( $\text{g L}^{-1}$ )	Cl ( $\text{mmolc L}^{-1}$ )	Na ( $\text{mmolc L}^{-1}$ )	$CE_a$ ( $\text{dS m}^{-1}$ )	pH
TEST	0	0	0	0,521	6,96
T1	0,585	10	10	1,597	7,07
T2	1,17	20	20	2,54	7,15
T3	1,755	30	30	3,52	7,17
T5	2,925	50	50	5,44	7,29
T7	4,095	70	70	7,29	7,30

Adicionalmente, foi avaliado o teor de nitrato na seiva da alface. Para isso, foi coletada de cada parcela a folha mais jovem completamente expandida. Com auxílio de uma tesoura, a nervura central dessa folha foi separada do limbo e cortada em pedaços, os quais foram prensados em uma prensa manual (esmagador de alho). O extrato foi avaliado em sensor eletrônico específico para testes rápidos de nitrato (**Figura 35**).



Figura 30 - Visão geral da casa-de-vegetação durante o Experimento III

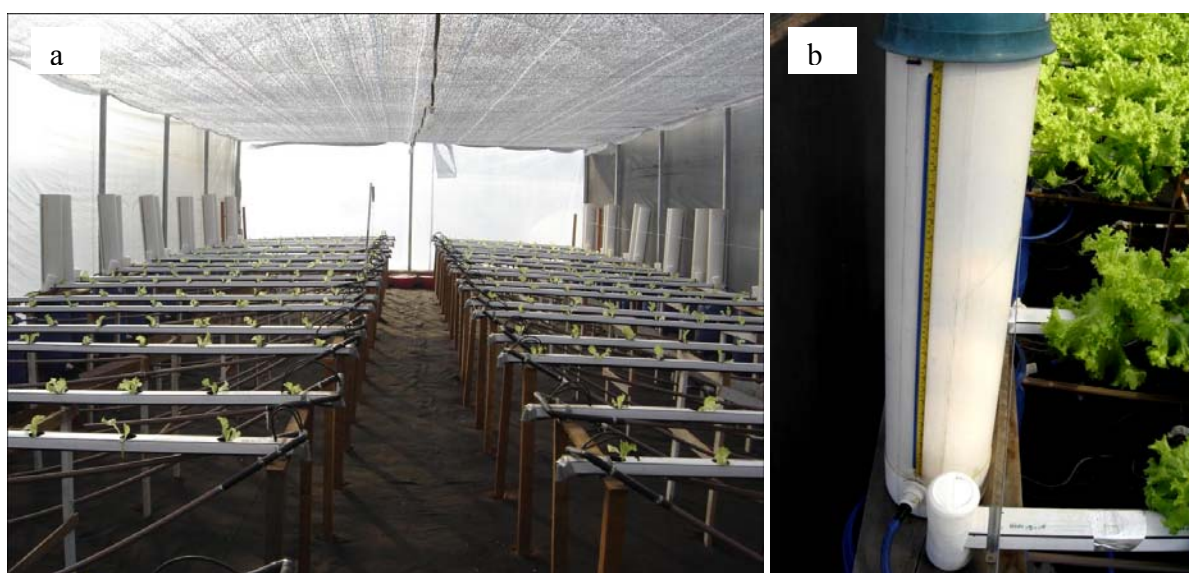


Figura 31 - Casa-de-vegetação protegida por manta termorrefletora (a) e tanque graduado do sistema de abastecimento automático (b) (Experimento IV)



Figura 32 - Irrigação do solo com uma solução salinizante no primeiro evento de salinização (a) e vasos protegidos com mulch prateado durante o último evento de salinização (b) (Experimento V)

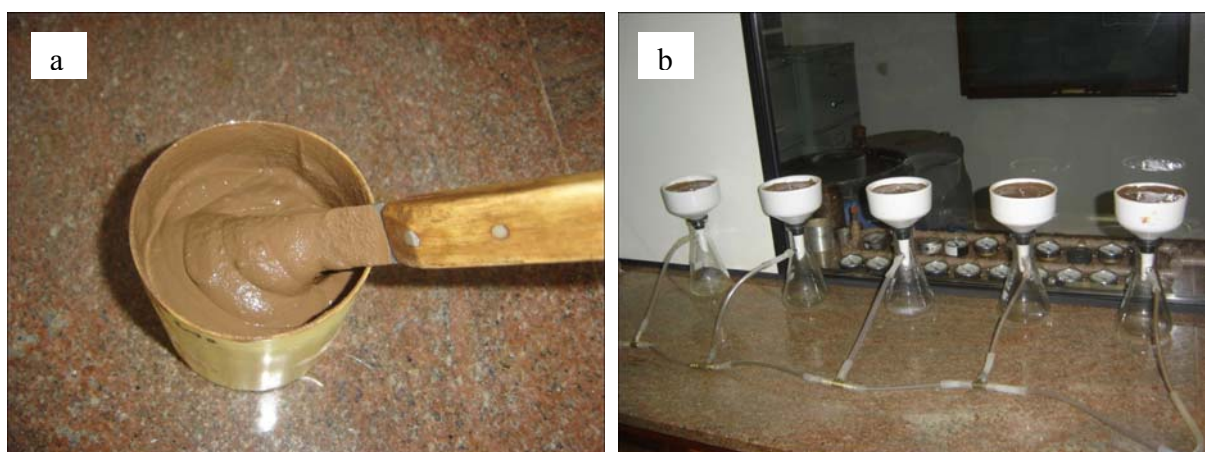


Figura 33 - Preparo da pasta de saturação do solo (a) e obtenção do extrato de saturação em funis de Buchner (b)

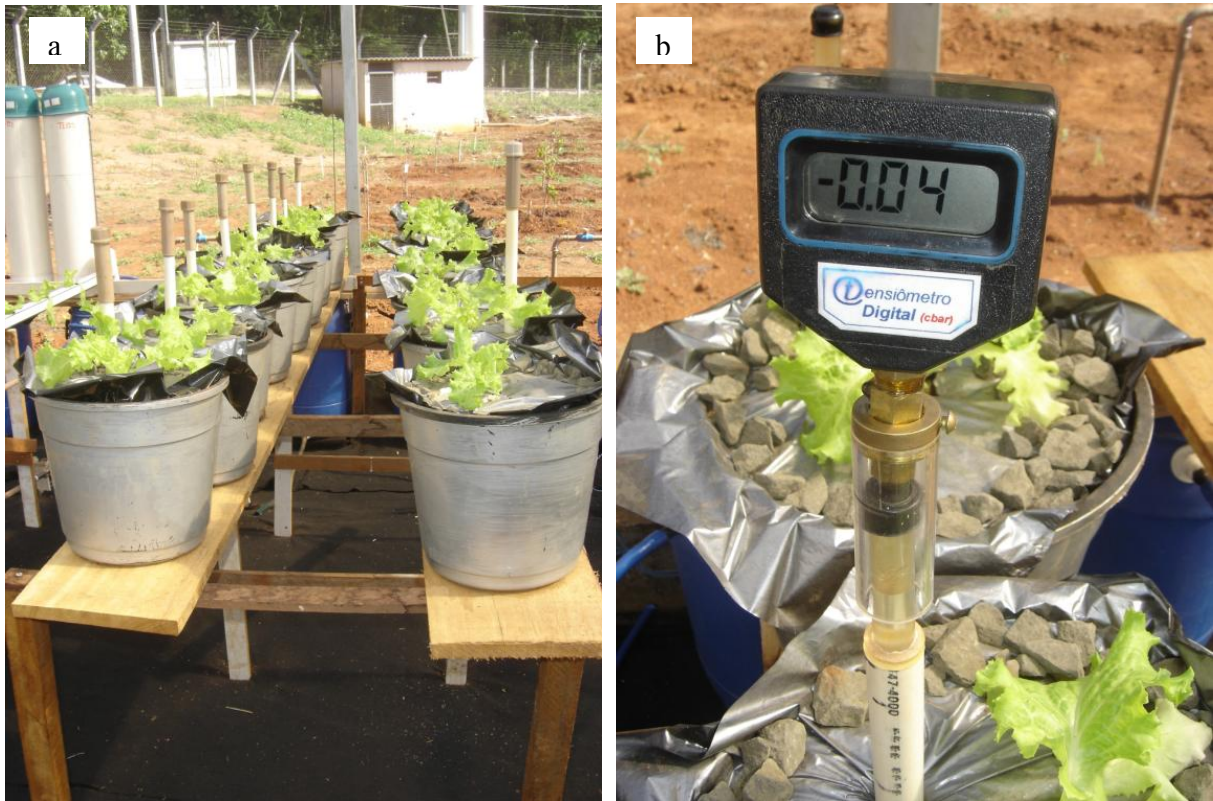


Figura 34 - Tensiômetros instalados no solo em dois dos blocos do delineamento experimental (a) e tensiômetro acoplado ao tensiômetro durante leitura da tensão (b) (Experimento V)

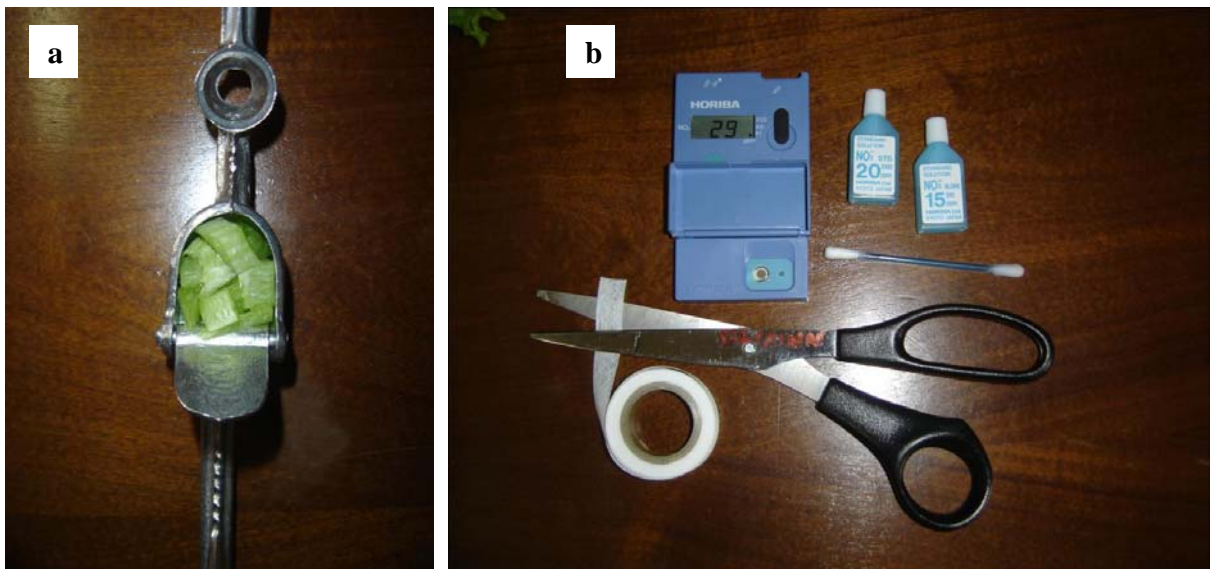


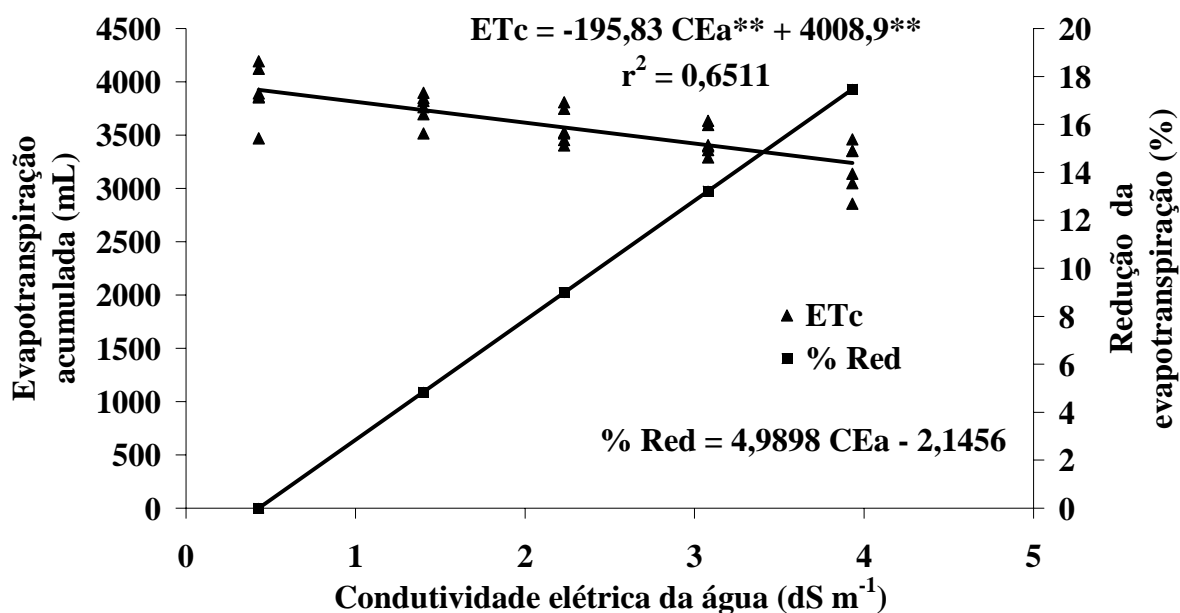
Figura 35 - Pedacos da nervura central da alface em prensa manual usada para extração da seiva (a) e aparelho usado para medição do nitrato foliar (b)

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Experimentos em quartzo moído

#### 2.3.1.1 Experimento I - Produção hidropônica de alface ‘Hortênciã’ em quartzo moído utilizando águas salobras

Analisando a **Figura 36**, observa-se que a reposição das águas mais salobras (NaCl + CaCl<sub>2</sub>) à solução nutritiva proporcionou menor consumo total de água pela alface na hidroponia, o que está de acordo com os resultados obtidos por Gervásio, Carvalho e Santana (2000) e Viana et al. (2004), que trabalharam, respectivamente, com alface americana cv. Lucy Brown em Latossolo Roxo Distrófico e alface crespa ‘Elba’ em Argissolo “franco-arenoso”. Tal como Viana et al. (2004), no presente trabalho ajustou-se uma equação linear para descrever a relação entre o volume total aplicado e a salinidade da água. Enquanto Viana et al. (2004) reportaram uma redução de 11,24 % na evapotranspiração relativa para cada incremento unitário na CE<sub>a</sub> (dS m<sup>-1</sup>), no presente estudo (**Figura 36**) reporta-se uma diminuição de 4,99 % no volume total aplicado.

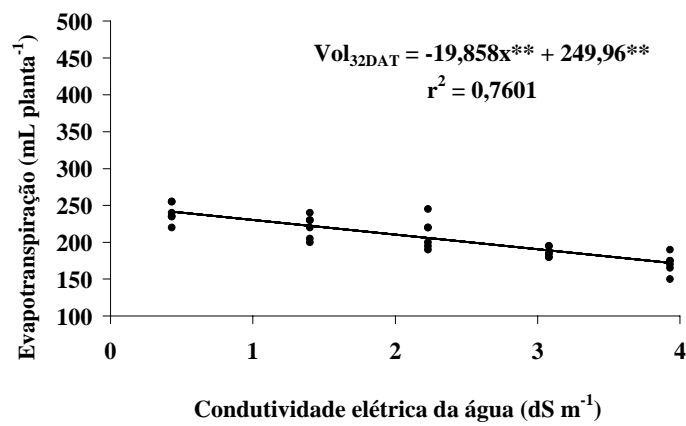
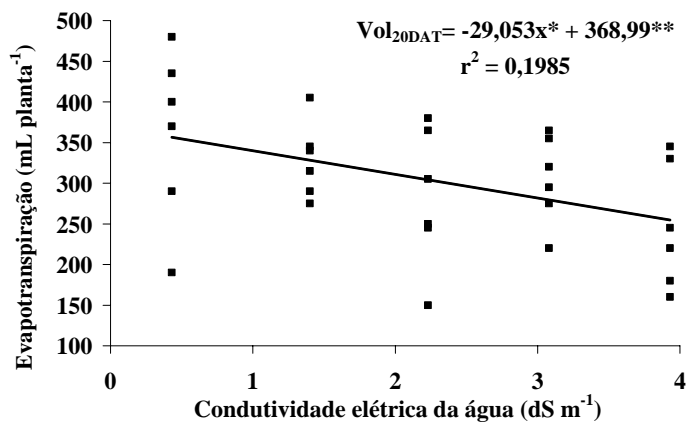
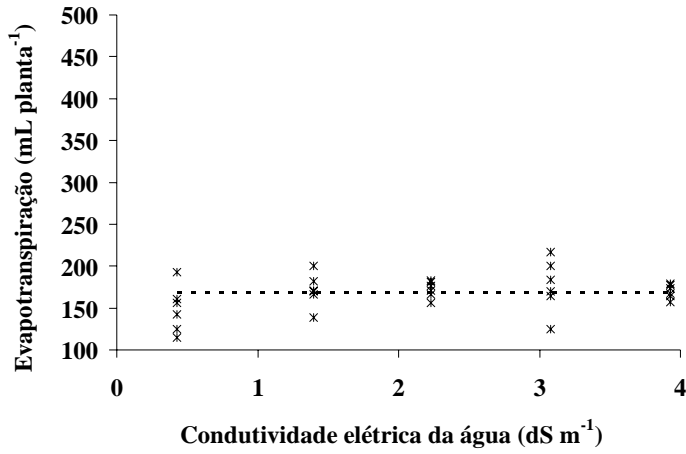


(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 36 - Evapotranspiração acumulada (ETc) e sua redução percentual (% Red) em função da salinidade da água no cultivo hidropônico de alface crespa ‘Hortênciã’

As diferenças no consumo diário foram registradas apenas nas avaliações realizadas na segunda metade do período de cultivo, não havendo significância entre as diferenças observadas na avaliação ocorrida no início do presente experimento ( $ET_{c_{DAT}} = 5,598CE_a^{ns} + 155,31^{**}$ ;  $r^2 = 0,096$ ) (**Figura 37**). Esse resultado sinaliza que o acúmulo de sais ao longo do tempo implicou

em menor consumo hídrico, seja pelo efeito osmótico dos sais dificultando a absorção de água, seja em decorrência da menor produção de superfície transpirante.



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 37 - Consumo diário de água da alface ‘Hortência’ em função da salinidade da água de reposição aos 7 DAT (a), 20 DAT (b) e 32 DAT (c)



Na maioria dos cultivos hidropônicos brasileiros de alface se utiliza a técnica do fluxo laminar de solução nutritiva - NFT (nutrient film technique) (FURLANI, 1999; RODRIGUES, 2002), sendo recomendado, conforme Furlani et al. (1999), um volume mínimo de solução nutritiva de 0,5 a 1,0 L por planta. No presente estudo, o sistema hidropônico em ‘sílica’ caracterizou-se por fornecer um volume de 1,1 L de solução nutritiva por planta, sendo a aeração desta solução efetuada apenas três vezes ao dia, representando uma desvantagem em relação ao sistema NFT, no qual se espera maior oxigenação pela constante movimentação da solução. Outra desvantagem do sistema utilizado foi a exposição da solução nutritiva à radiação (**Figura 8**), o que pode ter potencializado seu ‘envelhecimento’ e o consumo de água por evaporação, com conseqüente incorporação de sais provenientes das águas salobras de reposição (**Figura 38**).

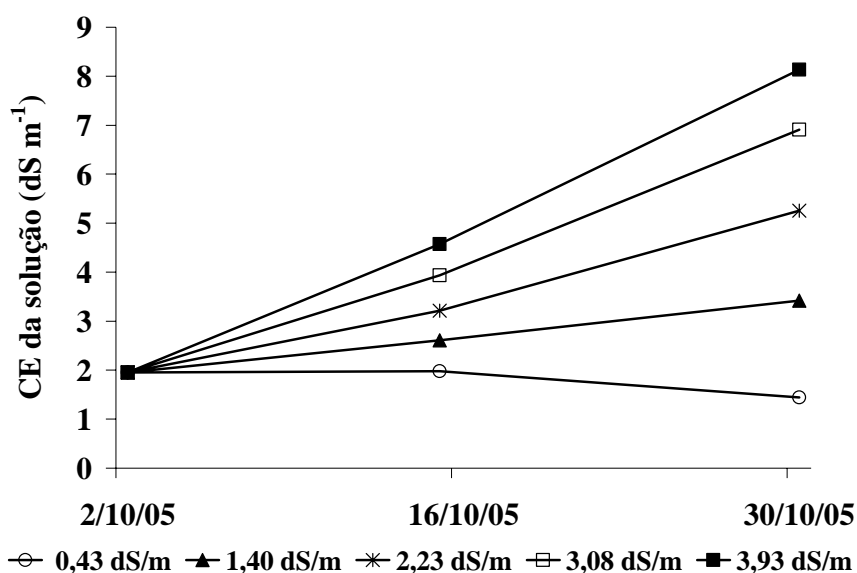


Figura 38 - Evolução da CE da solução nutritiva (0 - 28 DAT) para os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação no cultivo hidropônico da alface ‘Hortência’

Mediante a **Figura 38**, observa-se que a salinidade da solução nutritiva diminuiu com a aplicação de água com 0,43 dS m<sup>-1</sup> de CE (controle) ao longo do experimento. Esta diminuição era esperada em função do consumo de nutrientes pelas plantas. Para corrigi-la, recomenda-se a aplicação de soluções concentradas. Diferentemente, no presente experimento, tão somente foi aplicado o volume de 75 mL de solução nutritiva por vaso (em 16/10/05, 14 DAT). Para as demais águas de irrigação, tem-se o aumento da CE do meio, marcando a diminuição do

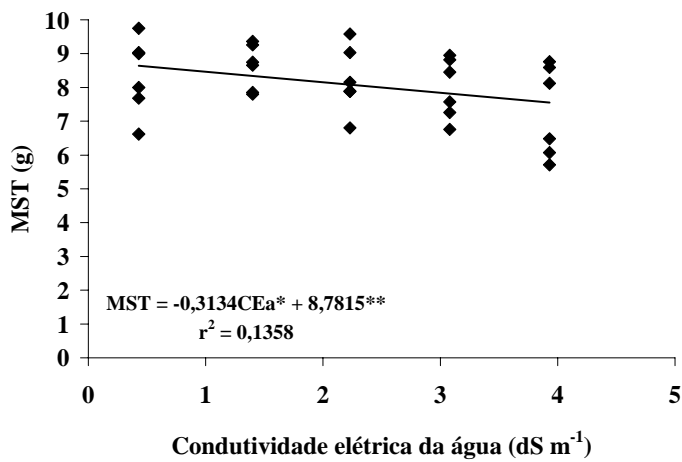
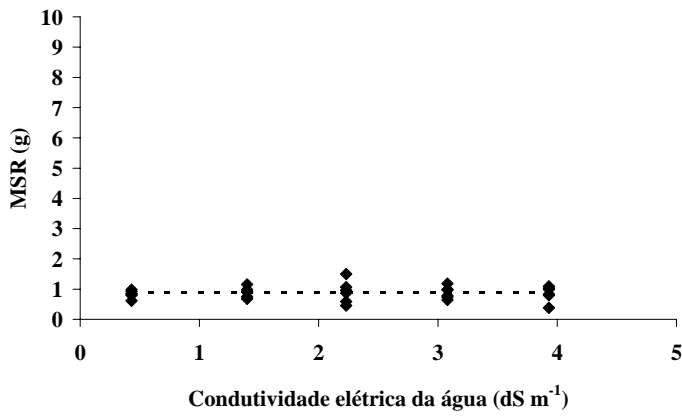
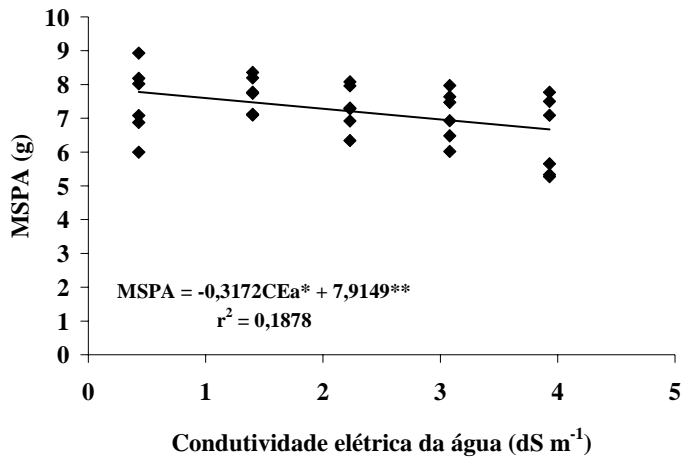
potencial osmótico e a salinização da solução nutritiva. Também para esses tratamentos, foram aplicados 75 mL de solução nutritiva original por vaso.

No presente trabalho, o acúmulo de massa de matéria seca das plantas da alface ‘Hortência’ diminuiu à medida que se aumentou a salinidade da água de irrigação. Isso ocorreu em função da diminuição da parte aérea, já que as raízes não foram prejudicadas (**Figura 39**). Para a variável massa de matéria seca da parte aérea, a produtividade relativa dessa cultivar foi reduzida à razão de 4,22 % por acréscimo unitário na salinidade da água de irrigação (**Figura 40a**).

Calcular as produtividades obtidas nos níveis de salinidade como percentuais da produtividade máxima obtida no tratamento controle, tal qual demonstrado na **Figura 40a**, é o primeiro passo para estabelecer a curva de tolerância de uma cultura à salinidade, com base no modelo de Maas e Hoffman (1977). Posteriormente, é preciso eliminar os pontos que proporcionaram produtividades relativas iguais ou superiores à máxima (100 %), o que é necessário para se estimar a declividade da função (coeficiente  $b$ ) a partir de onde deve começar a realmente diminuir a produtividade (**Figura 40b**). O coeficiente angular da função de primeiro grau ajustada dessa maneira fornece o parâmetro  $b$  do modelo. O parâmetro SL pode ser obtido da mesma função, para uma produtividade de 100 %. Da **Figura 40b**, poder-se-ia encontrar  $b = -6,875 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$  e  $SL = 1,97 \text{ dS m}^{-1}$ , como indicadores de uma maior tolerância da alface à salinidade na hidroponia, uma vez que Maas e Hoffman (1977) encontraram  $b = -13 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$  e  $SL = 1,3 \text{ dS m}^{-1}$ .

Mas essa comparação seria correta? Para tentar responder essa questão, torna-se necessário discutir primeiramente os trabalhos de tolerância da alface à salinidade conduzidos em solo.

Conceitualmente, os valores de salinidade limiar são medidos como CE no extrato de saturação do solo,  $CE_{es}$ , sendo determinados para desde o estágio inicial de desenvolvimento até a maturação da cultura (AYERS; WESTCOT, 1999). Ou seja, ao se indicar que a tolerância da alface é de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ , informam os autores da FAO que em se mantendo no solo uma  $CE_{sol}$  correspondente à CE do extrato de saturação de até  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  a cultura não terá depreciação de sua produção. A partir desta  $CE_{es}$ , assume-se que há perdas produtivas. Mediante os conceitos expostos pelos autores, espera-se atingir no solo uma  $CE_{es}$  de  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  ao se aplicar água com salinidade de  $0,9 \text{ dS m}^{-1}$  à fração de lixiviação de 15 a 20 %, desde que a cultura consuma água de acordo com o padrão de extração normal (40-30-20-10), o qual dita os percentuais de extração de água no perfil efetivo do sistema radicular.



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 39 - Massas de matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e total (MST) em função dos diferentes níveis de salinidade da água de reposição

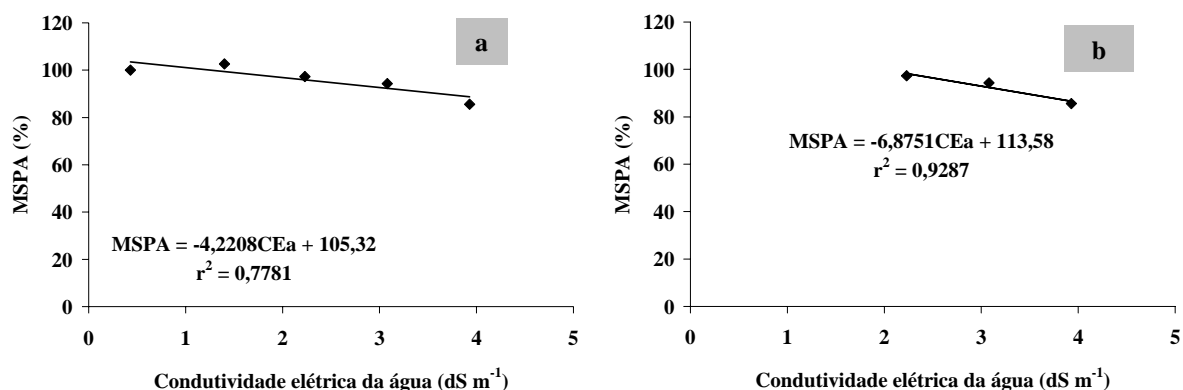


Figura 40 - Rendimento relativo para as médias de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) em função da salinidade da água de reposição, ao se considerar todos os pontos (a) e ao se eliminar os pontos com produtividade igual ou superior a 100 % (b)

Nas condições brasileiras, por exemplo, sob ambiente protegido, Silva et al. (2000) conseguiram estudar a tolerância da alface ‘Verônica’ em conformidade com as diretrizes da FAO, após conduzirem sucessivos ciclos. Aplicando quatro níveis crescentes de salinidade da água, estabilizaram a salinidade do solo no segundo ciclo. No terceiro ciclo, conduzido sob valores de  $CE_{es}$  constantes, obtidos pela aplicação dos mesmos níveis de  $CE_a$ , mas em equilíbrio dinâmico com o solo, os autores ilustram uma salinidade limiar em torno de  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ . Vale informar que o preparo das águas salobras foi feito com NaCl adicionado a uma solução nutritiva diluída. Portanto, a fração de lixiviação que usaram proporcionou equilíbrio dinâmico entre as salinidades da água e do solo, sem torná-lo salinizado ou empobrecido em nutrientes.

Deve-se ponderar que um mesmo valor de CE no extrato de saturação pode ser mantido para diferentes valores de CE à umidade atual em diferentes disponibilidades hídricas no solo. Assim, para distintos manejos da irrigação, por exemplo, para diferentes turnos de rega ou diferentes níveis críticos de tensão, pode-se ter distintos valores pontuais de CE da solução do solo ao longo do tempo, a despeito de se obter um mesmo valor de  $CE_{es}$ . Por este motivo, diferentes valores de salinidade limiar podem ser obtidos para uma mesma cultura quando se muda o manejo da água. Isso porque o efeito final mensurado contempla o efeito osmótico promovido pelos diferentes teores de água no solo, mas também o relativo ao potencial mátrico, dentre outros fatores interativos com a umidade e a fertilidade do solo ao longo do ciclo. Para se

utilizar um valor indicado de salinidade limiar para uma cultura/cultivar, deve-se, portanto, assegurar que são semelhantes as condições de contorno de sua determinação.

Irrigações mais freqüentes tendem a proporcionar maior tolerância aos sais. Por outro lado, o contato das folhas com os sais tende a diminuir a tolerância. Em Portugal, Beltrão, Trindade e Correia (1997), apesar de trabalharem com irrigações diárias, utilizaram aspersores para irrigar alface cv. Nevada. Observaram uma redução de 50 % na produtividade comercial quando passaram a submetê-la à água de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ , em comparação à água de  $1 \text{ dS m}^{-1}$  (controle). Nesse mesmo trabalho, é mostrado que o tipo de solo pode também interferir na tolerância da alface à salinidade. A melhor resposta em produtividade relativa foi obtida em solo mais argiloso. Entretanto, também se releva a importância do manejo correto da irrigação, já que em termos de produção absoluta, a do solo arenoso foi maior. Os autores justificam-se na oxigenação deficiente do solo argiloso, que mostrou problemas de drenagem. Deve-se ressaltar que a irrigação era baseada no clima (tanque Classe A) e não no solo, não sendo reportado qualquer elemento diferenciador do manejo da água em função do tipo de solo.

Os resultados obtidos por Ayers, Wadleigh e Bernstein (1951), que são uma das três referências utilizadas por Maas e Hoffman (1977) para indicação da tolerância da alface, foram obtidos à céu aberto em campo na Califórnia e mediante irrigações com águas salobras à base de NaCl e  $\text{CaCl}_2$ , efetuadas sempre que o canteiro e o leito dos sulcos de irrigação (irrigação por superfície) estavam secos, o que ocorreu em intervalos de 4 a 6 dias. Os autores não fizeram menção à fração de lixiviação. Os recentes resultados de Silva et al. (2000), por sua vez, foram obtidos em vasos, sendo a irrigação realizada diariamente com solução nutritiva salinizada também com NaCl e  $\text{CaCl}_2$ . Além das condições climáticas, genotípicas e nutricionais, outro fator que pode ter contribuído para a discrepância da tolerância obtida por esses dois grupos de pesquisadores é a época de colheita: enquanto Silva et al. (2000) colheram todas as plantas ao final do ciclo, Ayers, Wadleigh e Bernstein (1951) fizeram a colheita de acordo com a maturidade das plantas, ao longo de uma semana.

Outro ponto que pode diferenciar a resposta de tolerância entre diferentes ensaios diz respeito ao fato de alguns pesquisadores, como Ayers, Wadleigh e Bernstein (1951), escolherem administrar as águas salobras por meio de incrementos até a concentração final desejada, enquanto outros, como Silva et al. (2000), já iniciam os tratamentos em suas concentrações iônicas almejadas. O procedimento de incrementar a concentração da água salobra é justificado por

muitos pesquisadores (a exemplo de FEIGIN et al., 1991) como forma de não se submeter as plantas ao choque osmótico. Obviamente é uma tentativa de aclimação que pode exteriorizar maior tolerância das plantas à salinidade. No caso de Ayers, Wadleigh e Bernstein (1951), para seu tratamento mais salino ( $9.550 \text{ mg L}^{-1}$ ), devem ter gasto cerca de 12 dias até seu estabelecimento, já que informam terem usado incrementos de  $3.000 \text{ mg L}^{-1}$  em intervalos de 4 dias. Considerado o curto ciclo da alface, esse intervalo de tempo pode representar muito para a tolerância das plantas.

O fato de cultivar à céu aberto ou em ambiente protegido também pode levar à valores diferentes de tolerância à salinidade. Sonneveld (2004) mostra ser variável a tolerância obtida sob sombreamento artificial ou sob diferentes estações do ano.

Por outro lado, a despeito de importantes informações geradas, vários trabalhos que parecem tratar da tolerância da alface à salinidade mostram alguma incompatibilidade metodológica com as diretrizes apresentadas pela FAO. O trabalho de Gervásio, Carvalho e Santana (2000), por exemplo, foi conduzido com a aplicação de águas salobras à base de NaCl, sem fração de lixiviação em um solo previamente adubado. Nesse caso, não houve o equilíbrio dinâmico e a salinidade do solo foi crescente. A salinidade limiar (CEes) para alface americana 'Lucy Brown' foi surpreendentemente estimada em  $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Por sua vez, Dias et al. (2005) estudaram o estabelecimento da salinidade do solo mediante sais fertilizantes em várias concentrações. Eles obtiveram equações do segundo grau para as respostas de produtividade da alface crespa 'Verônica'. Para estimar a salinidade limiar, encontraram o ponto de máximo da função. Nesse caso, encontraram, ao que parece, apenas o ponto de máxima resposta às suas soluções fertilizantes, devendo a máxima tolerância à salinidade estar na função linear que seria encontrada para os pontos além deste. A salinidade limiar estimada pelos autores foi  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ .

Para escapar do inconveniente do uso da fração de lixiviação, que leva à perda da adubação e/ou da calagem, e ao mesmo tempo manter uma salinidade constante ao longo do ciclo, muitos trabalhos (SILVA, 2002; DIAS, 2004) têm sido conduzidos com o solo já salinizado e adubado. Neles, as irrigações são feitas com água doce ou, a depender da necessidade, com soluções mantenedoras da salinidade. Nesse caso, tem-se, a princípio, uma evolução metodológica compatível ao modelo de Maas e Hoffman para estudos em solo.

No caso da hidroponia em sistema fechado (sem drenagem e sem recirculação de solução), não há fração de lixiviação e, ao se aplicar águas salinas, ocorre o aumento da salinidade, não

havendo equilíbrio dinâmico das salinidades da água e da solução (**Figura 38**). Portanto, o conceito de salinidade mantida ao longo do ciclo não se aplica ao caso do presente trabalho. E nesse sentido, não se deveria comparar a resposta de tolerância obtida no presente experimento com aquela divulgada pela FAO.

A utilização de águas salobras em hidroponia do tipo sistema fechado poderia diminuir ou aumentar o nível de tolerância da cultura à salinidade da água de reposição, em comparação com níveis de salinidade constantes na solução nutritiva. Como exemplo do presente trabalho, para a água salobra de  $3,93 \text{ dS m}^{-1}$ , ter-se-ia o preparo de uma solução nutritiva salinizada com cerca de  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Para a mesma água, usada apenas na reposição do volume evapotranspirado, há um lento aumento da salinidade da solução nutritiva no início do ciclo e, posteriormente, uma salinização<sup>7</sup> mais rápida. A depender da duração dessas sub-fases do ciclo, e das condições climáticas em cada uma delas, pois disso depende o consumo hídrico e o acúmulo de sais, a resposta ponderada da alface pode ser mais relacionada à baixa salinidade inicial ( $\text{CESol}_{\text{até } 13 \text{ DAT}} = 1,95 \text{ dS m}^{-1} + 0,202 \text{ dS m}^{-1}\text{dia}^{-1}$ ) ou à alta salinidade ao final do ciclo ( $\text{CESol}_{14-28 \text{ DAT}} = 4,58 \text{ dS m}^{-1} + 0,237 \text{ dS m}^{-1}\text{dia}^{-1}$ ) (**Tabela 15**), em comparação ao uso da mesma água apenas no preparo da solução ( $\text{CESol}_{1-28 \text{ DAT}} \approx 6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Utilizar a média ponderada da salinidade nesse caso, e compará-la com a salinidade mantida constante, pode não ter sentido devido à amplitude dos valores ( $1,95$  a  $8,13 \text{ dS m}^{-1}$ ) e também devido às capacidades de adaptação e aclimatação das plantas. Quanto maior o ciclo e/ou a lâmina repostada, mais crescente é a preponderância dos valores extremos sobre a resposta da planta, o que diminuiria a tolerância, em relação à solução de salinidade constante ( $\text{CESol}_{1-28 \text{ DAT}} \approx 6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Por outro lado, a aclimatação das plantas à solução lentamente sendo salinizada pode promover melhor resposta que a obtida com o choque osmótico da submissão das plantas à solução de salinidade constante, especialmente se o ciclo é curto ou se a reposição de água é baixa.

Intuitivamente, verifica-se que quanto maior a precocidade da cultivar, menor deve ser o efeito da salinidade quando a água salobra é usada para reposição do volume consumido. Isso abre uma linha de pesquisa envolvendo a equiparação de produtividades com o uso de águas salobras ao se buscar ganhos de produção baseados em taxas de crescimento (produtividade no tempo) e não na produção máxima usual (produtividade na área). Os custos de produção devem aumentar com o aumento dos ciclos e das colheitas, devendo a análise econômica ser usada para

---

<sup>7</sup> Melhor visualizado no Experimento VII.

definir o quanto se pode perder e ganhar quando se busca evitar a salinização mediante a precocidade das colheitas. Nessa análise, o tamanho mínimo da alface, assim como a qualidade das folhas devem ser considerados de acordo com as exigências do mercado. Como vantagem da alface, há a possibilidade de não se reduzir muito o preço de venda, mesmo com a diminuição do peso em função da salinidade, tendo em vista que sua comercialização pode ser feita por peso ou por planta.

Tabela 15 - Estimativa da condutividade elétrica da solução (CEsol) para a reposição com a água de maior salinidade ao longo do ciclo da alface 'Hortência' no Experimento I

(conclusão)					
DAT	CEa (dS m <sup>-1</sup> )	CEsol (dS m <sup>-1</sup> )	DAT	CEa (dS m <sup>-1</sup> )	CEsol (dS m <sup>-1</sup> )
0	3,93	1,95	15	3,93	5,05
1	3,93	2,15	16	3,93	5,29
2	3,93	2,36	17	3,93	5,52
3	3,93	2,56	18	3,93	5,76
4	3,93	2,76	19	3,93	6,00
5	3,93	2,96	20	3,93	6,23
6	3,93	3,16	21	3,93	6,47
7	3,93	3,36	22	3,93	6,71
8	3,93	3,57	23	3,93	6,95
9	3,93	3,77	24	3,93	7,18
10	3,93	3,97	25	3,93	7,42
11	3,93	4,17	26	3,93	7,66
12	3,93	4,37	27	3,93	7,89
13	3,93	4,58	28	3,93	8,13
14	3,93	4,81	<b>CE ponderada</b>	<b>3,93</b>	<b>4,92</b>

Ainda mais diferente deve ser a tolerância obtida em sistema hidropônico fechado quando se emprega uma água salobra no preparo da solução nutritiva e também na reposição da evapotranspiração. No exemplo citado, com os dados do presente experimento, ter-se-ia respostas das plantas à  $CE_{sol} = 6,0 \text{ dS m}^{-1} + 0,22 \text{ dS m}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , com amplitude que poderia ser de 6,0 a 12,4  $\text{dS m}^{-1}$ , desde que mantida a taxa de consumo hídrico aqui registrado.

Para hidroponia do tipo sistema aberto (sem recirculação da solução), espera-se encontrar o mesmo padrão de resposta reportado por Silva et al. (2000) em solo.



Mesmo com uma maior deposição de sais no presente experimento, comparada com a que seria obtida com cultivos em solo com adequada fração de lixiviação, a redução na produtividade sendo de apenas 4,2 %  $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$  sinaliza a possibilidade de comprovação da hipótese sobre uma maior tolerância na hidroponia. Em cultivo no solo, o aumento unitário da salinidade da água, à fração de lixiviação de 30 %, reduziu em 9 % a produção relativa da alface, conforme Viana et al. (2004); em 10 % conforme dados extraídos de Gervásio, Carvalho e Santana (2000) sem o uso de fração de lixiviação; em 13 % segundo Ferreira et al. (1998), com 30 % de lixiviação; e em 19,7 % considerando Ayers e Westcot (1999).

Entretanto, para confirmar a hipótese, será necessário outro tipo de experimento, fixando-se tanto a  $CE_{\text{sol}}$  quanto a fertilidade do meio ao longo do tempo para ambos os sistemas de cultivo. Para reforçar o interpretado, deve-se ainda lembrar que na hidroponia, a saturação e, portanto, o grau de diluição dos sais, são superiores aos observados na pasta saturada que se prepara para avaliar a salinidade em sistemas convencionais (solo). Tomando-se a umidade da pasta como padrão, a  $CE_{\text{es}}$  da hidroponia seria maior que a  $CE_{\text{sol}}$ , significando uma tolerância ainda maior neste sistema de cultivo.

Mais correto, porém, seria utilizar o próprio valor de  $CE_{\text{sol}}$  para estabelecer limites e não buscar estimativas de  $CE_{\text{es}}$  correspondentes, na tentativa de se adequar ao parâmetro usual da literatura. A utilização deste outro parâmetro não implica em perdas científicas, pois, mesmo com o parâmetro ( $CE_{\text{es}}$ ) da diretriz da FAO, não se deveria comparar tão distintos sistemas de cultivo.

Nos EUA, Shannon, McCreight e Draper (1983) reportaram uma tolerância de 2,3 e 2,5  $\text{dS m}^{-1}$  para a alface cultivada em hidroponia com areia lavada, aos 30 e aos 60 DAT, respectivamente. A declividade foi estimada em 9 %  $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$  para ambas as épocas de colheita. Entretanto, indicam os valores 2,3 e 2,5  $\text{dS m}^{-1}$  como aqueles que seriam encontrados no extrato de saturação ( $CE_{\text{es}} = 0,5 CE_{\text{sol}}$ ), visando a comparação com a referência, Maas e Hoffman (1977). O problema é que a transformação dos valores de  $CE_{\text{sol}}$  para  $CE_{\text{es}}$  não parece representar a realidade de seu cultivo, já que a equação utilizada foi obtida de Ayers e Westcot (1999), a qual é válida para fração de lixiviação entre 15 a 20 %. Como Shannon, McCreight e Draper (1983) usaram um sistema de irrigação hidropônico circulante e ajustaram a salinidade a cada 2 dias, é mais provável que a  $CE_{\text{es}}$  seja igual a  $CE_{\text{sol}}$ . Assim, a SL obtida seria 4,6 e 5,0  $\text{dS m}^{-1}$ , aos 30 e aos 60 DAT.

No presente trabalho, foi interessante observar que a solução nutritiva ( $1,95 \text{ dS m}^{-1}$ ), preparada conforme Furlani (1998), já apresentava  $CE_{\text{sol}}$  superior à salinidade limiar para alface, estimada por Maas e Hoffman (1977) em  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  para cultivos em solo. Aceitar irrestritamente esse valor, tão mais amplamente divulgado por Ayers e Westcot (1999), tornaria proibitiva a recomendação de se cultivar alface na solução utilizada. Entretanto, como observam os próprios autores da FAO, os valores que apresentam devem ser considerados apenas como de tolerância relativa entre grupos de cultura, ressaltando ainda que valores de tolerância absoluta variam com o clima, condições de solo, tipo de saís e práticas culturais. Ter-se-á que considerar também as diferenças existentes entre cultivares dentro da mesma espécie.

Para reforçar a importância dessa observação, pode-se citar Sonneveld (2004), que recomenda, para as experimentações com salinidade em cultivos sem solo, iniciar a exposição à salinidade sempre a partir da concentração de nutrientes que promova o máximo desenvolvimento do cultivo. Segundo esse autor, no modelo de Maas e Hoffman não há lugar para a salinidade causada pelos nutrientes, pois o modelo começa com uma salinidade igual a zero atrelada à produção máxima, sendo isso compreensível já que foi desenvolvido para cultivo tradicional em solo.

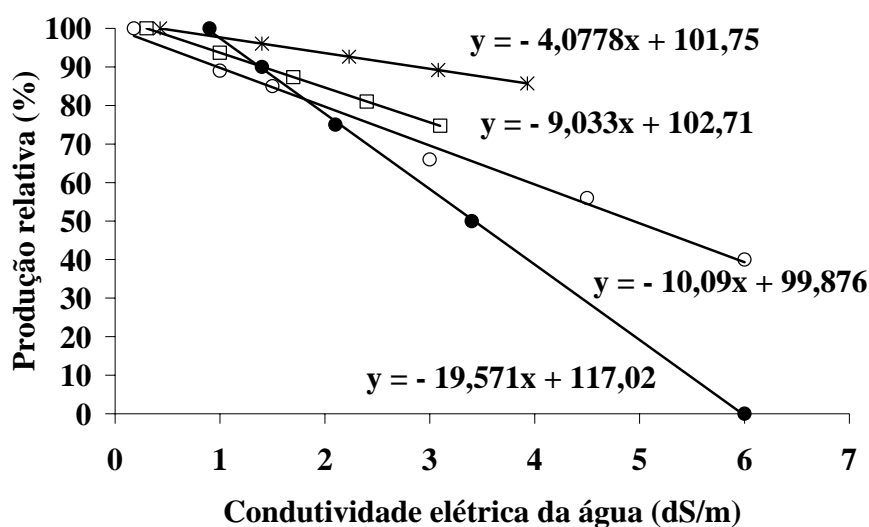
Enquanto em cultivo sem solo, a CE da solução nutritiva é quase exclusivamente promovida pelos nutrientes, no solo esses têm uma papel marginal sobre a CEes. E quando têm, nunca é durante um longo período de tempo (SONNEVELD, 2004), valendo lembrar que as soluções nutritivas hidropônicas são muito mais concentradas que a solução o solo (EPSTEIN; BLOOM, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2004). Sonneveld (2004) também confirma que enquanto a CEes é o parâmetro da salinidade limiar em cultivos em solo, na hidroponia freqüentemente se utiliza a CE da solução no substrato (considerada aproximadamente igual à da rizosfera) ou a própria CE da solução nutritiva.

Dessa forma, fica evidente que a salinidade limiar em cultivos hidropônicos deve ser sempre igual ou superior à salinidade equivalente aos nutrientes em sua mínima concentração capaz de proporcionar o máximo crescimento. Ou seja, a salinidade limiar da alface em hidroponia deve estar em torno de  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$  quando se utiliza a solução nutritiva de Furlani et al. (1999), arbitrando-se ser essa salinidade correspondente à salinidade mínima necessária ao crescimento da cultura.

Para solos com baixa capacidade tampão, é provável que o mesmo comportamento seja observado, pois, para se manter fértil esse tipo de solo, é necessário existir na sua solução um maior nível de salinidade causada por nutrientes. Diferentemente de um solo com alta capacidade de tamponamento, que pode manter-se fértil às plantas, com baixa salinidade de nutrientes na sua solução, o que é compensado pelo provimento mais constante de íons trocáveis. Nesse sentido, os solos de menor poder tampão seriam mais responsivos à salinidade pelo aumento de íons essenciais, devendo a salinidade mínima às plantas ser maior, o que pode resultar em valor de salinidade limiar mais elevado. É importante mencionar que essa observação somente deve ser válida após a completa correção dos solos (saturação do complexo catiônico pela adubação de base), o que é princípio da fertirrigação (ALVARENGA, LIMA; FAQUIN, 2004). Do contrário, um solo de maior poder tampão pode ‘exigir’ mais fertilizantes para nutrição das plantas, pois, parte desses seria mobilizada para seu complexo de trocas iônicas, tornando mais positivamente responsivo o crescimento das plantas nesse solo com o aumento da salinidade (por fertilizantes).

Na **Figura 41** são mostradas as indicações de tolerância à salinidade da água de irrigação para o cultivo da alface em solo e na hidroponia com dados do presente trabalho.

A curva construída com os dados de Ayers e Westcot (1999) mostra menor tolerância da alface à salinidade que as curvas construídas com os dados de alguns dos autores aqui tratados (**Figura 41**). Esta distinção se deve ao fato de Ayers e Westcot indicarem valores de produtividade relativa para  $CE_a$  aplicada durante vários anos. Ou seja, estes autores indicam valores de  $CE_a$  que levam aos valores de  $CE_{es}$  após longo período de salinização, havendo aí a estabilização da salinidade do solo. No caso dos demais autores, não se tem a mesma relação da  $CE_a$  com a  $CE_{es}$  durante todo o ciclo, o que promove um menor prejuízo no início do desenvolvimento das plantas. Ressaltando-se aí um outro fator importante: a precocidade da alface e o menor tempo de exposição aos sais, o que ajuda a diminuir os efeitos da salinidade. Considerando tais diferenças conceituais, os dados obtidos em trabalhos conduzidos como os demais supracitados, incluindo o presente com hidroponia, não devem ser diretamente comparados aos de Ayers e Westcot (1999).



\* Hidroponia □ Viana et al. ○ Gervásio et al. ● Ayers & Westcot

Figura 41 - Produção relativa de alface em função da  $CE_a$  na hidroponia (Experimento I) e estimada de alguns cultivos convencionais

Os resultados apresentados por Ayers e Westcot (1999) estão de acordo com as necessidades dos agricultores em conhecer os prejuízos à produtividade ao adotarem as águas salobras, ao longo do tempo. Os demais trabalhos mais se relacionam à adoção das águas salobras em um único ciclo de produção, o que nem sempre é objetivo do agricultor que cultiva em solo, podendo ser também insuficiente para programas de estudo de impacto ambiental. No entanto, para o caso específico da hidroponia em sistema fechado, a metodologia de se aplicar níveis crescentes de salinidade da água gera resultados mais pragmáticos, pois nela não há lixiviação durante o ciclo (não se evita a salinização) e geralmente não se aproveita a solução ao final o ciclo (os sais não se acumulam entre os ciclos e produção). Em todos os casos, cultivo convencional e cultivo hidropônico, é indiscutível a salinização do solo e da água ao se utilizar águas mais salinas.

O trabalho de Gervásio, Carvalho e Santana (2000) é muito útil para demonstrar a necessidade de lixiviação. Ao não incluir a fração de lixiviação em seu experimento, eles forçaram a salinização do solo mediante o emprego de águas salobras, tal qual registrado no presente trabalho (Figura 38).

Na hidroponia, entretanto, torna-se mais fácil manejar o excesso de sais, pois estes já estão no veículo líquido, o que somente seria possível nos cultivos convencionais após a implantação de sistemas de drenagem e captação, podendo isso implicar em onerosos investimentos, além do desvio de água do setor produtivo para se efetivar a lixiviação.

Enquanto o procedimento de aplicar níveis crescentes de salinidade da água de irrigação parece mais condizente para se determinar a tolerância de culturas à salinidade da água para uma dada condição de manejo (fração de lixiviação, frequência de irrigação), clima e solo (textura, estrutura), a metodologia de manter constante a salinidade do meio parece mais indicada para se determinar a salinidade tolerada no solo ( $CE_{es}$ ) pela cultura. Os trabalhos a serem conduzidos com hidroponia deverão além de identificar a tolerância limiar aos sais, também focalizar o uso de águas salobras que vão salinizando a solução nutritiva no decorrer do tempo. Duas metodologias distintas serão necessárias, preferencialmente utilizando as configurações comerciais de cultivo.

Avaliando-se a **Figura 39**, observa-se que o sistema radicular da alface não foi prejudicado pela salinidade da água, a despeito do nível de salinização registrado na segunda metade do ciclo (**Figura 38**), concordando com os resultados de Tesi, Lenzi e Lombardi (2003) obtidos em hidroponia. Em análise de variância, Ferreira et al. (1998), que cultivaram alface crespa cv. Verônica em Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa, reportaram diferenças (significativas a 1%) para a massa fresca das raízes ao utilizarem águas com  $CE_a$  variando de 1,0 a 5,5  $dS\ m^{-1}$ . Viana et al. (2004) também informam que a salinidade da água reduziu a massa de matéria seca das raízes, implicando em diminuição da relação raiz/parte aérea. No presente trabalho (**Figura 42**), não houve efeito significativo da salinidade sobre a relação raiz/parte aérea, que é um parâmetro utilizado para caracterizar desequilíbrios entre os órgãos das plantas, os quais seriam decorrentes de fatores externos estressantes, podendo ser este mais um indício da maior tolerância à salinidade em sistemas hidropônicos que em sistemas convencionais de plantio.

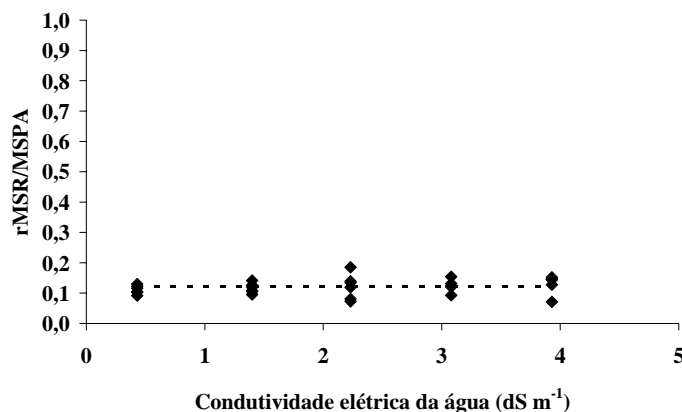


Figura 42 - Relação entre as massas de matéria seca das raízes e da parte aérea da alface ‘Hortêncica’ em função dos diferentes níveis de salinidade da água de reposição

Durante todo experimento, não foram registrados sintomas de deficiência mineral tão pouco de toxidez, a despeito dos níveis de salinidade na solução nutritiva. O ciclo curto da alface certamente contribuiu para os resultados observados, minimizando os efeitos da salinização, o que está de acordo com a observação de Schwarz (1968) de que pressões osmóticas extremamente altas<sup>8</sup> (acima de 1010 kPa;  $\approx 27 \text{ dS m}^{-1}$ ) durante curtos períodos de tempo na solução hidropônica são menos prejudiciais que as pressões moderadamente altas (404-505 kPa;  $\approx 11-14 \text{ dS m}^{-1}$ ) durante longos períodos.

Considerando a discussão acima, pode-se imaginar a existência de um número ilimitado de valores de tolerância da alface à salinidade, em virtude das várias variáveis que ditam a resposta das plantas à salinidade. Nesse particular, não parece correto tratar da tolerância de uma cultura em dois distintos sistemas de cultivo (solo ou hidroponia x solo ou hidroponia) em função do parâmetro salinidade limiar isoladamente. Para isso, seria necessário isolar o efeito da salinidade requerida à nutrição e então avaliar a tolerância em função dos coeficientes b e SL corrigidos. Se ambos os sistemas têm o mesmo parâmetro de tolerância (solo x solo ou hidroponia x hidroponia), essa transformação pode permitir sua comparação. No caso da hidroponia versus solo, sendo os parâmetros diferentes, antes seria preciso também corrigir a CEes para CE medida na solução nutritiva.

Sonneveld (2004) informa que em solos sob ambiente protegido se tem calculado uma relação entre a CE da sua solução e a CE no seu extrato de saturação igual a 1,6. Já Silva (1999)

mostra uma relação entre 1,1 e 1,2 para Latossolo Vermelho Amarelo série ‘Sertãozinho’. Para estimar a salinidade na solução do solo na rizosfera, o autor utilizou cápsulas porosas como extratores.

Assim como a salinidade da solução do solo deve ser maior que a do extrato de saturação, pois a umidade à capacidade de campo é menor que a saturação, espera-se, também por fator de diluição, que a salinidade no extrato de saturação seja maior que a da solução nutritiva. A relação entre a salinidade da solução nutritiva e a salinidade do extrato de saturação do solo poderia ser determinada da seguinte maneira: saturar o solo com solução nutritiva até a condição de equilíbrio indicada pela igualdade da salinidade da solução de drenagem com a solução de irrigação. Esperar o solo perder umidade até a capacidade de campo. Coletar uma amostra e saturar o solo com água destilada até o ponto de saturação. E, então, medir a salinidade no extrato.

Esse procedimento pode permitir estudar os coeficientes  $b$  e  $SL$  dos dois sistemas de cultivo, tendo a  $CE_{sol}$  como parâmetro em ambos.

Por outro lado, poder-se-ia estudar as diferenças de tolerância apenas em função do parâmetro  $b$ . E nesse caso, não seria necessário equiparar o mesmo parâmetro de  $SL$  para os dois sistemas, ficando assumido que realmente a  $SL$  é diferente para os dois casos, sendo o importante a declividade da produtividade a partir desses pontos.

Portanto, concluindo a questão anteriormente levantada: no presente experimento, em respeito às diretrizes metodológicas do modelo da FAO para o modelo de Maas e Hoffman (1977), não foi possível estabelecer que a tolerância à salinidade da alface ‘Hortência’ no sistema hidropônico em sílica é maior que no cultivo em solo.

---

<sup>8</sup> Pressão osmótica (atm) = 0,36 CE (dS m<sup>-1</sup>); 1 atm = 101 kPa.

### 2.3.1.2 Experimento II - Contraste do efeito da salinidade provocada por cloreto de sódio ou sais fertilizantes na produção hidropônica de alface ‘Hortênciã’ em quartzo moído

Analisando-se a **Tabela 16**, verifica-se que a salinidade da solução nutritiva, resultante da recomendação de Furlani (1998) e da aplicação de sais mediante as duas diferentes fontes, permaneceu constante ao longo do tempo em todas as parcelas de cada tratamento proposto. Para um mesmo nível de  $CE_a$ , tem-se em média um mesmo nível de  $CE_{sol}$ , tanto para o NaCl quanto para a mistura de sais fertilizantes ( $CaCl_2$  e KCl), podendo se assumir que foram iguais os potenciais osmóticos proporcionados por ambas as fontes de salinidade, o que permite discutir os resultados encontrados contrastando essas fontes com base no efeito específico de seus íons constituintes. Confirma-se, portanto, que, como os níveis de Cl<sup>-</sup> são os mesmos para cada nível de salinidade da água ( $CE_a$ ), independente da fonte de sais (NaCl ou fertilizantes), os efeitos porventura encontrados podem ser atribuídos aos cátions acompanhantes: Na<sup>+</sup> ou (Ca<sup>+2</sup> + K<sup>+</sup>).

Tabela 16 - Salinidade da solução nutritiva ao longo do experimento em função dos tratamentos propostos

CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Tipo	Parcela	Salinidade da solução nutritiva (dS m <sup>-1</sup> )						Média ponderada	Média tratamento
			12/10	27/10	31/10	10/11	11/11	16/11		
0,5	fertilizantes	16	2,40	2,52	2,54	2,40	2,59	2,35	2,46	
0,5	fertilizantes	17	2,46	2,48	2,61	2,58	2,59	2,33	2,50	<b>2,49</b>
0,5	fertilizantes	23	2,43	2,49	2,61	2,52	2,52	2,40	2,49	
0,5	tóxico	1	2,55	2,35	2,53	2,67	2,58	2,23	2,46	
0,5	tóxico	9	2,57	2,47	2,58	2,67	2,60	2,38	2,53	<b>2,53</b>
0,5	tóxico	20	2,51	2,45	2,58	2,59	2,56	2,60	2,53	
2	fertilizantes	2	3,65	3,62	3,90	3,98	3,88	3,60	3,75	
2	fertilizantes	8	3,77	3,70	3,91	4,06	3,88	3,51	3,80	<b>3,78</b>
2	fertilizantes	21	3,78	3,62	3,94	3,88	3,85	3,43	3,72	
2	tóxico	14	3,85	3,80	4,08	4,13	4,09	3,59	3,90	
2	tóxico	18	3,83	3,76	4,05	3,98	3,94	3,54	3,83	<b>3,89</b>
2	tóxico	24	3,82	3,80	4,16	4,01	3,95	3,60	3,87	
3	fertilizantes	4	4,60	4,58	4,95	4,91	4,67	4,64	4,72	
3	fertilizantes	12	4,70	4,50	4,79	4,74	4,68	4,34	4,59	<b>4,68</b>
3	fertilizantes	22	4,61	4,56	4,93	4,95	4,76	4,30	4,68	
3	tóxico	6	4,58	4,37	5,06	4,91	4,93	4,28	4,60	
3	tóxico	10	4,73	4,70	5,06	5,10	4,88	4,34	4,80	<b>4,77</b>
3	tóxico	19	4,77	4,63	4,92	4,85	4,92	4,83	4,76	
5	fertilizantes	5	6,34	6,03	6,72	6,91	6,42	5,81	6,34	
5	fertilizantes	11	6,33	6,10	6,69	6,68	6,45	5,75	6,30	<b>6,32</b>
5	fertilizantes	15	6,27	6,15	6,56	6,36	6,31	5,89	6,23	
5	tóxico	3	6,58	6,41	6,90	6,92	6,74	6,13	6,58	
5	tóxico	7	6,50	6,24	6,71	7,06	6,72	5,92	6,50	<b>6,53</b>
5	tóxico	13	6,48	6,25	6,80	6,75	6,45	6,00	6,43	



Conforme análise da **Tabela 17**, houve diferenças significativas, acusadas pelo teste F, entre os níveis de salinidade e também na interação níveis de salinidade x fonte de salinidade, mas não entre as fontes de salinidade, ao se analisar a produção de massa de matéria seca da parte aérea.

Tabela 17 - Resultado da análise de variância para a massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortênciã’ submetida à solução nutritiva salinizada

Fonte de variação	G.L.	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Pr>F
Tratamentos	7	77,36	11,05	20,90	<0,0001
CE <sub>a</sub>	3	70,28	23,43	44,30	<0,0001
Fonte de sais	1	0,83	0,84	1,58	0,2266
CE <sub>a</sub> x Fonte de sais	3	6,24	2,08	3,93	0,0281

Na **Tabela 18** são apresentadas as médias do acúmulo de massa de matéria seca na parte aérea da alface ‘Hortênciã’. A análise de regressão, já que esse fator traz tratamentos quantitativos, foi aplicada aos dados originais, confirmando-se que a redução da produtividade seguiu uma função do tipo linear (**Figura 43**).

O teste de médias aplicado ao fator fonte de sais (tratamentos qualitativos) confirmou os resultados da análise de variância: a fonte de sais não alterou significativamente a produtividade da alface (**Tabela 19**). Nesse caso, a mínima diferença significativa foi valorada em 0,6294 g planta<sup>-1</sup>.

Tabela 18 - Média da massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortênciã’ em função da salinidade da água e da solução nutritiva

CE <sub>a</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	CE <sub>sol</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	Média (g planta <sup>-1</sup> )
0,5	2,5	10,9583
2,0	3,81	9,5183
3,0	4,69	8,7117
5,0	6,4	6,2417

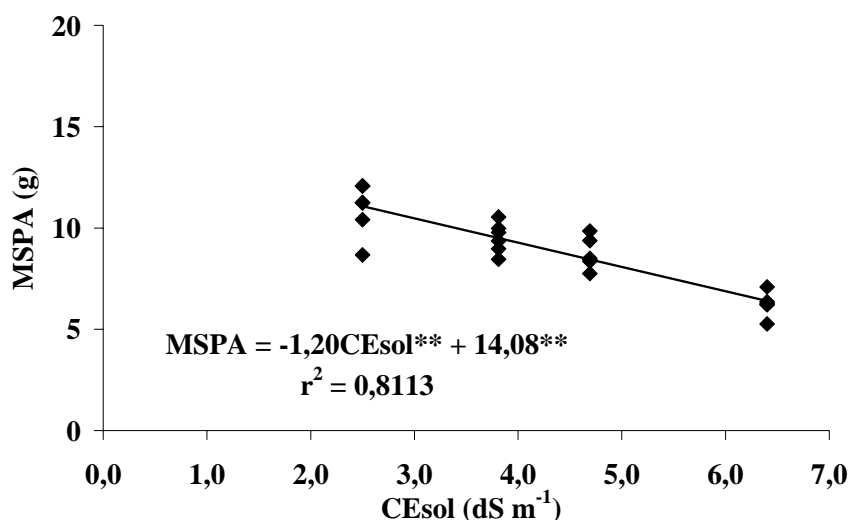


Figura 43 - Produção absoluta de massa de matéria seca da parte aérea da alface 'Hortênciã' em função da salinidade da solução nutritiva

Tabela 19 - Resultado para o teste de médias\* da massa de matéria seca da parte aérea da alface 'Hortênciã' para fonte de salinidade da água

Fonte de sais	Média (g planta <sup>-1</sup> )
NaCl	9,0442 A
Sais fertilizantes	8,6708 A

\*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Como a interação entre os fatores produziu efeito significativo, o mesmo foi desdobrado. Conforme esperado, à medida que se aumentou a salinidade do meio, diminuiu-se a produção de matéria seca da parte aérea da alface, para ambas as fontes de sais (**Tabela 20, Tabela 21**).

Poder-se-ia discutir os dados do presente trabalho, e apresentados na **Tabela 20** e na **Tabela 21**, em conformidade com o modelo de Maas e Hoffman (1977). Entretanto, não parece correto aplicar o modelo para tão poucos pontos considerados visando se definir valores de salinidade limiar (SL). Mesmo porque, eliminando-se os pontos relativos ao rendimento potencial (100 %), ter-se-ia apenas três pontos para a estimativa dos parâmetros SL e b. Por outro lado, utilizando apenas a transformação dos resultados em termos de rendimento relativo (para a média obtida com a menor salinidade causada íons fertilizantes), foi possível discutir os dados

apresentados com base no coeficiente angular das funções de primeiro grau estabelecidas para cada fonte salina. Como mostrado na **Figura 44**, que traz os dados da **Tabela 20** e da **Tabela 21**, o decréscimo no rendimento relativo em função do acréscimo unitário na salinidade da solução nutritiva é aproximadamente igual a 11 %, independente da fonte de sais. Ressalva-se que não se trata do coeficiente b do modelo de Maas e Hoffman (1977), já que não se ajustou o platô e não se buscou estimar a SL, o que provocaria mudança na declividade da reta. Essa redução de 11 % dentro de ambas as fontes de salinidade se confirmou ao desdobrar o efeito da fonte de salinidade dentro de cada nível de CEsol. Assim, as produções obtidas em cada nível de salinidade da solução também foram estatisticamente semelhantes, ao se contrastar as duas fontes de sais (**Tabela 22**).

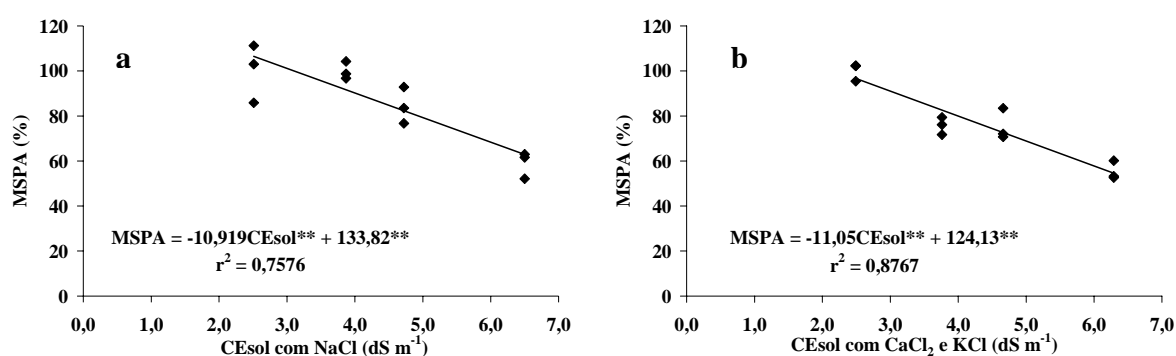


Figura 44 - Produção relativa de massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva causada pela aplicação de NaCl (a) e CaCl<sub>2</sub> + KCl (b)

Tabela 20 - Média da massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Hortênciã’ para o efeito desdobrado dos níveis de CE<sub>a</sub> para a fonte de salinidade CaCl<sub>2</sub> + KCl

CE <sub>a</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	Média (g planta <sup>-1</sup> )
0,5	11,81
2,0	8,94
3,0	8,90
5,0	6,53

Tabela 21 - Média da massa de matéria seca da parte aérea da alface 'Hortênciã' para o efeito desdobrado dos níveis de  $CE_a$  para a fonte de salinidade NaCl

$CE_a$ ( $dS\ m^{-1}$ )	Média* ( $g\ planta^{-1}$ )
0,5	10,11
2,0	10,10
3,0	8,52
5,0	5,95

Tabela 22 - Efeito desdobrado das fontes de sais dentro de cada níveis de  $CE_a$

$CE_a$ ( $dS\ m^{-1}$ )	Média* ( $g\ planta^{-1}$ )		Pr>t
	CaCl <sub>2</sub> e KCl	NaCl	
0,5	11,81A	10,11A	0,1479
2,0	8,94A	10,10A	0,5345
3,0	8,90A	8,52A	0,9977
5,0	6,53A	5,95A	0,9707

\*Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Portanto, a diminuição na produtividade da alface 'Hortênciã' com o aumento da salinidade não foi influenciada pela fonte de sais, não havendo efeito deletério do  $Na^+$  desproporcional aos dos íons fertilizantes, ao menos no acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea. Registra-se também que durante o experimento não foram verificados sintomas de toxidez ou deficiência mineral nas plantas.

O  $Na^+$  é reconhecidamente um íon de efeito tóxico específico para as culturas (AYERS; WESTCOT, 1999). A ausência do efeito do  $Na^+$  no presente experimento pode estar relacionada ao meio de cultivo hidropônico utilizado, isento dos problemas de desestruturação e infiltração provocados pelo  $Na^+$  em solo. Também na hidroponia, os nutrientes estão prontamente disponíveis às plantas, podendo isso representar menores desequilíbrios nutricionais, especialmente em relação ao cálcio, cuja deficiência, relaciona-se à toxidez do  $Na^+$ . Além disso, a alface é classificada como semi-tolerante ao  $Na^+$  (AYERS; WESTCOT, 1999), mesmo em

cultivo em solo, apresentando uma tolerância relativa em termos de percentual de sódio trocável (PST) maior que 15 e menor que 40 %.

Esse resultado está de acordo com a discussão apresentada por Sonneveld (2004), que, tratando da salinidade em cultivos sem solo, informa ser o efeito osmótico da salinidade predominante sobre o efeito de íons específicos. Sonneveld e Van den Ende (1975) obtiveram produções semelhantes no cultivo do tomateiro ao acrescentarem  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaCl}$  e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  em idênticas concentrações iônicas à solução nutritiva. Nesse caso, foi contrastado o efeito dos ânions  $\text{Cl}^-$ , do  $\text{NO}_3^-$  e do  $\text{SO}_4^-$ , como acompanhantes do cátion  $\text{Na}^+$ . Em trabalho posterior e com a mesma cultura, Kafkafi (1984) demonstrou o mesmo resultado.

Por outro lado, trabalhando com alface do tipo romana, na Grécia, Tas, Papadandonakis e Savvas (2005) observaram redução no crescimento da parte aérea das plantas quando aumentaram a salinidade da solução nutritiva ( $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) mediante aplicação de  $\text{NaCl}$  ( $3,2$  e  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), não reportando efeitos significativos quando aplicaram  $\text{CaCl}_2$  visando níveis iso-osmóticos de salinidade ( $3,1$  e  $4,7 \text{ dS m}^{-1}$ ). Em relação ao seu controle ( $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ), os autores obtiveram 76 e 62 % de rendimento para os níveis crescentes de  $\text{NaCl}$ , e 93 % de rendimento para ambos os níveis de  $\text{CaCl}_2$ . Nesse sentido, concluíram que para a alface romana, a resposta à salinidade depende principalmente da fonte de sais, mais do que do nível de potencial osmótico na solução.

Os resultados do presente trabalho diferem dos apresentados por Tas, Papadandonakis e Savvas (2005) para a alface. Também diferem dos resultados de Bie, Ito e Shinohara (2004), conduzidos na Ásia com duas cultivares de alface lisa. Esses últimos autores, apesar de não trabalharem com soluções iso-osmóticas, encontraram grandes diferenças no rendimento da alface quando submetida aos efeitos de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e  $\text{NaHCO}_3$ . E justamente o mais surpreendente no seu trabalho é o fato de terem investigado  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  adicionado à solução nutritiva (0; 20; 40 e 60 mM) com maiores valores de  $\text{CEsol}$  (1,9; 5,7; 9,3 e  $12,6 \text{ dS m}^{-1}$ ), em contraste às concentrações de  $\text{NaHCO}_3$  aplicado à solução (0; 2,5; 5,0 e 7,5 mM) com menores valores de  $\text{CEsol}$  (1,9; 5,7; 9,3 e  $12,6 \text{ dS m}^{-1}$ ), sendo o efeito do  $\text{NaHCO}_3$  mais acentuado sobre a redução da produtividade. Segundo os autores, o maior dano da salinidade por  $\text{NaHCO}_3$  provavelmente não foi causado pelo excesso de acúmulo de  $\text{Na}^+$ , já que as plantas apresentaram maiores concentrações no experimento com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Os autores concluem pelo efeito específico do íon  $\text{HCO}_3^-$ .

Os resultados de Bie, Ito e Shinohara (2004) parecem realmente comprovar uma exceção à predominância do efeito osmótico sobre os atribuíveis aos íons tóxicos. Tanto que Sonneveld (2004) informa que na ‘Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables’, nos Países Baixos, os efeitos dos íons específicos na horticultura protegida têm sido determinados baseando-se em condições de igual concentração de íons na fertirrigação, sendo mostrada uma importante resposta principalmente devido ao efeito osmótico, havendo relevante redução na produção somente com a adição de bicarbonato, devido à sodicidade.

A discrepância do resultado do presente trabalho com relação ao de Bie, Ito e Shinohara (2004) se justifica, considerando o efeito do  $\text{HCO}_3^-$  ser uma exceção. Em relação ao trabalho de Tas, Papadandonakis e Savvas (2005) não há justificativa explícita, mesmo porque as concentrações salinas no trabalho daqueles autores não estão fora da gama das concentrações do presente trabalho.

Por outro lado, Papadopoulos (1987), investigando duas águas com a mesma salinidade ( $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ ), mas de constituição química diferentes, observou que no primeiro ciclo de cultivo da alface (cv. Paris Island) em solo e sob gotejamento com fração de lixiviação de 30 %, não houve diferença significativa entre as produtividades. Para a água preparada com a aplicação de  $\text{SO}_4^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  (água mista), a CEes foi de  $3,9 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto a água preparada com  $\text{SO}_4^{+2}$  apresentou CEes de  $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ . Nos outros dois ciclos, não se mantiveram iso-osmóticas as salinidades do solo (CEes), havendo menor produção nas parcelas irrigadas com a água mista, a qual salinizou mais o solo, uma vez que são os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  mais solúveis que o  $\text{SO}_4^{+2}$ .

Considerando a predominância de águas cloretadas sódicas no Semi-Árido, torna-se imprescindível dirimir a discrepância de resultados do presente trabalho com o de Tas, Papadandonakis e Savvas (2005). Não obstante, outros tipos de águas disponíveis da região deveriam ser investigados sob as mesmas condições de cultivo e com iguais potenciais osmóticos. A evolução dessa linha de pesquisa poderia permitir gerar recomendações mais generalistas para o emprego direto de diferentes tipos de águas salobras em hidroponia, utilizando-se ou não o abatimento dos íons essenciais que as constituem.

## 2.3.2 Experimentos em NFT

### 2.3.2.1 Funcionalidade da estrutura experimental

Na pesquisa agrícola, a experiência indica que dificilmente se conseguem resultados razoáveis com ensaios que tenham menos de 20 parcelas. Outra indicação útil é a de que se deve ter pelo menos 10 graus de liberdade para o resíduo (PIMENTEL-GOMES, 2000). Na **Tabela 23** são apresentados os graus de liberdade do resíduo conseguidos com a estrutura experimental construída para três diferentes tipos de ensaios. Para os cálculos, todas as 40 parcelas foram consideradas úteis. Foram simulados seis níveis de salinidade da água, utilizando ou não o controle local representado por quatro blocos. Para análise fatorial, foram considerados três diferentes níveis (ou tipos) de um outro fator de interesse. Para a simulação de experimentos simples, em delineamento inteiramente aleatorizado ou em delineamento aleatorizado em blocos, e mesmo em fatorial aleatorizado em blocos, tem-se um número de graus de liberdade (GL) do resíduo superior ao mínimo ( $GL_{\text{resíduo}} > 10$ ) recomendado por Pimentel-Gomes (2000), representando menor erro experimental e maior precisão na análise dos efeitos de interesse.

Tabela 23 - Graus de liberdade (GL) do resíduo e das demais fontes de variação obtidos com a estrutura experimental nos delineamentos aleatorizado em blocos (com e sem interação) e inteiramente aleatorizado

<b>Delineamento inteiramente aleatorizado</b>	<b>GL</b>
Salinidade da água	5
<b>Resíduo</b>	<b>34</b>
Total	39
<b>Delineamento aleatorizado em blocos</b>	<b>GL</b>
Salinidade da água	5
Bloco	3
<b>Resíduo</b>	<b>31</b>
Total	39
<b>Delineamento aleatorizado em blocos com interação dupla</b>	<b>GL</b>
Salinidade da água	5
Fator B	2
Interação	10
Bloco	3
<b>Resíduo</b>	<b>19</b>
Total	39

Considerando existir seis plantas úteis por parcela, já que as plantas das extremidades do perfil foram consideradas bordaduras, o número estimado de plantas por parcela, para um coeficiente de variação em torno de 15 %, variou de 2 a 6 plantas, em números absolutos. Na **Figura 45**, tem-se a representação gráfica do número de plantas a amostrar na parcela, em função dos coeficientes de variação (da variável massa de matéria fresca da parte aérea) esperados nas 40 parcelas.

Se o coeficiente de variação for maior que 10 %, fica demonstrado que cada parcela deve comportar no máximo um tratamento, quando a semi-amplitude do intervalo de confiança expresso em percentagem da média ( $d$ ) for 5 % (**Figura 45**). Ou seja, quando se deseja uma maior precisão, sendo capaz de detectar uma diferença mínima significativa correspondente à apenas 5 % da média, deve-se amostrar as seis plantas por perfil hidropônico. E, portanto, deve-se ter apenas um tratamento no perfil (6/6). Quando se opta por permitir uma expectativa de menor precisão, pode-se amostrar menos plantas por perfil. Por exemplo, se  $d$  for igual a 20 %, pode-se amostrar apenas duas plantas, caso o coeficiente de variação seja 15 %. E, nesse caso, poder-se-á dispor até três tratamentos por perfil (6/2). Para maiores valores de coeficiente de variação, tem-se a necessidade de amostrar mais plantas por perfil, diminuindo a possibilidade de alocar mais de um tratamento na parcela.

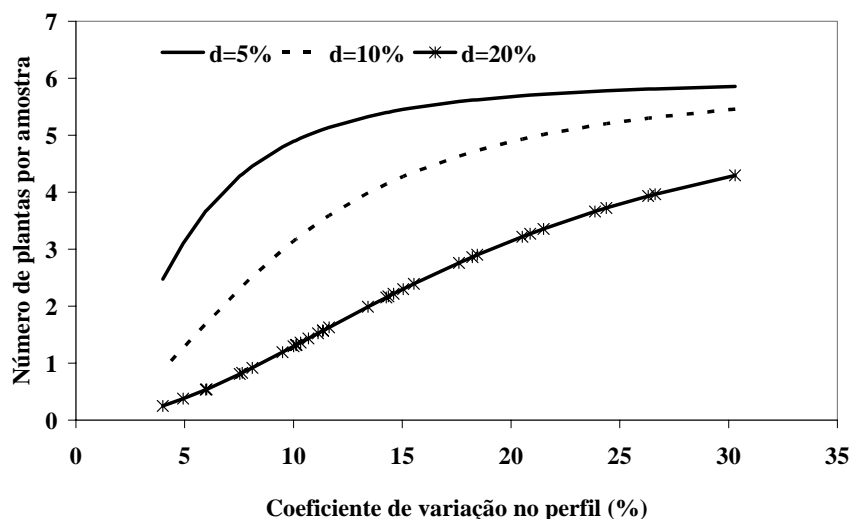


Figura 45 - Número de plantas a amostrar por parcela em função do coeficiente de variação (medido em cada perfil sobre a massa de matéria fresca da parte aérea) e da semi-amplitude do intervalo de confiança expresso em percentagem da média ( $d$ )



Na estrutura descrita, buscou-se o que se poderia imaginar ideal para os experimentos com hidroponia do tipo NFT: parcelas independentes e um elevado grau de liberdade no resíduo. Entretanto, para se proporcionar tal autonomia, utilizou-se para cada parcela um reservatório de dimensões menores que as usuais, o que deixou a solução nutritiva mais suscetível às variações de temperatura.

Em plantios comerciais, o reservatório deve armazenar no máximo 5.000 L e no mínimo 500 L (FURLANI, 1998), e ainda assim cuidados com a temperatura da solução são muito reiterados. Além disso, o espaçamento entre parcelas, maior que o comercial, permite maior radiação incidente sobre o perfil, podendo haver contribuição para o aquecimento da solução nutritiva. O enterro do reservatório no solo, como medida para evitar o aquecimento, não foi adotado porque o modelo de eletrobomba disponibilizada à pesquisa funciona apenas ‘afogada’.

Durante os ensaios, percebeu-se aquecimento da solução nutritiva nas horas de maiores temperaturas (**Figura 46**). Esse aquecimento foi mais relacionado às trocas de energia da solução com o perfil, devido ao fluxo, do que com a exposição do reservatório ao sol (**Figura 47**). Isso não apenas em virtude da maior superfície de contato para a solução, quando se considera todo o sistema, ao invés do reservatório unicamente, mas também em função da atmosfera aquecida confinada nas paredes do perfil, a qual transmitia calor à solução nutritiva (**Figura 48**). Nota-se na **Figura 48** que a temperatura no interior da calha é maior que a do ar, nos momentos mais quentes do dia, concordando com as observações feitas por Mattos (2000) durante cultivo de alface ‘Verônica’ em sistema NFT.

Para minimizar a elevação da temperatura da solução nos períodos mais quentes do ano, além de se proteger os reservatórios e tubulações com mantas refletivas ou papel laminado, futuramente poderão ser adotadas medidas para diminuir a temperatura interna da casa-de-vegetação.

Pode-se adotar papel laminado tipo tetra-pak, conforme resultados obtidos por Mattos (2000). Essa pesquisadora observou que esse tipo de material ao ser usado na cobertura dos perfis, permite menores temperaturas máximas diurnas e maiores temperaturas mínimas noturnas, em relação à não cobertura dos perfis ou à cobertura com manta dupla face (branco e preto). A produção de alface ‘Verônica’ foi significativamente superior ao se utilizar tetra-pak como material de cobertura.

Interessantemente, em seu trabalho, Mattos (2000) optou por uma distribuição experimental em que dispunha os diferentes tratamentos (tipos de cobertura) ao longo de um mesmo perfil. Apesar de estar analisando a temperatura da atmosfera no interior do perfil, e por isso foram alocados termopares entre a solução e a planta, pode ter se perdido o efeito de cada tratamento sobre a temperatura da solução. Nesse sentido, é possível que um tratamento tenha moderado o efeito do outro ao longo do perfil, não tanto em relação à atmosfera interna, mas sobretudo em relação à temperatura da solução. Portanto, o efeito benéfico do papel laminado, como registrado por Mattos, pode ser ainda maior.

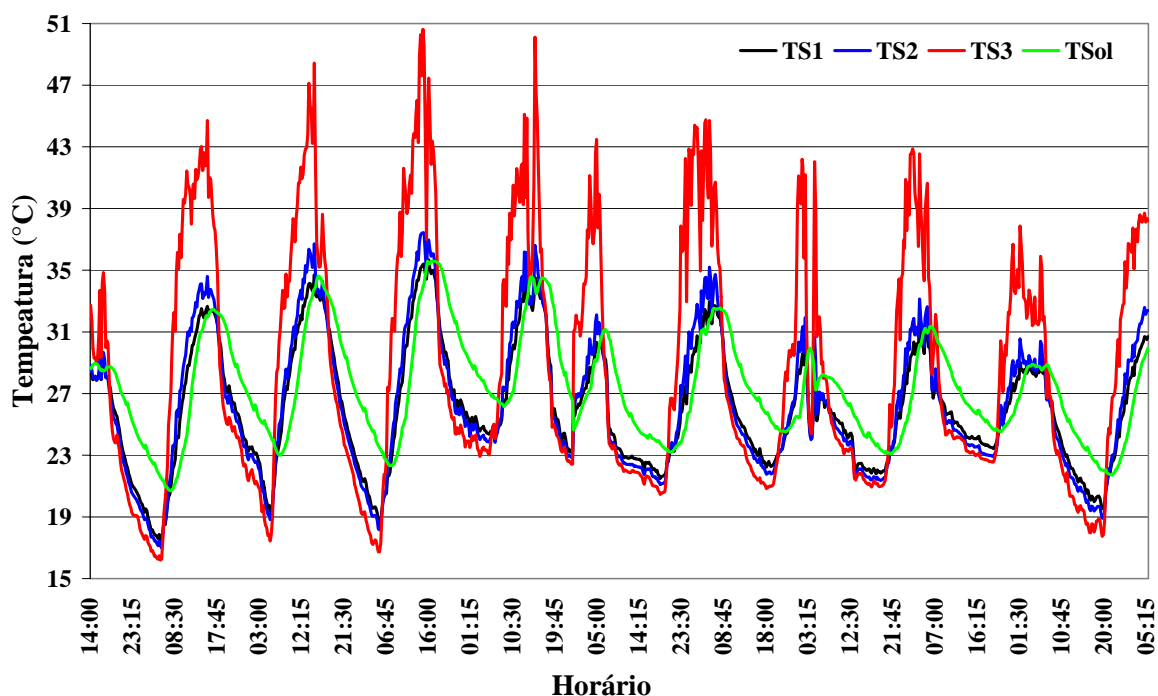


Figura 46 - Temperaturas da solução nutritiva (Tsol) e do ar às alturas de 1 m (TS1), 2 m (TS2) e 3 m (TS3) ao longo do dia no período de 21/11/2006 a 01/12/2006

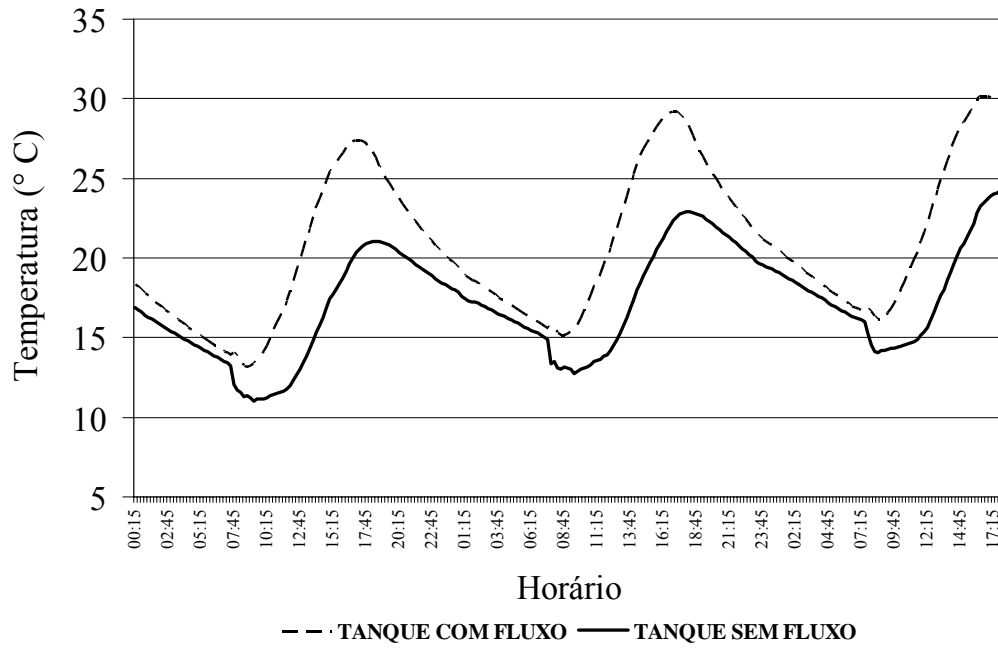


Figura 47 - Temperatura da solução nutritiva ao longo de três dias medida em dois reservatórios: um com fluxo contínuo no período das 07:00 às 19:00 horas (tanque com fluxo) e outro sem fluxo (tanque sem fluxo)

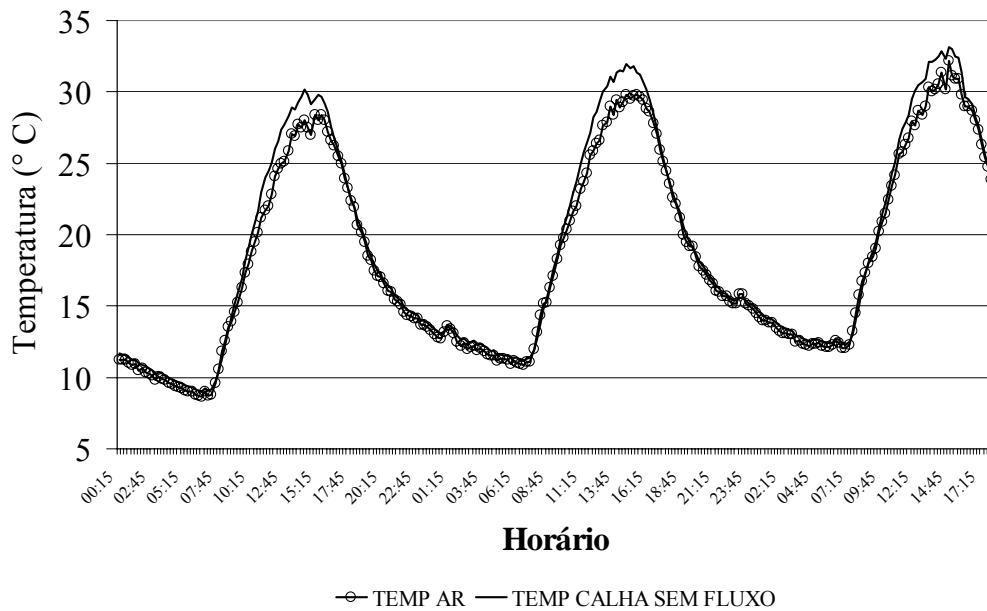


Figura 48 - Temperatura do ar à 1 m de altura e temperatura no interior da calha de um perfil sem fluxo de solução ao longo de três dias consecutivos

Ainda analisando a **Figura 46**, observa-se o gradiente vertical de temperatura na casa-de-vegetação. Em decorrência da elevação de ar quente, observa-se acúmulo de calor nas proximidades do teto da casa-de-vegetação. A moderação dessas altas temperaturas com a temperatura das camadas mais inferiores torna o ambiente interno mais quente que o externo. Para a região Nordeste, caso esse tipo de casa-de-vegetação seja instalada, a elevada temperatura interna à altura de instalação dos perfis poderia ser ainda maior e restritiva ao crescimento e à qualidade da alface. Reitera-se a necessidade de avaliar o uso de hidroponia NFT à céu aberto, ou sob a proteção apenas de telas, sem cobertura plástica.

Apesar da capacidade para 45 L, visando aproximar a pesquisa à realidade comercial, em alguns experimentos, o reservatório de solução nutritiva poderá ser mantido com 24 L, correspondentes a uma disponibilidade de 3 L por planta. Teixeira (1996) indica empregar de 1,5 a 2,0 L por planta, enquanto Furlani et al. (1999) indicam um limite mínimo de 0,5 a 1 L. Pode-se optar por usar 3 L por planta para garantir a vazão mínima necessária nos canais, que é dependente da altura de água armazenada (**Figura 15b**), e evitar o aquecimento da solução que seria obtido com menores volumes.

Em virtude disso, os sistemas de abastecimento automático, instalados para manter 45 L nos reservatórios de solução nutritiva, deverão ser utilizados tão somente nos experimentos de tolerância aos sais, nos quais a salinidade da solução precisa ser constante. Em outros experimentos, deve se simular o uso mais simplista das águas salobras pelos agricultores, não sendo adotado qualquer tipo especial de manejo que não o usual à hidroponia com água de boa qualidade. Daí mais uma vez se justificar usar apenas 24 L de solução nutritiva, já que se procurará incorrer nas mesmas taxas de esgotamento nutricional do volume disponibilizado às plantas. Nesse segundo tipo de experimento, portanto, a salinidade da solução nutritiva será variável ao longo do tempo, tendendo a crescente para as águas mais salinas.

Os experimentos já realizados firmaram a viabilidade dos estudos na estrutura montada. Apesar do porte reduzido, as plantas submetidas ao estresse salino não apresentaram outros sintomas que comprometessem sua comercialização. Essa observação vem sustentando a hipótese de que na hidroponia NFT a tolerância aos sais é maior que no solo.

Fatores como a oxigenação da solução nutritiva em regime NFT, o reduzido comprimento do perfil e também a alta disponibilidade volumétrica de solução nutritiva por planta (cerca de

5,3 L planta<sup>-1</sup>) podem ter contribuído para os resultados. Esses fatores podem ser um diferencial intrínseco da estrutura experimental proposta, caracterizando certo afastamento dos desenhos comerciais, onde os perfis podem ter até 15 m de comprimento e se disponibilizam menores volumes de solução nutritiva por planta. Por outro lado, indicam a necessidade de estudos envolvendo-os na temática do aproveitamento de águas salobras.

Utilizando mais solução disponível por planta é possível diminuir o efeito negativo da presença de elementos não essenciais. Por outro lado, aumenta a necessidade de armazenamento do reservatório, o que pode levar ao aumento de custo em instalações comerciais. Também implica em maior volume de solução nutritiva ‘envelhecida’ ao final do processo, o que gera maior desperdício de água e nutrientes quando o destino é o descarte.

Essa solução poderia ser reutilizada no processo produtivo mediante sua esterilização (RUNIA, 1995; EHRET et al., 2001). À favor, poderia ser utilizada a própria radiação solar da região, no intuito de promover a ‘solarização’ da solução nutritiva. A indicação do melhor volume disponível por planta é uma informação importante ao usuário de águas salobras no cultivo hidropônico.

A utilização da manta geotêxtil visando aumentar a vida útil das eletrobombas e melhorar as condições fitossanitárias atendeu às expectativas, ainda que não seja um produto comercializado para essa aplicação. Foi diminuída a poeira no ambiente, sem a necessidade de molhar o terreno. Plantas daninhas não se desenvolveram e a presença de insetos foi mais facilmente detectável. Além disso, não se comprometeu o solo natural da casa-de-vegetação, o que aconteceria com a aplicação de brita ou de concreto. Ainda que não tenha sido testado experimentalmente, a temperatura do ar não pareceu aumentada em virtude da manta, a despeito de sua coloração preta. A influência da manta na radiação deveria ser avaliada em trabalhos futuros.

De modo geral, as eletrobombas funcionaram perfeitamente. Apenas foram registrados problemas com quatro delas. Provavelmente em função de algum vazamento ou precipitação, o que prejudicou o rolamento. Mesmo após 8 horas ou mais funcionando continuamente sem intervalos, por vários dias consecutivos, as eletrobombas não queimaram. Apenas uma delas foi queimada, por falta de água no sistema, o que decorreu de estrangulamento na mangueira de alimentação que especificamente naquela unidade experimental era diferente e muito mais

flexível. Parece razoável fazer as eletrobombas funcionarem alguns minutos por dia no período entre experimentos, visando preservar o rolamento.

Os reservatórios de solução nutritiva e de abastecimento automático de água funcionaram sem vazamentos durante os experimentos. A adaptação do frasco como tampão de saída no perfil foi o ponto mais crítico aos vazamentos. Mesmo com a presença do anel para evitar o retorno de solução por debaixo do perfil, foi verificada perda de solução em alguns perfis. Nesse sentido, os dados referentes foram eliminados.

Quanto ao tanque de abastecimento automático, sistematicamente em pelo menos três parcelas, e menos freqüentemente em poucas outras, foi verificado que a torneira-bóia não se abria no automatismo que se pretendia. A esse respeito, os dados referentes às tais parcelas não foram computados na avaliação de consumo diário. Considerando que o problema era facilmente detectável e solucionado à medida que se fazia a leitura dos reservatórios, os dados do consumo acumulado foram empregados no cômputo do consumo hídrico total.

Descontando-se o custo da casa-de-vegetação, da tela e do filme plástico utilizados na sua cobertura, além da manta termorrefletores, o custo total da estrutura experimental montada foi estimado em cerca de US\$ 6,800.00, dos quais aproximadamente 64 % foram obtidos como doação de empresas parceiras. Para pesquisas que não tenham como variável resposta o consumo hídrico, os reservatórios de abastecimento automático individualizados podem ser retirados, ficando a estrutura estimada em US\$ 4,977.00 (à taxa de câmbio de R\$ 2,2/US\$).

### **2.3.2.2 Experimento III - Efeito do estresse salino estabelecido em diferentes fases de desenvolvimento sobre a produção hidropônica de alface**

Considerando o tamanho reduzido do reservatório de solução nutritiva, e sua exposição direta à radiação, poderia haver superaquecimento da solução com prejuízo ao crescimento das plantas. Esse aquecimento poderia também ser aumentado pelo aquecimento pontual nas eletrobombas. Além disso, a manta geotêxtil de cor preta, colocada sobre o solo da casa-de-vegetação, poderia representar mais calor no ambiente protegido. Apesar dessa preocupação, no presente experimento foi mostrado ser funcional a estrutura experimental construída, não sendo registrados problemas que pudessem ser associados ao aquecimento da solução nutritiva. Na **Figura 49**, tem-se uma visão geral das plantas por ocasião da colheita, mostrando-se a ausência

de anormalidades. Logo no início do Experimento III, foi verificado que o sistema elétrico era falível em virtude do impacto mecânico causado pelo ‘contator’, o que desplugava o temporizador analógico.

Conforme as observações acima, para os experimentos posteriores, foi implantada uma manta termorrefletora interna, para reduzir o aquecimento do ar e, por conseguinte, da solução nutritiva no verão. Também foi melhorada a instalação do temporizador, aproveitando-se para trocá-lo por um digital com autonomia de 24 horas.



Figura 49 - Aspecto das plantas de alface das cultivares lisa e crespa por ocasião da colheita

Conforme os resultados obtidos (**Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53**), para o nível de salinidade estudado ( $CEa = 1,8 \text{ dS m}^{-1}$ ;  $CEsol = 4,4 \text{ dS m}^{-1}$ ) não se verificou períodos de menor sensibilidade das cultivares de alface Verônica e Elisa aos sais, tão pouco qualquer aclimação das plantas que fosse manifestada em benefício à produção de massa foliar. Estudando a possibilidade de aclimação das plantas de alface à salinidade, Viana et al. (2001) verificaram que a produção de mudas de alface crespa (cultivar Elba) utilizando águas salinas ( $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ ) não aumentou o rendimento das plantas, em relação às plantas provenientes de

mudas produzidas com água doce ( $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ), contrariando sua hipótese. Os autores também relatam diminuição do sistema radicular a partir das mudas expostas à salinidade.

A ineficácia da aclimação de plantas de alface pode estar relacionada ao rápido ciclo da cultura e também às condições da primeira exposição ao estresse salino, envolvendo idade da plântula, potencial osmótico utilizado, tipo de sal, etc. Pérez-Alfocea; Balibrea e Bolarín (2002) observaram efeito significativo da aclimação da alface e do tomate sobre o rendimento e o acúmulo de íons tóxicos no tecido foliar. Ao submeter plântulas de alface à salinidade promovida por polietileno glicol<sup>9</sup> (PEG), observaram nas plantas produzidas menor acúmulo de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  que nas plantas não tratadas. As plantas ‘halocondicionadas’ por PEG com  $-0,5$  a  $-1,3 \text{ MPa}$  por 12 horas no estágio de emergência das radículas produziram 20 a 35 % mais biomassa que as plantas não tratadas, após seu cultivo por 44 dias sob salinização em hidroponia provocada por  $50 \text{ mM}$  de  $\text{NaCl}$ .

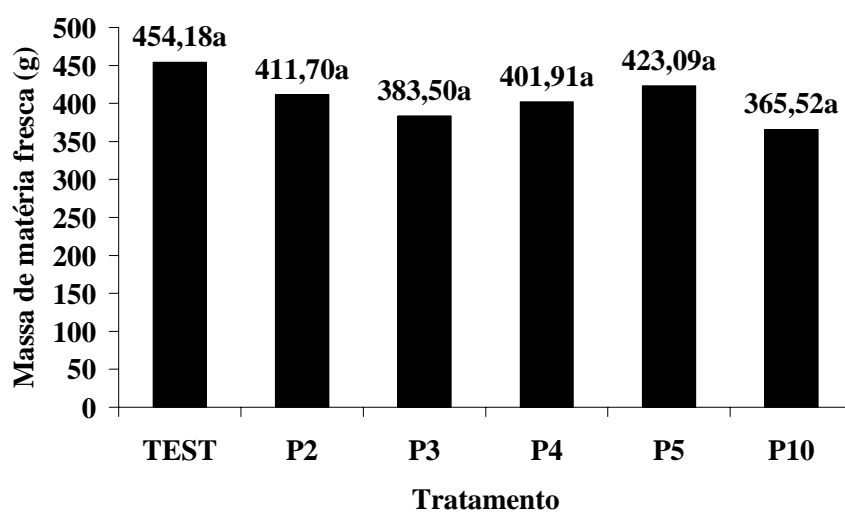


Figura 50 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria fresca da cultivar Verônica ( $\text{dms} = 138,44 \text{ g}$ ;  $\text{cv} = 14,819 \%$ )

<sup>9</sup> Segundo Sonneveld (2004), o polietileno glicol, composto orgânico solúvel de alto peso molecular, teoricamente não permite é absorvido pelas plantas, mas permite os estudos sobre os efeitos osmóticos da salinidade, sendo útil em pesquisas que visam diferenciar esse tipo de efeito daqueles provocados pelos íons tóxicos específicos.



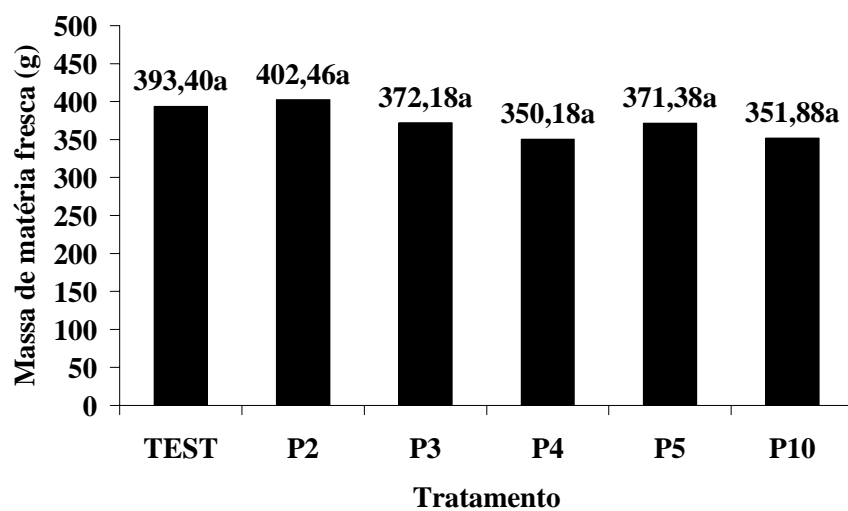


Figura 51 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria fresca da cultivar Elisa (dms = 68,746 g; cv = 8,01 %)

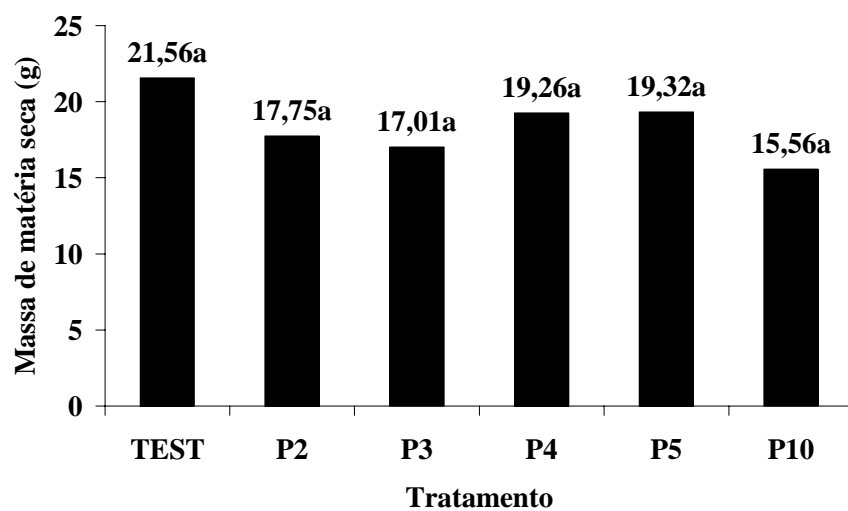


Figura 52 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria seca da cultivar Verônica (dms = 6,4451 g; cv = 15,24 %)

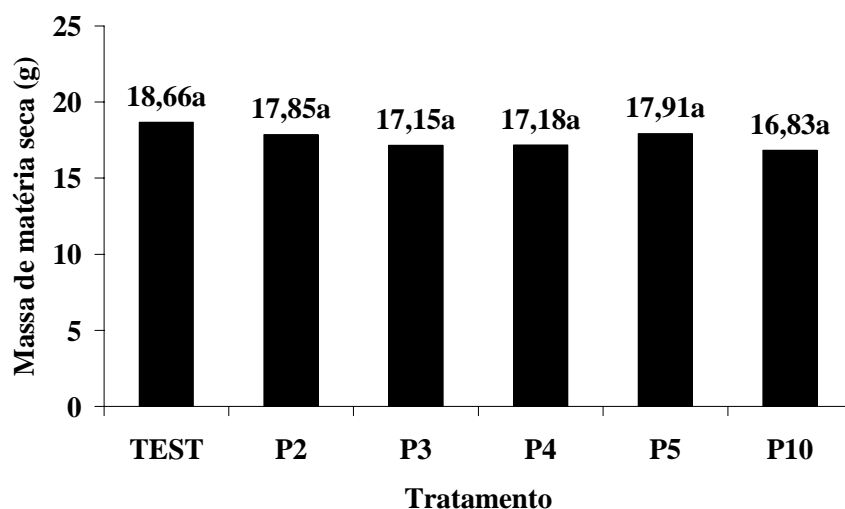


Figura 53 - Comparação de médias mediante teste de Tukey a 5% para a variável massa de matéria seca da cultivar Elisa (dms = 3,8996 g; cv = 9,64 %)

A salinidade média de  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$  na solução de cultivo foi estudada pensando-se criar uma condição estressante capaz de declinar a produção, no mínimo moderadamente, à medida que fosse prolongada no tempo, considerando-se que esse valor é cerca de três vezes maior que a salinidade limiar tolerada pela alface em solo conforme indicação de Ayers e Westcot (1999).

As diferenças numéricas entre os tratamentos não foram traduzidas estatisticamente, podendo ser atribuídas aos fatores não controláveis. Ressalta-se também que os coeficientes de variação se classificam como baixo para cultivar Elisa ( $CV < 10 \%$ ) ou regular para cultivar Verônica ( $CV < 20 \%$ ), significando que o erro experimental não fez superestimar a diferença mínima significativa entre os tratamentos. Nesse sentido, para o nível de salinidade avaliado, foram obtidas produções equivalentes de alface quando as plantas foram submetidas ao estresse salino no início do ciclo (P2) e no final do ciclo (P4 e P5).

Mesmo comparando as plantas não submetidas à salinidade (Testemunha) com aquelas submetidas durante todo o ciclo (P10), não foram registradas diferenças na produção para ambas as cultivares, analisando-se a massa de matéria seca ou a massa de matéria fresca da parte aérea, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Essa ausência de efeito da época de submissão das plantas ao estresse salino pode ser explicada pela baixa salinidade estudada. Por outro lado, permite também inferir que na hidroponia a tolerância da alface pode ser maior que no solo, partindo-se da premissa que

difícilmente em solo a alface toleraria uma salinidade de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  durante todo o ciclo, sem prejuízo detectável na produção.

Saber em quais estádios fenológicos de uma cultura ou, como no presente caso, em quais ‘períodos’ do seu ciclo vegetativo, tem-se maior sensibilidade à salinidade é uma informação importante para o agricultor, pois torna possível programar a exploração de fontes de água de acordo com sua qualidade. Para averiguar esse tema, é necessário repetir o experimento utilizando nível de salinidade maior que a salinidade limiar à alface. Nos próximos experimentos envolvendo a partição dos efeitos da salinidade em fases de duração fixada ao longo do ciclo, deve-se buscar a utilização de diferentes níveis de elevada salinidade, para abranger mais situações de campo. Pode-se ter como meta paralela avaliar a tolerância em cada estádio fenológico, mas deve-se atentar para o fator tempo de duração do estádio, que é variável e, por isso, pode ser mais importante que o próprio efeito salino isolado.

De qualquer forma, particularidades do presente experimento, tais como a condição hidropônica, a oxigenação da solução nutritiva favorecida inclusive pelo reduzido comprimento do perfil, o alto volume de solução disponível por planta, podem ter contribuído para amenizar as diferenças entre os tratamentos.

Em média, para a cultivar Elisa, a redução da massa de matéria seca, acumulada na parte aérea, quando a salinidade foi mantida durante todo o ciclo foi de 9,65 % (P10), em relação à Testemunha (TEST). Para a cultivar Verônica, essa redução foi de 27,8 %. Especificamente para esse contraste de tratamentos, com a cultivar Verônica, houve o único efeito significativo, registrado no experimento, mas, ao nível de 10 % de probabilidade mediante o teste de Tukey: com uma probabilidade de 92,47 %, houve maior produção da cultivar Verônica não submetida à salinidade (Testemunha), em relação à sua submissão durante todo o ciclo (P10).

Por outro lado, tomando-se a massa de matéria fresca da parte aérea, que é o indicado já que delimita melhor o valor econômico (SONNEVELD, 2004), a redução foi de 19,5 %, não havendo significância nem mesmo a 10 % de probabilidade.

### **2.3.2.3 Experimentos IV, V e VI - Tolerância da alface ‘Verônica’ à salinidade em hidroponia NFT e em solo**

De maneira geral, a temperatura do ar, medida mediante termopar, abrigado e aspirado, instalado à 1 m de altura, foi superior às temperaturas máximas ideal ( $21\text{-}24^\circ \text{C}$ ) e crítica ( $30^\circ$

C) para o cultivo da alface. Da mesma forma, a temperatura da solução nutritiva, medida no reservatório também com termopar, superou o limite máximo recomendável ( $30^{\circ}\text{C}$ ) para a cultura (**Figura 54**).

A salinidade em cada tratamento foi decrescente ao longo do tempo em todos os experimentos, sobretudo à segunda metade do ciclo de produção quando o consumo de nutrientes é maior (**Figura 55; Tabela 24; Tabela 25; Tabela 26**).

A redução percentual da salinidade (variação D) do início ao final do experimento foi variável em função do tratamento. Dessa forma, quanto maior a salinidade inicial do tratamento, menor foi a redução da salinidade ao longo do tempo. Por exemplo, no Experimento IV, para o tratamento Testemunha, a variação D foi cerca de 27 %, enquanto para T7 foi de apenas 5,5 %. Poder-se-ia pensar que isso se deve ao menor consumo de nutrientes nos tratamentos mais salinos, o que levaria à menor variação. Entretanto, analisando o consumo de íons em termos de diferença absoluta (variação S), conclui-se que para todos os tratamentos se tem a mesma magnitude de valores na mudança da condutividade elétrica. Assim, o aumento da redução percentual (D) foi mais ‘matemático’ do que agrônômico (**Tabela 27**).

Por outro lado, em consequência da redução mais acentuada da salinidade da solução nutritiva apenas ao final do ciclo, a salinidade ponderada foi pouco diferente da salinidade inicial, em todos os tratamentos de todos os Experimentos (**Tabela 24; Tabela 25; Tabela 26**). Assim, a diferença percentual da salinidade ponderada em relação à salinidade inicial ( $D_p$ ) foi de 6,6 % para o tratamento Testemunha e de 1,5 % para o T7 (no exemplo do Experimento IV), obviamente demonstrando a mesma tendência de diminuição da variação com o aumento da salinidade característica do tratamento (**Tabela 27**).

Em função da variação sazonal da qualidade da água tratada disponível aos experimentos, observou-se variação na condutividade elétrica das soluções para tratamentos nominalmente semelhantes. Por outro lado, considerando serem pequenas as diferenças observadas, manteve-se a nomenclatura (**Tabela 24; Tabela 25; Tabela 26**). Vale ressaltar que as análises estatísticas de regressão foram baseadas na salinidade medida em cada experimento.

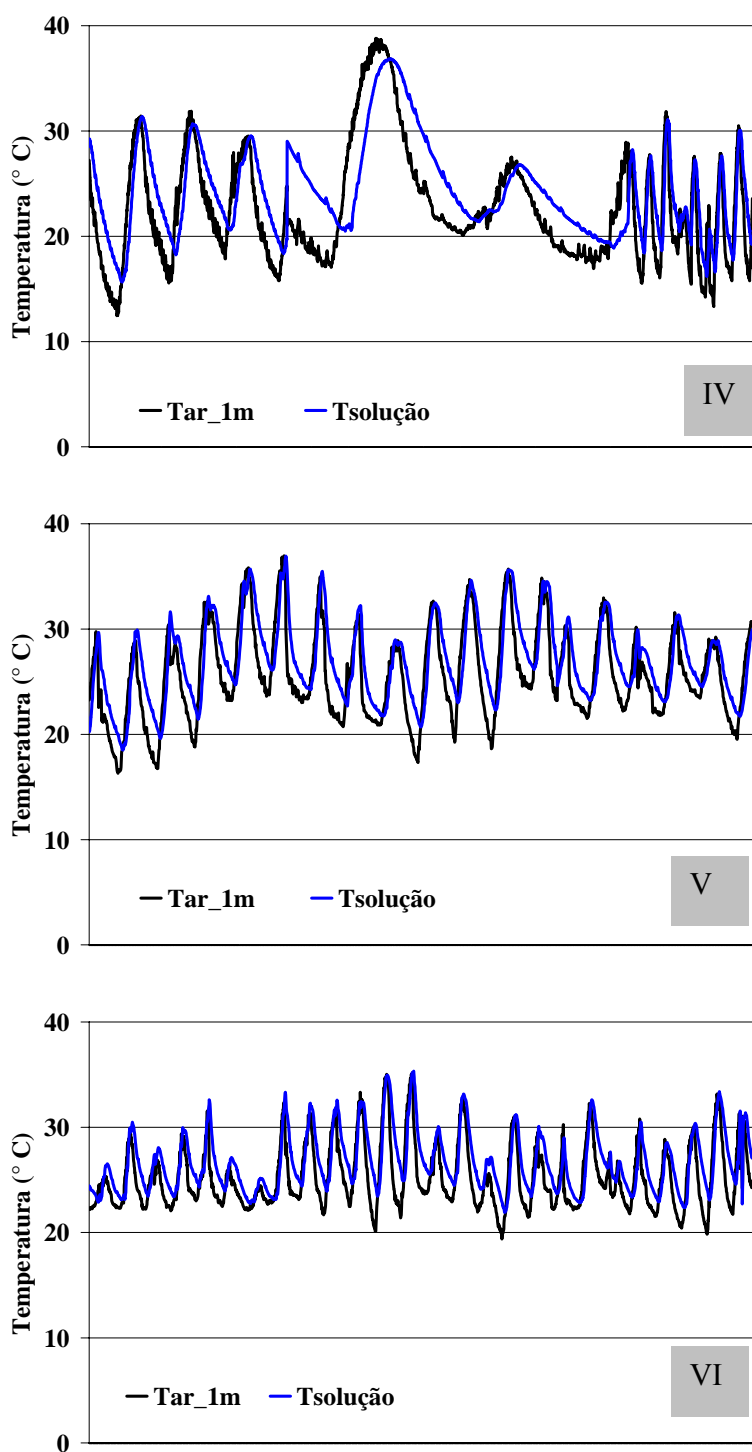


Figura 54 - Temperatura do ar medida à 1 m de altura (T1) e temperatura da solução nutritiva (Tsolução) medida dentro do reservatório nos Experimentos IV (12-16; 19-22; 26-33 DAT), V (9 ao 27 DAT) e VI (1 ao 25 DAT)

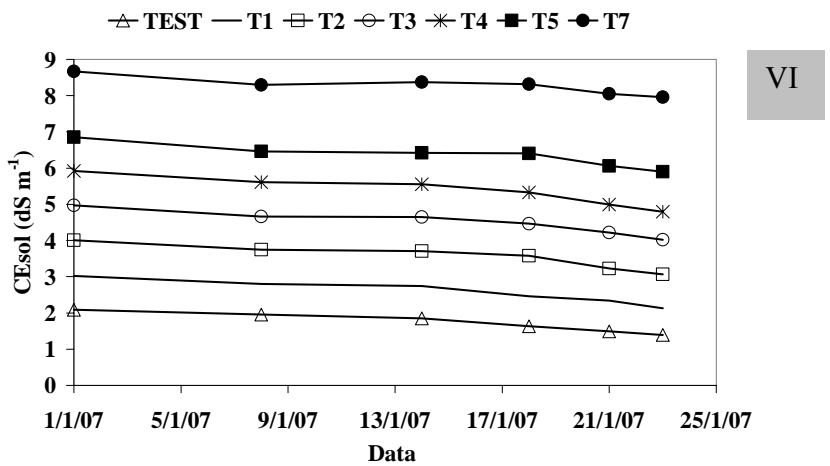
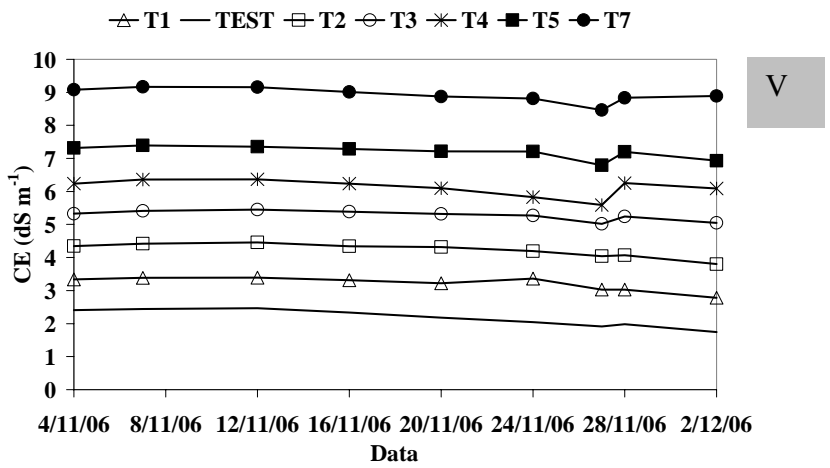
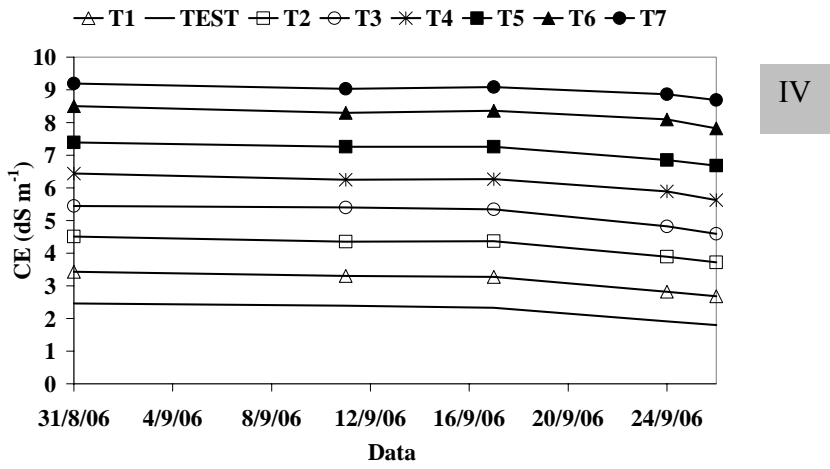


Figura 55 - Valores médios da condutividade elétrica da solução nutritiva ao longo dos Experimentos IV, V e VI

Tabela 24 - Média da CE da solução nutritiva nos diferentes tratamentos ao longo do Experimento IV e suas médias ponderadas no tempo

Trat	CEsol (dS m <sup>-1</sup> )					Média Ponderada (dS m <sup>-1</sup> )
	31/8/06	11/9/06	17/9/06	24/9/06	26/9/06	
TEST	2,46	2,39	2,33	1,91	1,80	2,30
T1	3,43	3,31	3,27	2,82	2,68	3,24
T2	4,51	4,35	4,37	3,89	3,72	4,31
T3	5,44	5,40	5,35	4,82	4,60	5,27
T4	6,43	6,25	6,27	5,89	5,63	6,23
T5	7,39	7,26	7,26	6,85	6,68	7,21
T6	8,50	8,30	8,36	8,09	7,82	8,33
T7	9,20	9,03	9,08	8,87	8,69	9,06

Tabela 25 - Média da CE da solução nutritiva nos diferentes tratamentos ao longo do Experimento V e suas médias ponderadas no tempo

Trat	CEsol (dS m <sup>-1</sup> )									Média Ponderada (dS m <sup>-1</sup> )
	4/11	7/11	12/11	16/11	20/11	24/11	27/11	28/11	2/12	
TEST	2,41	2,44	2,47	2,34	2,19	2,05	1,92	1,98	1,75	2,26
T1	3,34	3,38	3,39	3,31	3,23	3,36	3,03	3,03	2,79	3,28
T2	4,35	4,42	4,46	4,34	4,32	4,20	4,04	4,07	3,80	4,30
T3	5,33	5,41	5,45	5,39	5,32	5,27	5,02	5,24	5,05	5,34
T4	6,24	6,36	6,37	6,24	6,10	5,83	5,59	6,25	6,09	6,19
T5	7,32	7,40	7,36	7,29	7,21	7,21	6,79	7,20	6,93	7,27
T7	9,08	9,17	9,16	9,01	8,88	8,81	8,46	8,84	8,89	8,98

Tabela 26 - Média da CE da solução nutritiva nos diferentes tratamentos ao longo do Experimento VI e suas médias ponderadas no tempo

Trat	CE (dS m <sup>-1</sup> )						Média Ponderada (dS m <sup>-1</sup> )
	1/1/07	8/1/07	14/1/07	18/1/07	21/1/07	23/1/07	
TEST	2,088	1,955	1,846	1,632	1,492	1,391	1,87
T1	3,025	2,800	2,745	2,460	2,340	2,128	2,75
T2	4,008	3,748	3,705	3,578	3,228	3,063	3,72
T3	4,973	4,663	4,648	4,468	4,220	4,023	4,67
T4	5,920	5,613	5,555	5,330	4,995	4,795	5,57
T5	6,855	6,463	6,423	6,408	6,060	5,903	6,51
T7	8,670	8,300	8,378	8,320	8,050	7,963	8,39

Tabela 27 - Variação absoluta (S) e percentual (D) da salinidade da solução nutritiva do início ao final do ciclo e diferença absoluta (Sp) e percentual (Dp) da salinidade ponderada em relação à salinidade inicial nos experimentos envolvendo tolerância

Trat	Experimento IV				Experimento V				Experimento VI			
	S (dS m <sup>-1</sup> )	D (%)	Sp (dS m <sup>-1</sup> )	Dp (%)	S (dS m <sup>-1</sup> )	D (%)	Sp (dS m <sup>-1</sup> )	Dp (%)	S (dS m <sup>-1</sup> )	D (%)	Sp (dS m <sup>-1</sup> )	Dp (%)
Test	0,66	26,86	0,16	6,59	0,66	27,4	0,14	5,9	0,70	33,4	0,22	10,6
T1	0,75	21,91	0,19	5,66	0,55	16,6	0,06	1,7	0,90	29,7	0,28	9,1
T2	0,79	17,42	0,20	4,42	0,54	12,5	0,04	1,0	0,95	23,6	0,29	7,2
T3	0,85	15,57	0,17	3,14	0,28	5,3	-0,01	-0,1	0,95	19,1	0,31	6,2
T4	0,81	12,53	0,20	3,13	0,14	2,3	0,04	0,7	1,13	19,0	0,35	5,9
T5	0,71	9,57	0,18	2,38	0,39	5,3	0,05	0,7	0,95	13,9	0,34	5,0
T6	0,68	8,03	0,17	2,05								
T7	0,51	5,54	0,14	1,50	0,19	2,1	0,10	1,1	0,71	8,2	0,28	3,2

As plantas de alface ‘Verônica’ submetidas aos níveis crescentes de salinidade na solução nutritiva tiveram seu crescimento prejudicado na hidroponia do tipo NFT. Entretanto, além do nanismo, não foram observados outros sintomas, seja de toxidez ou de deficiência nas plantas produzidas. Na **Figura 56**, tem-se uma visão geral das plantas durante o Experimento IV. Já na **Figura 57**, mostra-se o contraste visual de duas plantas: uma pertencente ao tratamento Testemunha, outra ao tratamento T7. Nessa última Figura, observa-se a inexistência de folhas sintomáticas ou danificas, o que se repetiu em todas as plantas colhidas em todos os experimento.

Conforme análise de variância, de maneira geral, houve efeito significativo para o termo linear da regressão polinomial para a maioria das variáveis estudadas, concordando com a observação de Maas e Hoffman (1977). Entretanto, para o Experimento V foram registrados comportamentos diferentes, sendo ajustado polinômios de segunda ou terceira ordens, conforme análise de regressão no programa SAS. Em todos os casos, os coeficientes das funções foram testados pelo teste t, sendo sua significância apresentada nas equações que acompanham os gráficos de resposta das variáveis. É importante ressaltar que a validade dos modelos apresentados está condicionada ao domínio das funções (CESol<sub>TEST</sub> à CESol<sub>T7</sub>).

A não linearidade das respostas no Experimento V pode ser explicada como decorrente do estabelecimento problemático das mudas após o transplântio. Nesse experimento, diferentemente dos Experimentos III, IV e VI, as mudas foram transplantadas no meio da manhã de um dia



quente e não no início do dia sob temperaturas mais amenas (**Tabela 7**). Em virtude disso, os efeitos negativos dos sais sobre o crescimento das plantas parecem ter sido potencializados.



Figura 56 - Visão geral das plantas por ocasião da colheita no Experimento IV



Figura 57 - Plantas dos tratamentos Testemunha (à esquerda) e T7 (à direita) no Experimento IV

No Experimento V, as mudas sofreram, por ocasião do transplante, um trauma inerente ao corte das raízes quando se seccionava a espuma fenólica. Isso ocorreu também nos Experimentos III e IV. Entretanto, no Experimento V, as mudas foram pela primeira vez produzidas no berçário. Essa técnica tornou sua produção mais precoce e também aumentou a massa foliar. Mas ao se transplantar as mudas no meio da manhã, essas perderam muita umidade ao longo do dia, justamente pela sua destacada massa foliar. Outra inovação do Experimento V foi o transplante das mudas para os perfis já com a solução nutritiva salinizada em função dos tratamentos. Nos Experimentos III e IV, esperou-se dois dias para adaptação das mudas e somente depois elas foram submetidas aos tratamentos.

Desde os 4 DAT, foram observados, no Experimento V, sintomas típicos do estresse salino nas mudas transplantadas para a hidroponia, quais sejam: clorose e necrose nas bordas foliares, que são os locais de maior transpiração e onde mais se acumulam os sais (**Figura 58**). Também foi observada a morte das raízes nas mudas submetidas aos tratamentos salinos. As plantas da Testemunha não apresentavam esses sintomas, apenas murcha das folhas, sobretudo nos horários mais quentes dos primeiros dias após o transplante (**Figura 59**), um indício de que o problema foi sobretudo relacionado aos tratamentos salinos.

Por outro lado, em mudas transplantadas um dia depois, ao final da tarde, e também submetidas imediatamente aos tratamentos T1, T3, T4 e T7, não foram visualizados sintomas, indicando haver um outro fator relacionado ao problema. Essas mudas, dispostas no bloco 5, como apresentado na **Figura 29**, não foram consideradas na avaliação do Experimento V.

Além disso, as mudas que foram transplantadas nos vasos contendo solo, ao mesmo horário do transplante para hidroponia, não apresentaram os sintomas foliares de estresse salino descritos acima (**Figura 60**). O aparecimento de sintomas exclusivamente nas plantas do sistema hidropônico pode ser atribuído à interação da salinidade com algum outro fator. Duas hipóteses podem ser levantadas: mesmo sendo arenoso, o solo tem maior poder tampão que a solução hidropônica, o que se permitiu neutralizar possíveis moléculas fitotóxicas dissolvidas na água tratada (no campus) usada no preparo da solução; a solução nutritiva hidropônica é mais suscetível ao aquecimento que a solução armazenada em solo coberto com mulch plástico.

Apesar do calor específico da água ( $1,0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) ser maior que o da fração sólida de solos minerais ( $0,16 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) (REICHARDT; TIMM, 2004), representando maior resistência às variações de temperatura na água que no solo úmido quando considerado um mesmo volume,

é possível ter havido maior aquecimento da solução nutritiva na hidroponia que no solo. Essa maior temperatura na solução hidropônica pode ser decorrente da sua própria movimentação, permitindo-lhe trocas de calor com as paredes do sistema submetidas à radiação. Além disso, no cultivo em solo foi utilizado mulch plástico dupla face (preto-prateado) (**Figura 60**), garantindo-lhe menor absorção de energia e preservação da umidade. No presente trabalho, não foi monitorada a temperatura da solução do solo.



Figura 58 - Folhas em processo de murchamento (T2) e raízes necrosadas (T4) aos 4 DAT durante Experimento V

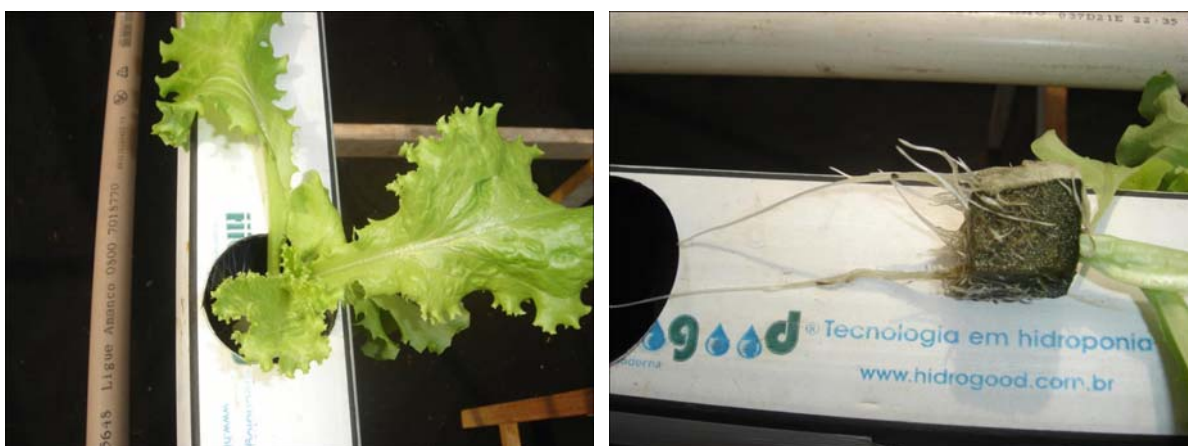


Figura 59 - Folhas e raízes assintomáticas em mudas da Testemunha aos 4 DAT durante Experimento V

Seja qual for a sua origem, certamente o problema foi potencializado pela presença de sais na solução nutritiva, uma vez que as plantas da Testemunha não foram tão prejudicadas. O problema também foi potencializado pelo horário de transplântio ou por substâncias presentes na

água tratada, já que mudas transplantadas um dia depois e ao final da tarde, sendo irrigadas com solução nutritiva preparada com água captada nesse outro dia, mesmo quando estabelecida com a presença de T7, não exibiram os sintomas.

Quando se fez o transplante no início da manhã nos Experimentos III e IV, houve rápida recuperação e emissão de novas raízes, podendo isso representar menores prejuízos ao crescimento frente ao estresse salino, devendo-se ressaltar que a salinização ocorreu dias após o transplante. O problema com as mudas transplantadas no Experimento V certamente influenciou na tolerância da alface aos sais nesse experimento. E essa influência foi mais negativa ao crescimento no cultivo hidropônico que no cultivo convencional em solo, prejudicando a avaliação da hipótese levantada. Por essa razão, tornou-se necessário repetir o Experimento V, efetuando-se o transplante sob condições mais apropriadas. Por outro lado, compreendendo-se ser esse problema não apenas um fator experimental não controlável, mas uma possível realidade à campo, manteve-se aqui a apresentação dos resultados obtidos no Experimento V.

Para dirimir a questão sobre a origem do problema verificado no Experimento V, torna-se interessante averiguar a produção de alface com águas salobras a partir de mudas transplantadas em diferentes horários ao longo de dias quentes. Para isso, é imprescindível o acompanhamento das mudanças de temperatura do ar, da solução nutritiva e da atmosfera no interior do perfil. Para comparação com cultivo em solo, dever-se-á instalar sensores de temperatura também no solo.

Também se torna interessante investigar quais as melhores frequências de irrigação quando se dispõe de águas salobras. O estudo da temperatura nos experimentos envolvendo salinidade é muito importante para a realidade climática do Semi-Árido, onde se deve ter cultivares tolerantes ao calor e aos sais.

Por outro lado, os sintomas observados nos primeiros dias após o transplante não foram reproduzidos nas folhas emitidas após o estabelecimento das plantas no Experimento V (**Figura 60b**), indicando certa recuperação das plantas após o estresse inicial. De fato, as plantas produzidas ao final do Experimento V não apresentaram outros sintomas de salinidade que não o nanismo (**Figura 61**).

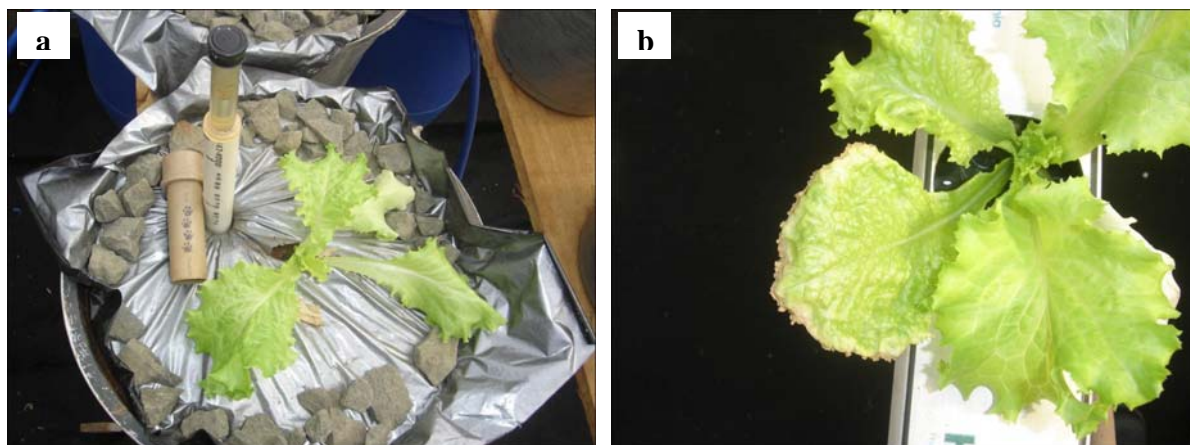


Figura 60 - Folhas assintomáticas em muda estabelecida no solo aos 5 DAT (a) e muda em hidroponia exibindo folha velha com necrose na borda e folhas novas assintomáticas aos 11 DAT (b), durante Experimento V



Figura 61 - Aspecto geral de uma planta de alface por ocasião da colheita do Experimento V após sua submissão à salinidade de  $9,06 \text{ dS m}^{-1}$  (planta da esquerda) em comparação com outra produzida com solução nutritiva de  $2,30 \text{ dS m}^{-1}$  (planta da direita)

Para a repetição da pesquisa, com o Experimento VI, foi retirado o mulch plástico, deixando o solo perder umidade. Esse procedimento foi importante para preservar a densidade do solo, efetuadas a retirada das raízes do experimento anterior e o transporte dos vasos para nova saturação com águas salobras (salinização).

No Experimento VI, as mudas foram transplantadas ao final da manhã, mas de um dia chuvoso (**Tabela 7**). Diferentemente do Experimento V, não foram verificados sintomas decorrentes da salinidade nos primeiros dias após o transplante, mesmo repetindo-se o procedimento de submeter as mudas aos tratamentos desde o primeiro instante de seu transplante. As mudas produzidas para o Experimento VI não sofreram os traumatismos do sistema radicular como verificados nos demais experimentos por ocasião do transplante, pois, a espuma fenólica fora levada ao berçário já seccionada em cubos individuais (**Figura 27**).

Assim como nos experimentos anteriores, as plantas produzidas ao final do Experimento VI não apresentaram outros sintomas relacionáveis à salinidade que não o nanismo (Figura 62).



Figura 62 - Aspecto geral da alface 'Verônica' produzida com solução nutritiva não salinizada (planta da esquerda) e salinizada com T7 (à direita) ao final do Experimento VI

### 2.3.2.3.1 Tolerância da alface ‘Verônica’ à salinidade em hidroponia NFT

Considerando a inexistência de sintomas que pudessem depreciar o preço de venda, a própria massa de matéria fresca foi assumida como produtividade comercial, em todos os experimentos aqui tratados. Nesse sentido, com o aumento da salinidade da solução nutritiva, houve redução linear da produtividade comercial da alface ‘Verônica’ nos Experimentos IV e VI. Apenas no Experimento V, em função do problema supracitado, o padrão linear de redução do crescimento não foi observado (Figura 63). O mesmo comportamento foi registrado para o acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (Figura 64). No caso do Experimento V, as reduções seguiram comportamento de polinômio de terceiro grau, validado estatisticamente para o domínio das suas respectivas funções.

A redução da massa de matéria fresca da parte aérea da alface ‘Verônica’ em função da salinidade foi decorrente das reduções das massas das folhas (Figura 65) e do caule (Figura 66), mas também do próprio teor de água dos tecidos (Figura 67). O número de folhas foi diminuído no Experimento IV, mas não no Experimento VI (Figura 68), enquanto o diâmetro da parte aérea foi reduzido em ambos, com o aumento da salinidade (Figura 69). O estudo da massa de matéria seca do sistema radicular no Experimento IV permitiu observar a redução dessa variável com o aumento da salinidade (Figura 70), registrando-se aumento da relação raiz/parte aérea (Figura 71).

Na Sicília, a diminuição do número de folhas foi observada em hidroponia em substrato (fibra de coco) quando Miceli, Moncada e D’Anna (2003) estudaram duas cultivares de alface (Severus e Ballerina) sob salinidade da solução nutritiva causada por NaCl. Para a produtividade comercial, foi observada redução de 25 % quando se utilizou solução com CEsol de  $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ , em relação ao controle ( $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ ). Ao se manter uma CEsol de  $4,6 \text{ dS m}^{-1}$ , a produtividade foi reduzida à 50 %. No trabalho de Andriolo et al. (2005), anteriormente citado, não foi observado efeito da salinidade sobre o número de folhas da alface ‘Vera’.

Assim como verificado por Andriolo et al. (2006), no presente estudo a massa de matéria seca foi menos variável que a massa de matéria fresca. Segundo Shannon, McCreight e Draper (1983), a alface responde à salinidade mediante ajuste do potencial osmótico, seja com a diminuição do teor de água nas folhas, seja como aumento da concentração de íons.

A diminuição do teor de água nos tecidos da parte aérea concorda com os resultados de vários trabalhos conduzidos com a cultura da alface sob salinidade em hidroponia. Serio et al.

(2001), por exemplo, demonstraram esse resultado, atribuindo-o principalmente ao efeito osmótico da salinidade.

A menor umidade da parte aérea é concordante com o aspecto mais ‘coriáceo’ e com o fato das folhas serem mais quebradiças com o aumento da salinidade. As plantas submetidas aos níveis de salinidade mais elevados também apresentavam uma coloração verde mais escura, o que concorda com os sintomas descritos por Shannon, McCreight e Draper (1983); Tesi, Lenzi e Lombardi (2003) e Ayers, Wadleigh e Bernstein (1951).

Tesi, Lenzi e Lombardi (2003) não observaram efeito da salinidade sobre o sistema radicular da alface. Também como no presente trabalho, Shannon, McCreight e Draper (1983) observaram que o efeito da salinidade sobre as raízes é menor que sobre a parte aérea da alface em hidroponia.

A única variável que aumentou com a salinidade foi a razão das massas de matéria seca das raízes e da parte aérea, conforme dados do Experimento IV. Como se trata de uma fração, o aumento pode ser atribuído ao aumento da massa das raízes ou à diminuição da massa da parte aérea. No presente trabalho, houve maior diminuição na parte aérea do que no sistema radicular. Por exemplo, a média da massa de matéria fresca da parte aérea do tratamento T7 correspondeu a 55 % da obtida com a Testemunha, enquanto sua massa de matéria seca do sistema radicular foi equivalente a 82 % da Testemunha. Considerando a salinidade da Testemunha como um padrão, o aumento da relação MSR/MSPA das plantas sob salinidade reflete o desequilíbrio entre os órgãos provocado pelo afastamento do estado padrão.

Em seu trabalho, Viana et al. (2004) relatam um comportamento diferente. Aumentando a salinidade do solo, a relação das massas decresceu, o que foi atribuído pelos autores ao maior prejuízo do sistema radicular. Por outro lado, em condições hidropônicas, Tesi, Lenzi e Lombardi (2003), Bie, Ito e Shinohara (2004), Feigin et al. (1991).

Em relação ao consumo de água, também foi observada a redução linear à medida que se aumentou a salinidade da solução nutritiva, excetuando-se mais uma vez o comportamento registrado no Experimento V (Figura 72).

Especificamente, para as variáveis massas de matéria fresca e seca e consumo de água, observa-se que os pontos do tratamento testemunha forçam a curvatura da resposta da variável dependente ao aumento da salinidade. Se os valores da testemunha para massa de matéria fresca da parte aérea fossem eliminados, por exemplo, a resposta seria ajustada estatisticamente por uma



função do primeiro grau, mas não por polinômios do segundo ou terceiro graus, conforme simulado no programa SAS. Isso pode ser verificado pela redução linear da produtividade entre os tratamentos Testemunha e T1, que nesse experimento foi de 43 %  $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$ , enquanto no Experimento IV foi de apenas 10,5 %  $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$ . No Experimento VI, por sua vez, foi registrado aumento linear nesse trecho para o aumento da salinidade.

Como se pode observar na Figura 73, como a produção de matéria fresca não seguiu a linearidade prevista para utilização do modelo de Maas e Hoffman, o valor do coeficiente SL encontrado no Experimento V foi desajustado. Por outro lado, o valor do coeficiente b pode ser interpretado como verdadeiro já que indica a declividade da reta ao se desconsiderar a produtividade da Testemunha. Ou seja, indica a redução da produtividade pelo aumento da salinidade nos tratamentos salinos, incorporando-se o efeito do problema anteriormente levantado, devendo ser válido para o domínio ( $\text{CEsol}_{T1}$  a  $\text{CEsol}_{T7}$ ). O mesmo se observa quando se utiliza a variável massa de matéria seca da parte aérea (Figura 74). Poder-se-ia ajustar um outro modelo que não o de Maas e Hoffman para se estimar a tolerância à salinidade. Entretanto, mais coerente é não fazê-lo, pois os dados desse experimento foram muito influenciados pelo problema ocorrido no estabelecimento das mudas.

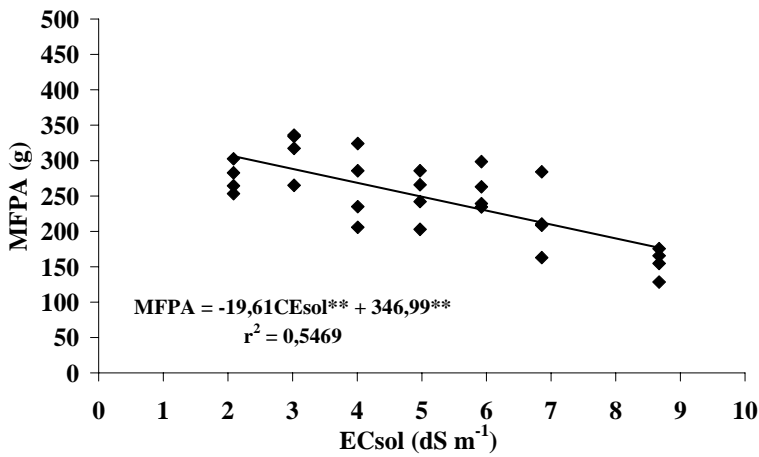
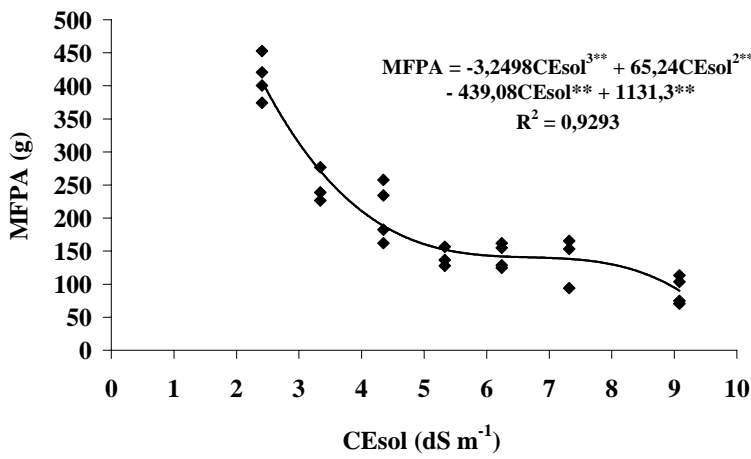
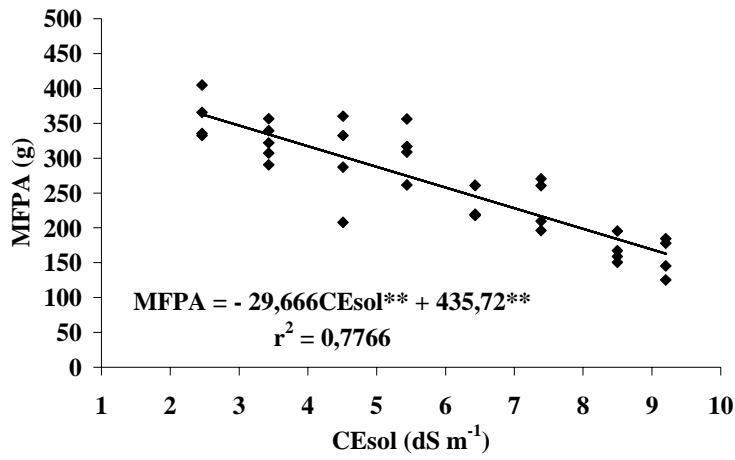
Para o Experimento IV, a SL foi estimada em 2,69  $\text{dS m}^{-1}$  para a produtividade comercial da alface 'Verônica'. Quando se utilizou a massa de matéria seca da parte aérea, a SL foi estimada em 2,25  $\text{dS m}^{-1}$ . A diferença na SL obtida com as duas variáveis foi de 0,44  $\text{dS m}^{-1}$  (Figura 73, Figura 74).

No Experimento VI, a SL para a produtividade comercial foi estimada em 4,03  $\text{dS m}^{-1}$ . Também nesse experimento foi verificado que ao se utilizar a massa de matéria seca da parte aérea, a SL estimada diminuiu. Nesse caso, para 3,53  $\text{dS m}^{-1}$ . Assim, a diferença entre as SL estimadas para as duas variáveis foi igual a 0,50  $\text{dS m}^{-1}$  (Figura 73, Figura 74).

Tão importante quanto a SL é o coeficiente b do modelo de Maas e Hoffman (1977). Em todos os experimentos em hidroponia NFT, o coeficiente b aumentou quando se usou a massa de matéria seca da parte aérea ao invés da produtividade comercial, o que representa menor declividade. Isso significa dizer que ao avaliar a tolerância da alface mediante a massa de matéria seca, observou-se menor redução da produtividade por aumento unitário da salinidade acima da SL. Enquanto nos Experimentos IV e VI o coeficiente b foi aproximadamente o mesmo (-8,3 %  $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$ ), no Experimento V se registrou um valor menor para a declividade (-6,175 %  $(\text{dS m}^{-1})^{-1}$ ).

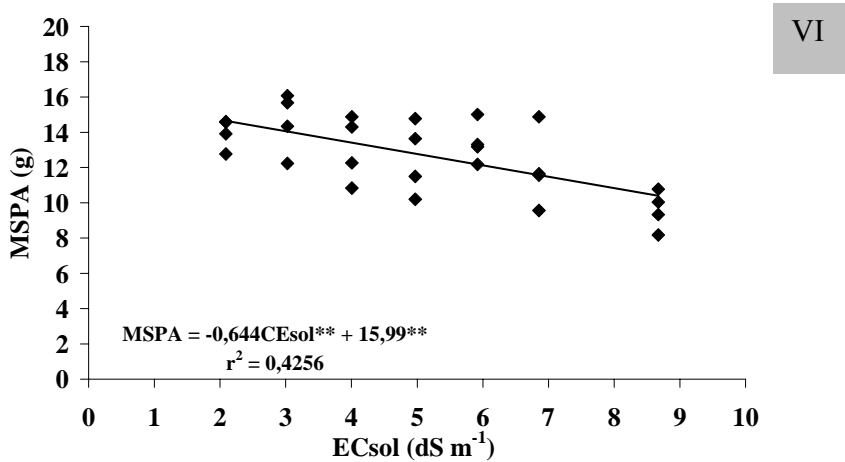
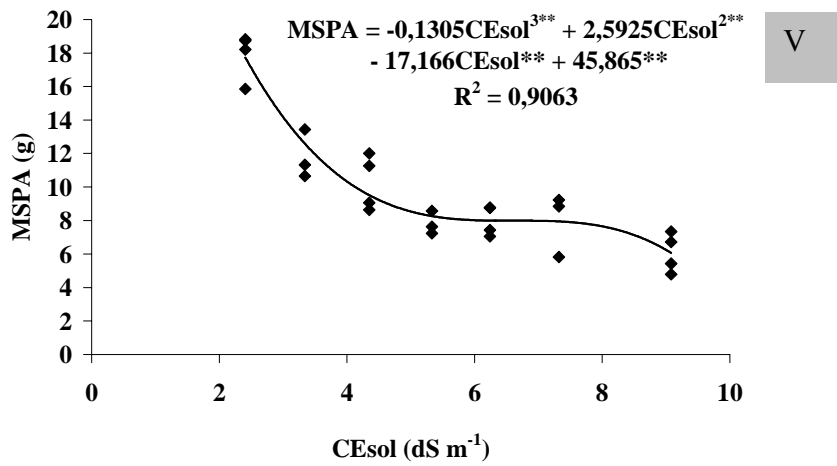
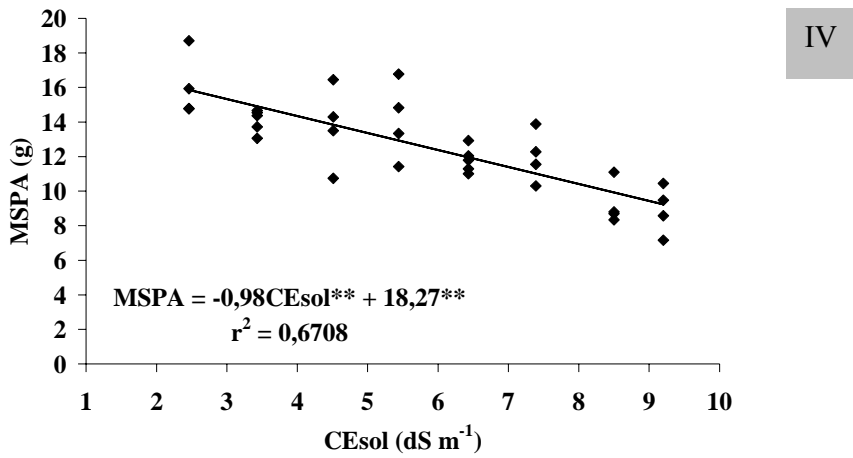
<sup>1</sup>. Entretanto, no caso do Experimento V, a menor declividade não representa maior tolerância obtida nesse experimento, pois, ao se analisar complementarmente a SL, parece mais razoável que ela representa a maior igualdade de baixas produções com o aumento da salinidade. Esse é mais um indício do não ajuste dos dados desse experimento ao modelo de Maas e Hoffman, o qual é indicado para respostas lineares, sabendo-se que essas geralmente não são obtidas para produtividades inferiores a 50 %.

Para os Experimentos IV e VI, as produtividades não chegaram a ser inferiores aos 50 % (**Tabela 28**), mesmo sob as altas salinidades da solução nutritiva obtidas com o tratamento T7. Para o mesmo tratamento no Experimento V, a produtividade relativa foi de 33,9 %.



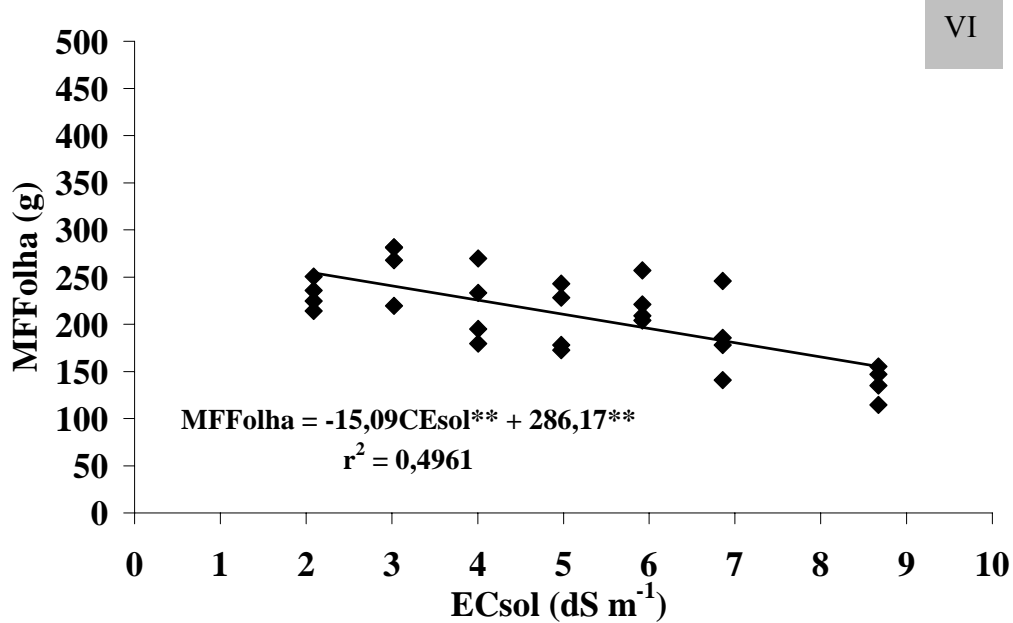
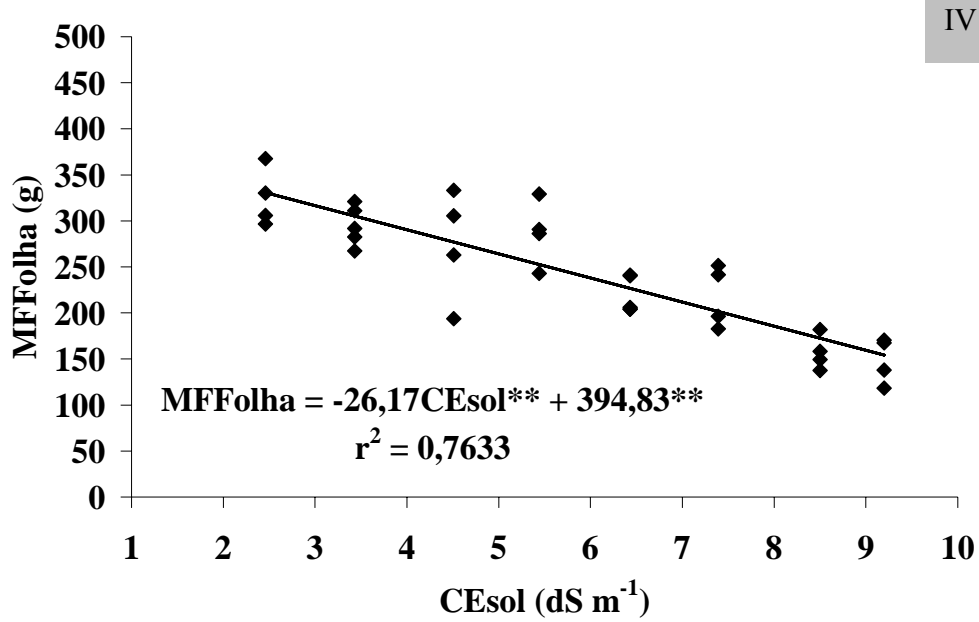
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 63 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

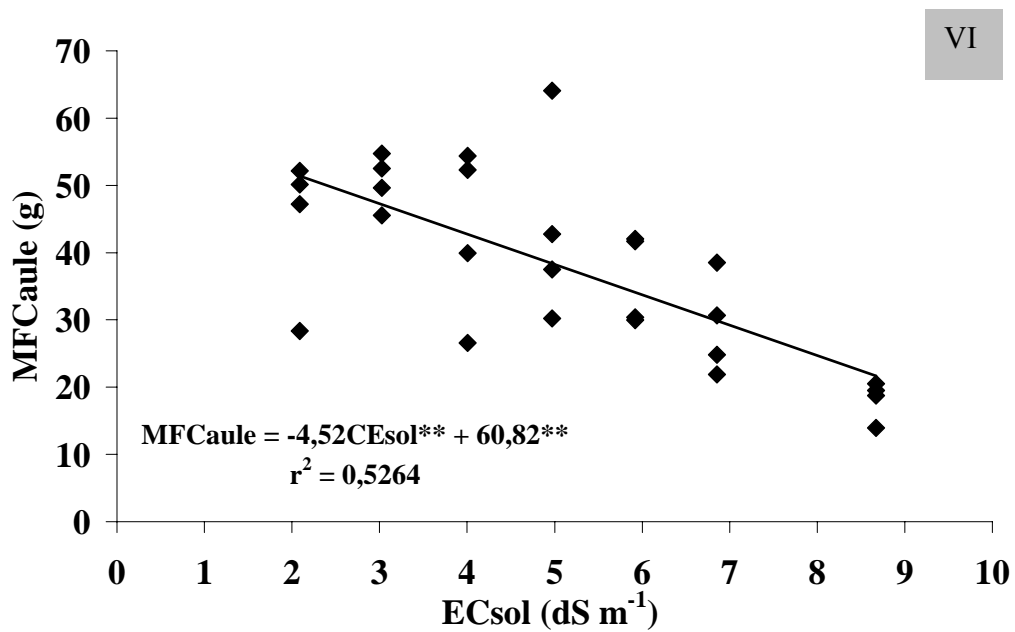
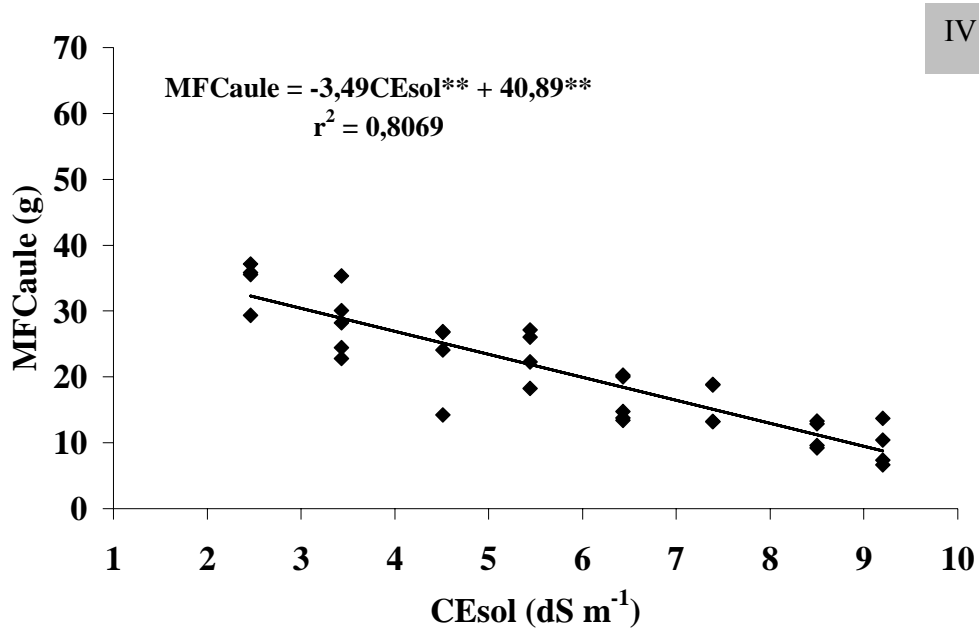
Figura 64 - Massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

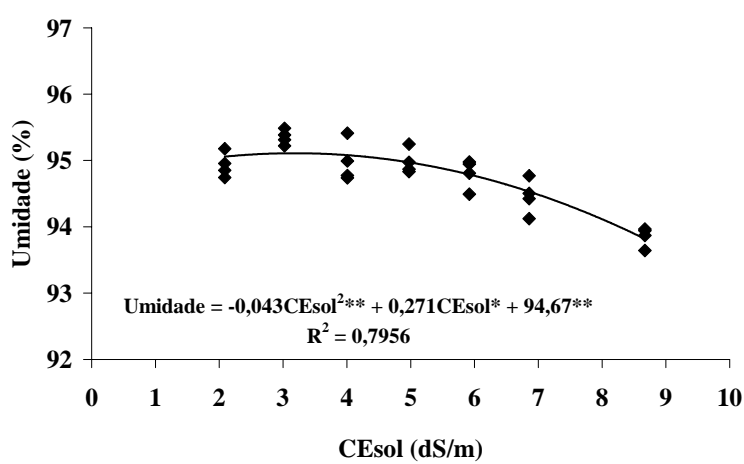
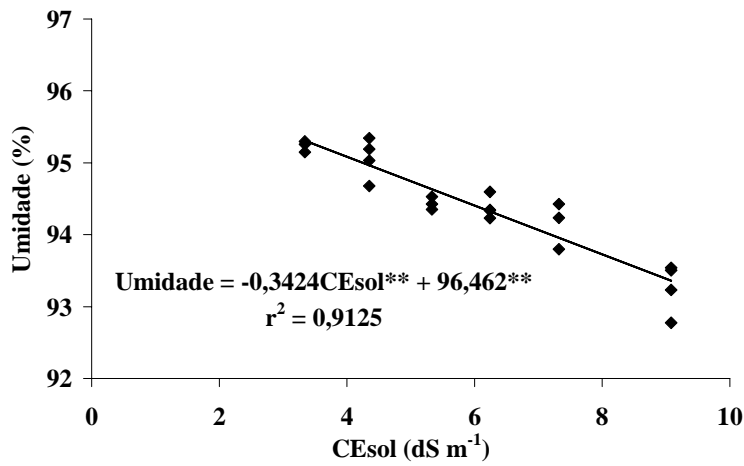
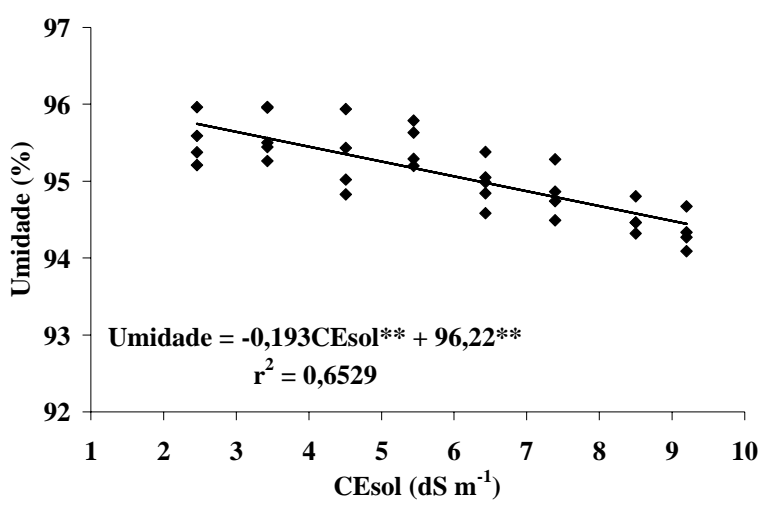
Figura 65 - Massa de matéria fresca das folhas em função da salinidade da solução nutritiva nos

Experimentos IV e VI



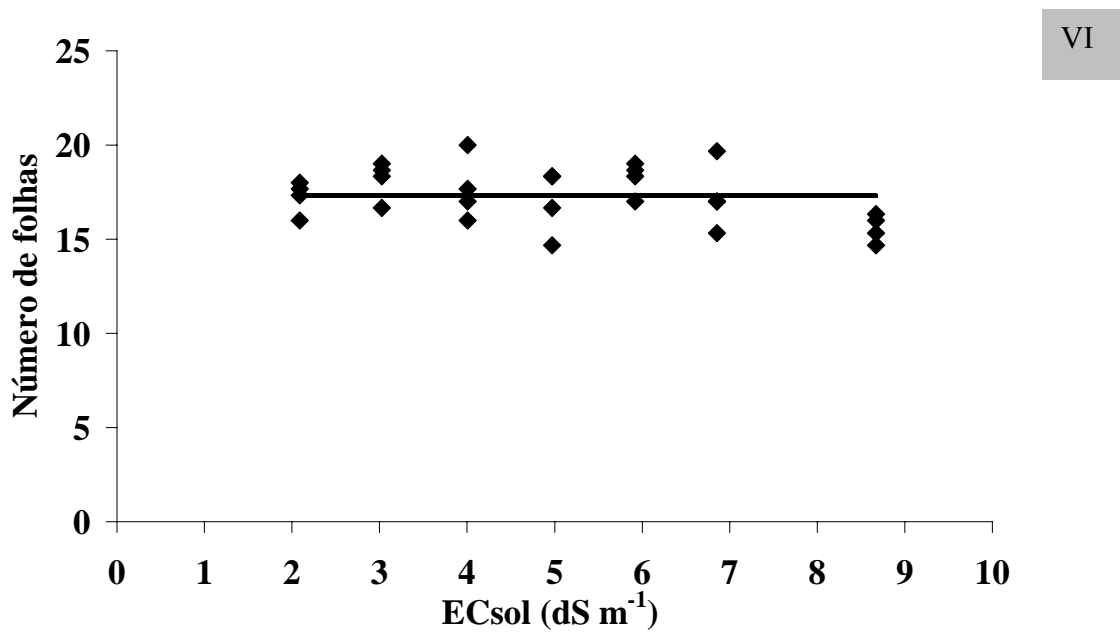
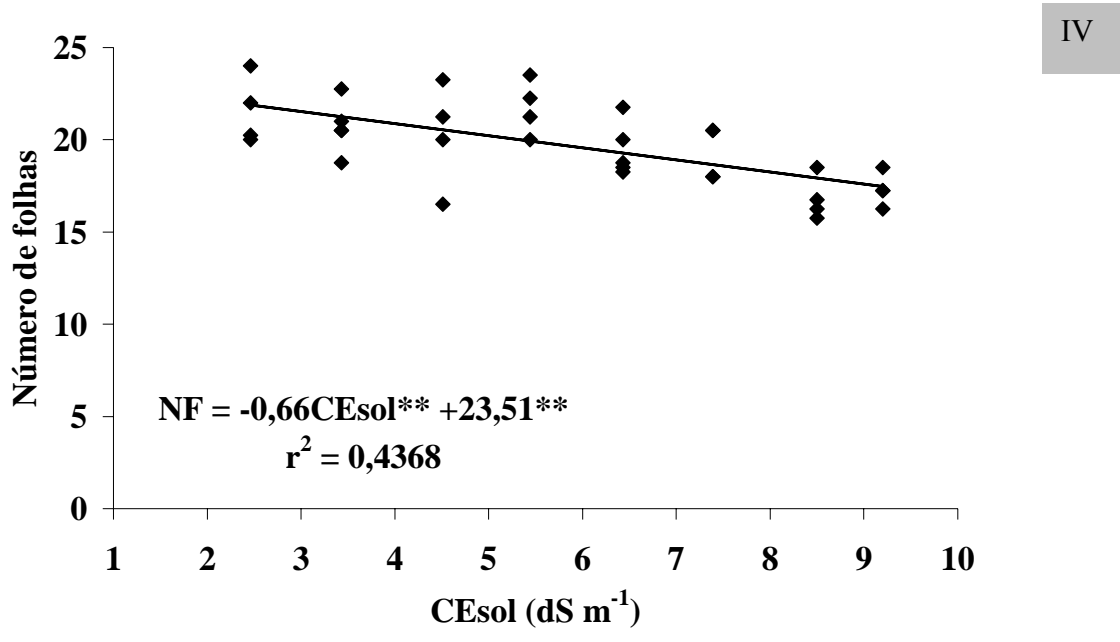
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 66 - Massa de matéria fresca do caule em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

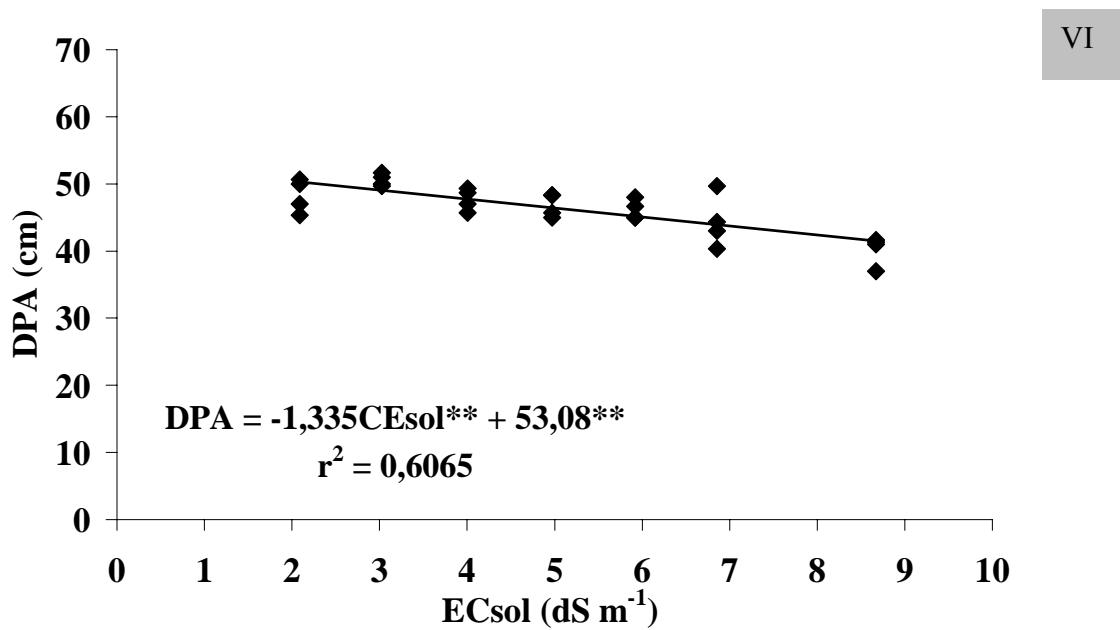
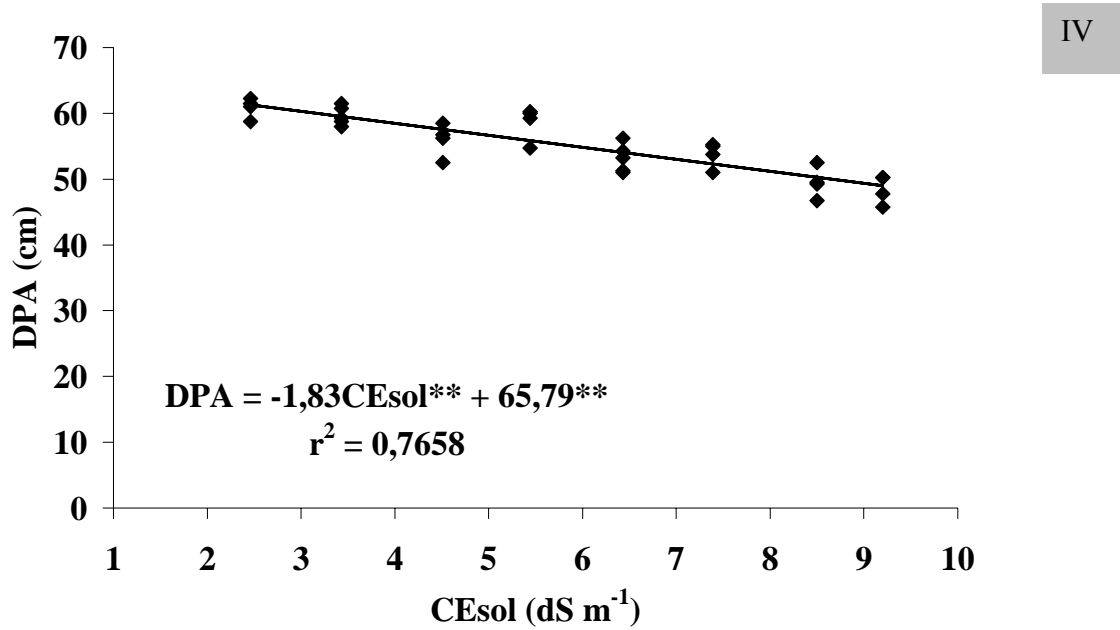
Figura 67 - Teor de água na parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI



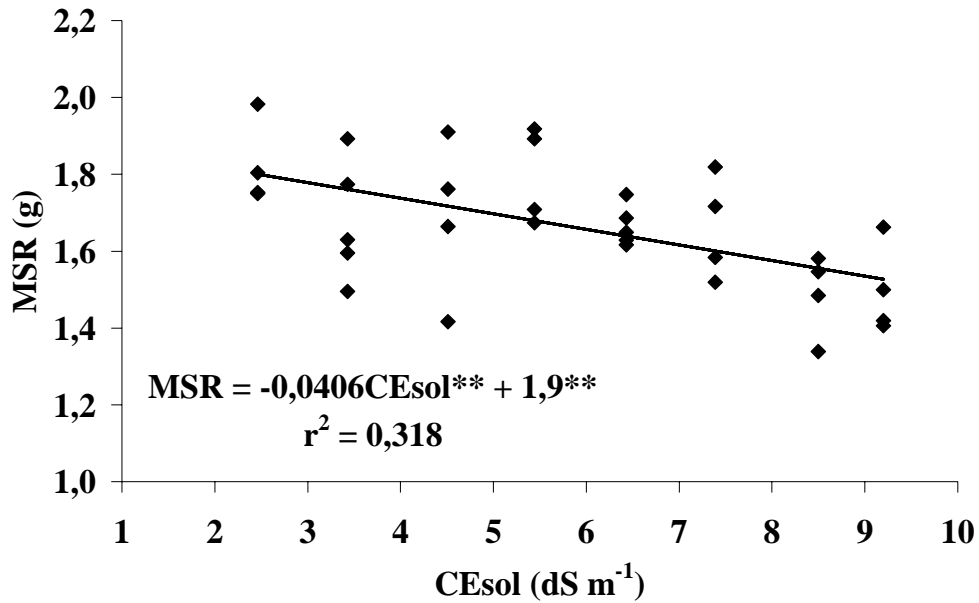
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 68 - Número de folhas em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI

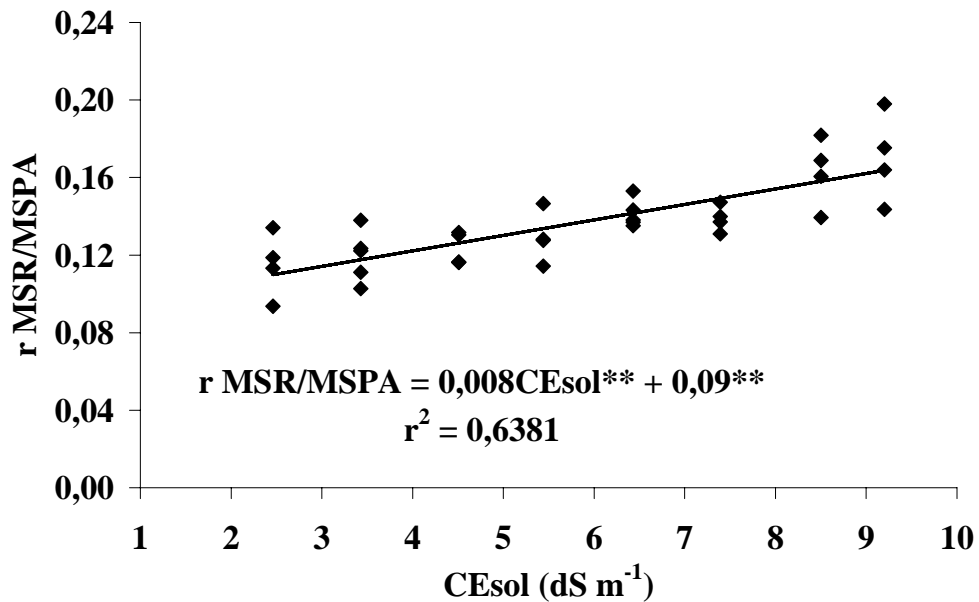




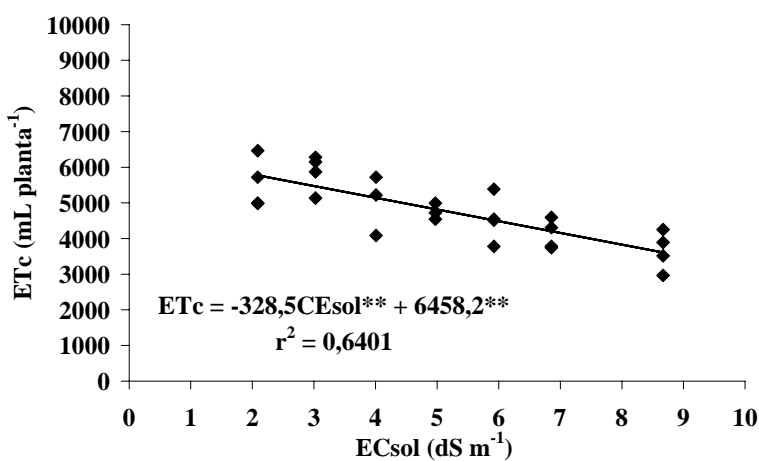
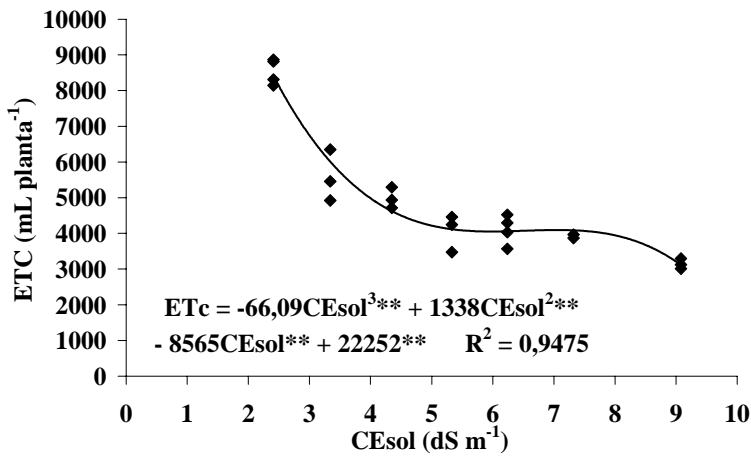
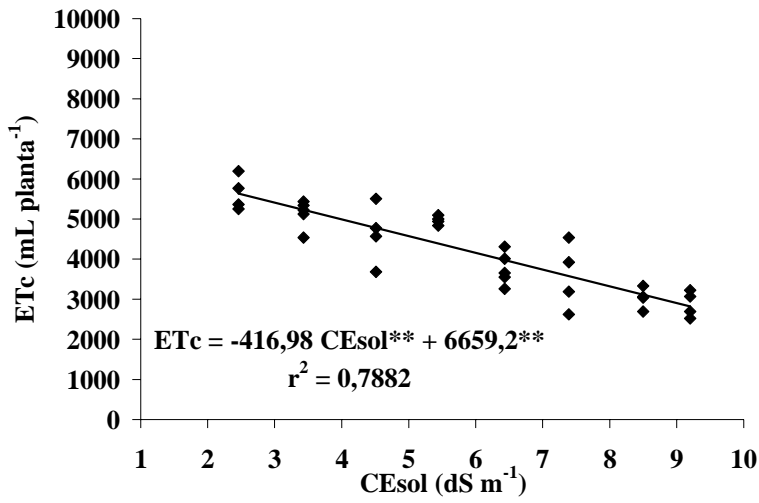
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.  
 Figura 69 - Diâmetro da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV e VI



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.  
 Figura 70 - Massa de matéria seca das raízes da alface ‘Verônica’ em função da salinidade da solução nutritiva no Experimento IV



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.  
 Figura 71 - Razão das massas de matéria seca das raízes e da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva no Experimento IV



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 72 - Consumo de água em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos IV (17-33 DAT), V (4-27 DAT) e VI (3-25 DAT)

Tabela 28 - Massas de matéria fresca e seca da parte aérea, em valores absolutos e relativos à testemunha, em função da CE da solução nutritiva nos Experimentos IV, V e VI

<b>Experimento IV</b>					
<b>Tratamento</b>	<b>CEsol (dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>MFPA (g)</b>	<b>MFPA (%)</b>	<b>MSPA (g)</b>	<b>MSPA (%)</b>
Test	2,46	359,46	100,00	16,05	100,00
T1	3,43	322,97	89,85	14,07	87,66
T2	4,51	296,85	82,58	13,75	85,67
T3	5,44	311,41	86,63	14,09	87,79
T4	6,43	235,56	65,53	11,81	73,58
T5	7,39	234,11	65,13	12,01	74,83
T6	8,50	173,89	48,38	9,23	57,51
T7	9,20	158,16	44,00	8,92	55,58

<b>Experimento V</b>					
<b>Tratamento</b>	<b>CEsol (dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>MFPA (g)</b>	<b>MFPA (%)</b>	<b>MSPA (g)</b>	<b>MSPA (%)</b>
TEST	2,41	412,06	100,00	17,90	100,00
T1	3,34	247,52	60,07	11,81	65,96
T2	4,35	209,08	50,74	10,24	57,18
T3	5,33	140,53	34,11	7,81	43,64
T4	6,24	142,58	34,60	8,00	44,70
T5	7,32	137,60	33,39	7,96	44,48
T6					
T7	9,08	90,73	22,02	6,07	33,90

<b>Experimento VI</b>					
<b>Tratamento</b>	<b>CEsol (dS m<sup>-1</sup>)</b>	<b>MFPA (g)</b>	<b>MFPA (%)</b>	<b>MSPA (g)</b>	<b>MSPA (%)</b>
TEST	2,09	275,72	100,00	13,96	100,00
T1	3,03	313,13	113,57	14,58	104,42
T2	4,01	262,58	95,23	13,07	93,61
T3	4,97	249,08	90,34	12,53	89,73
T4	5,92	258,77	93,85	13,41	96,06
T5	6,86	216,53	78,53	11,91	85,31
T6					
T7	8,67	156,09	56,61	9,58	68,60

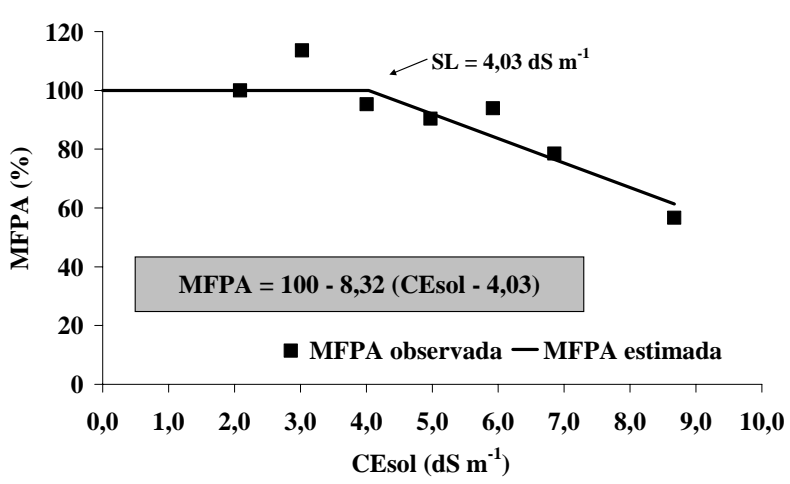
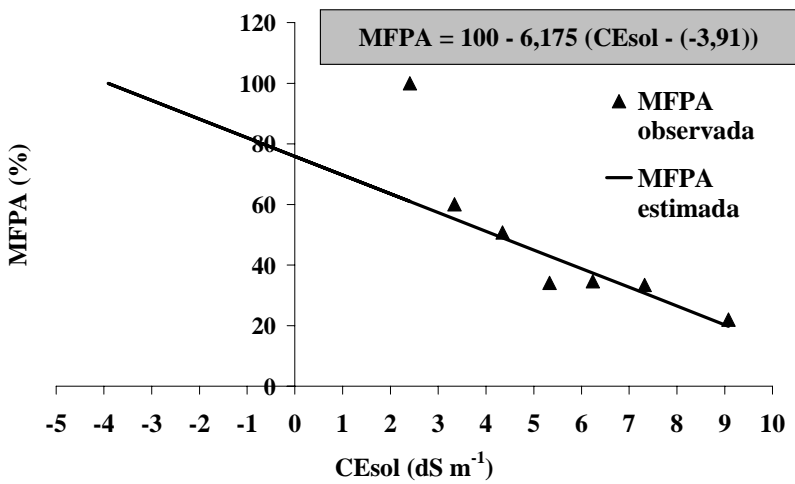
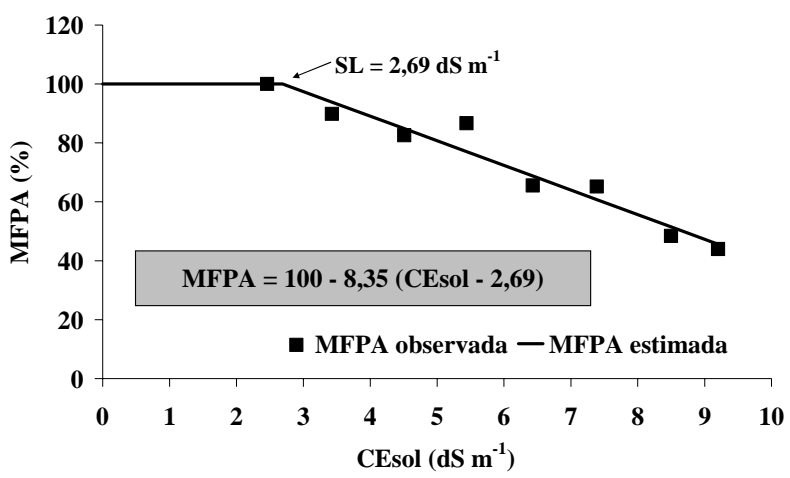


Figura 73 - Produção relativa de massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos V, VI e VII

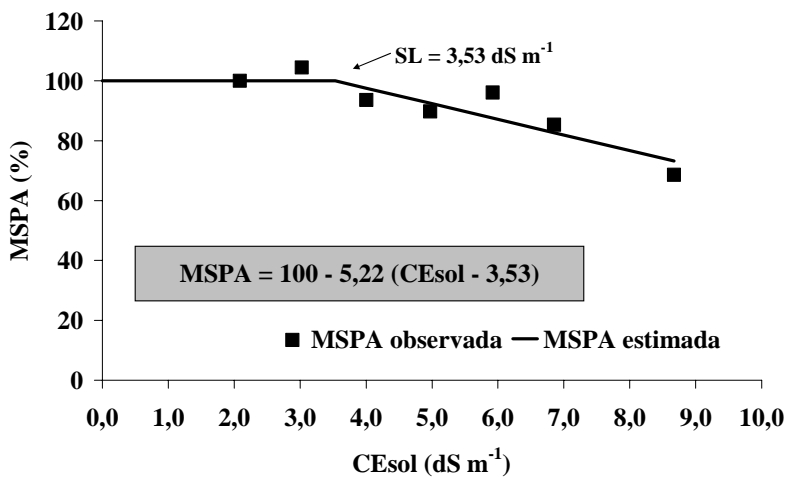
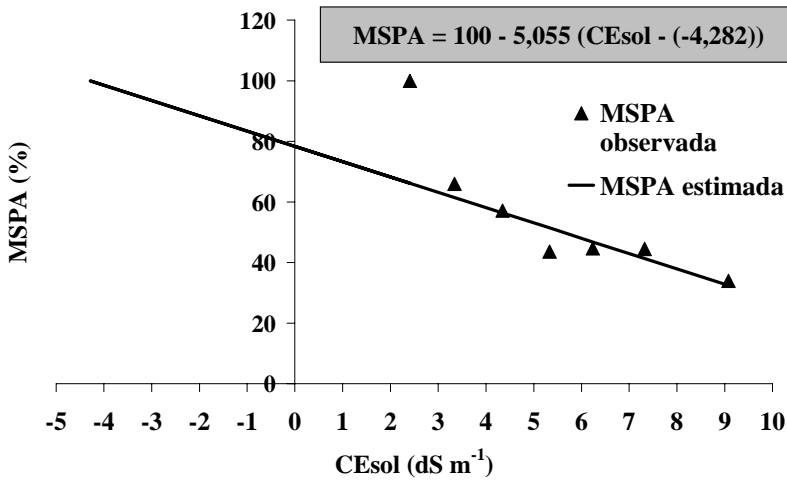
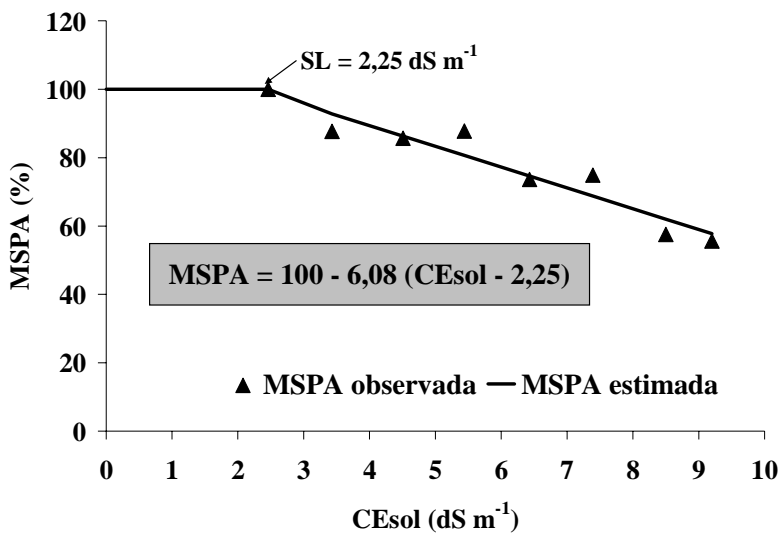


Figura 74 - Produção relativa de massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da solução nutritiva nos Experimentos V, VI e VII

### 2.3.2.3.2 Tolerância da alface 'Verônica' à salinidade em solo

Em relação ao cultivo em solo, efetuado paralelamente ao da hidroponia NFT durante os Experimentos V e VI, também houve o efeito linear no decréscimo da produção, seja na massa de matéria fresca (Figura 75), seja na massa de matéria seca (Figura 76), em função do aumento da salinidade no extrato de saturação. Mesmo no Experimento V, a resposta foi linear, lembrando que sob as mesmas condições experimentais, na hidroponia a resposta dessas variáveis foi não linear, sendo esse comportamento atribuído ao problema no transplântio das mudas. No Experimento VI também foi demonstrado que a redução da massa de matéria fresca da parte aérea se faz pela redução da massa das folhas e do caule (Figura 77), sendo o número de folhas e o diâmetro da parte aérea (Figura 78) também prejudicados pelo aumento da salinidade do solo.

Enquanto na hidroponia a umidade no tecido da parte aérea diminuiu com o aumento da salinidade, no cultivo em solo ocorreu o inverso (Figura 79). Em solo, o maior desenvolvimento levando ao aumento do consumo de água (Figura 80, Figura 81), não é compensado pelo fornecimento instantâneo de água, daí a oscilação da disponibilidade hídrica entre um evento de irrigação e outro, o que pode ter diminuído o conteúdo de água nas plantas mais desenvolvidas, que são justamente aquelas submetidas aos menores níveis de salinidade. Na hidroponia, como há constante disponibilidade de água para as plantas, espera-se que o teor de água na planta seja mais relacionado à sua aclimatação aos sais do que às diferenças de esgotamento de água do meio em função das diferenças de consumo hídrico proporcionadas pela salinidade.

Caso fosse efetuada a irrigação também no dia da coleta, é provável que se tivesse verificado o oposto: diminuição do teor de água na parte aérea em função do aumento da salinidade. Também utilizando águas salobras (1,07; 3,25 e 5,3 dS m<sup>-1</sup>), sem aparente fração de lixiviação, Blanco, Medeiros e Folegatti (1999) observaram para a mesma cultivar Verônica, que o aumento da salinidade em canteiros de solo argiloso sob casa-de-vegetação, levou à diminuição da turgidez das plantas, aumento o percentual de matéria seca.

Durante o Experimento V, foi observado que a tensão da água no solo foi mantida abaixo de 10 kPa para todos os tratamentos até os 16 DAT (20/11/05). Para os tratamentos mais salinos, sempre foi mantida a tensão abaixo desse valor. Para os tratamentos menos salinos, mesmo aplicando mais água na irrigação os valores de tensão registrados antes de cada nova irrigação chegaram a ultrapassar os 10 kPa. Para os níveis de salinidade T2 e T3, a tensão foi mantida abaixo de 20 kPa. Para a Testemunha, chegou a se atingir 30 kPa. E para T1 foram registrados

valores próximos de 70 kPa (Figura 80). As maiores oscilações na tensão foram verificadas apenas na última semana do cultivo, o que pode ser atribuído ao baixo consumo no início do ciclo, aliando-se a isso a diminuição da evaporação mediante o mulching.

Já no Experimento VI, efetuou-se um melhor controle da umidade do solo também para os tratamentos menos salinos, sendo a máxima tensão mantida abaixo de 40 kPa para Testemunha, de 30 kPa para T2 e de 20 para T1 e T3. Mais uma vez, essas tensões máximas foram registradas apenas nos últimos dias de cultivo (Figura 81), sendo os volumes de irrigação pouco variáveis de um tratamento para outro, em ambos os Experimentos.

Como verificado na linearidade das funções ajustadas apresentadas na Figura 75 e na Figura 76, para o cultivo da alface 'Verônica' em solo foi possível estabelecer o modelo de Maas e Hoffman para explicar a diminuição da produtividade em função do aumento da salinidade da solução nutritiva.

A partir dos dados apresentados na **Tabela 29**, foram estimados os valores de tolerância para a alface 'Verônica' cultivada em solo. Para o Experimento V, a salinidade limiar (SL) para a produção comercial foi estimada em  $2,58 \text{ dS m}^{-1}$ . Para a variável massa de matéria seca da parte aérea, a SL estimada foi um pouco menor:  $2,42 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo de apenas  $0,16 \text{ dS m}^{-1}$  a diferença entre a SL obtida com as duas variáveis.

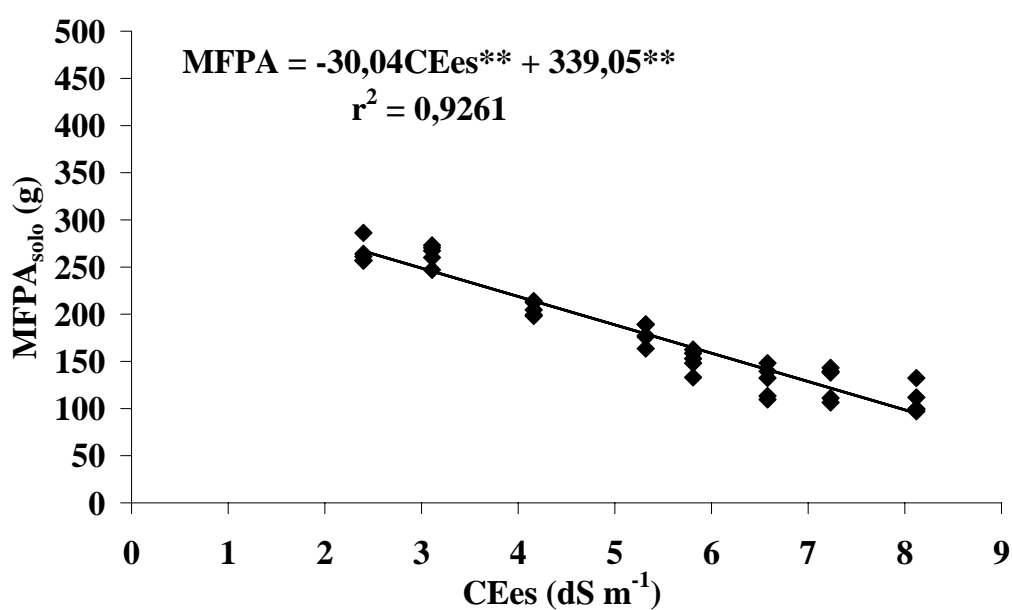
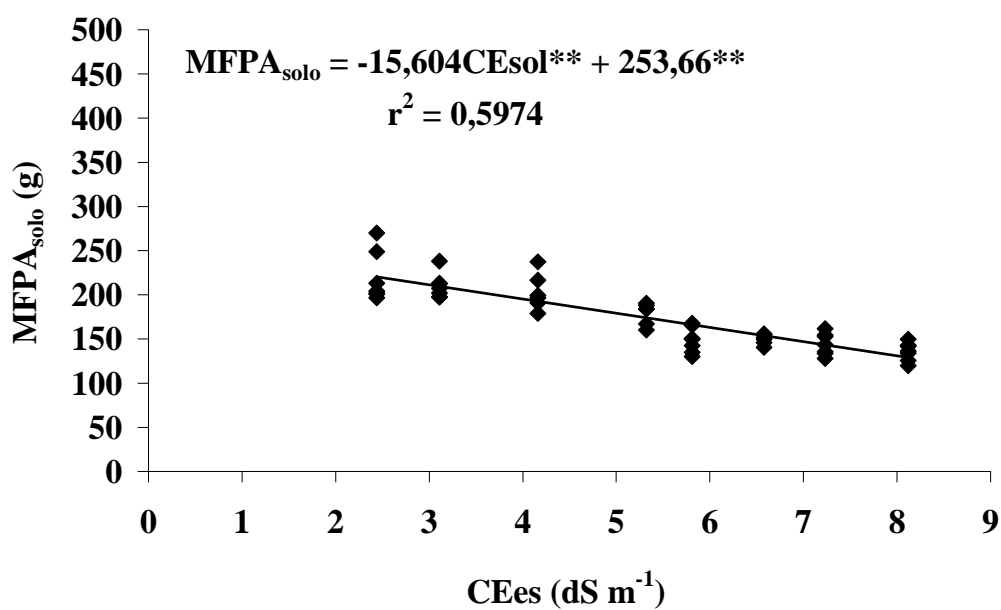
Para o Experimento VI, a SL foi estimada em  $2,51 \text{ dS m}^{-1}$  para a produtividade comercial. Entretanto, a SL estimada para a massa de matéria seca foi menor:  $1,86 \text{ dS m}^{-1}$ . Nesse caso, a diferença entre os valores de SL estimados com as duas variáveis foi de  $0,65 \text{ dS m}^{-1}$ .

No estudo com hidroponia, a SL também foi menor quando estimada pela massa de matéria seca da parte aérea. Enquanto na hidroponia, o teor de água na parte aérea é função da salinidade e não da disponibilidade quantitativa de água no meio, pois esse é saturado, no solo se teve a restrição de água entre uma irrigação e outra. Nesse sentido, enquanto para a hidroponia parece mais correto se avaliar a tolerância mediante a resposta em termos de massa de matéria fresca, para o solo parece mais prudente, no presente estudo, avaliar a resposta da massa de matéria seca.

Assim como o coeficiente SL, o coeficiente b foi diferente ao se utilizar a massa de matéria seca ao invés da massa de matéria fresca da parte aérea. Para o Experimento V, o coeficiente b para a produtividade comercial foi estimado em  $-7,47 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ . Para a massa de matéria seca, foi estimado em  $-8,06 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ . Ou seja, ao se utilizar essa última variável, a redução foi  $0,59 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$  maior, comportamento distinto daquele observado em hidroponia.

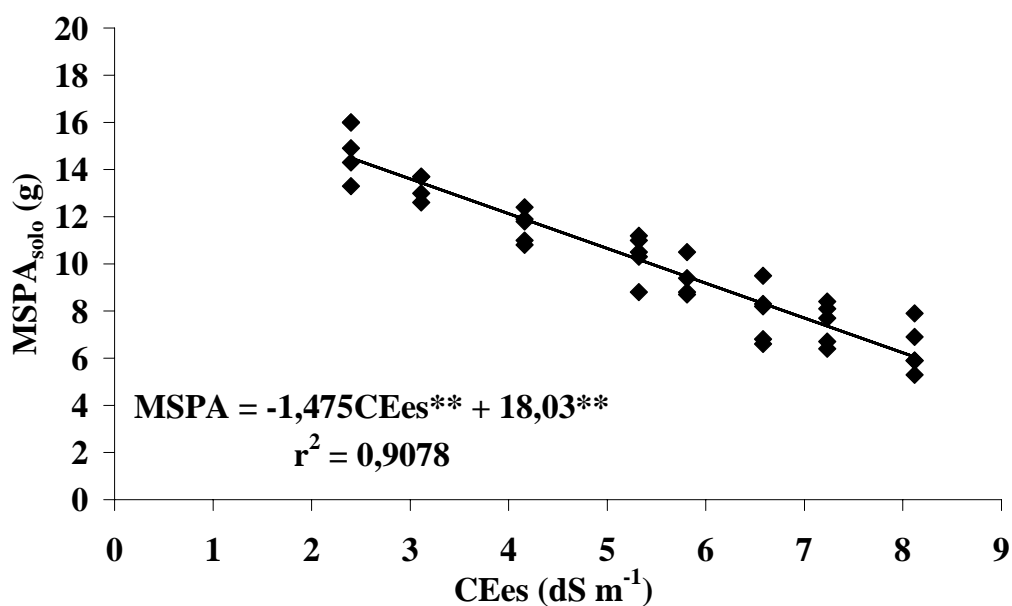
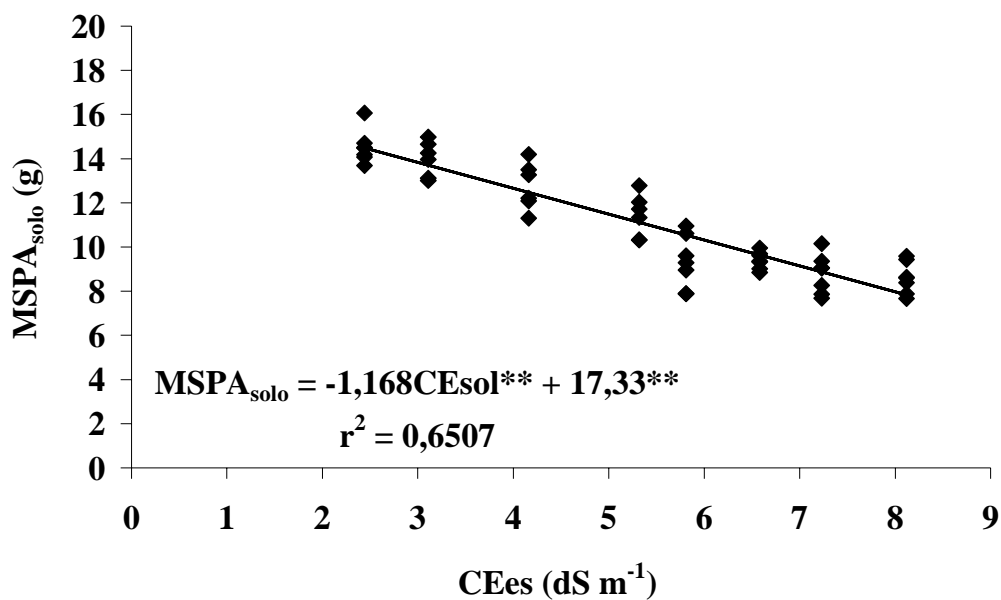


Por outro lado, no Experimento VI, a declividade diminuiu ao se usar a massa de matéria seca ( $b = -9,35 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ ) ao invés da matéria fresca ( $b = -11,47 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ ), uma diferença de  $3,1 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$ . Esse mesmo comportamento foi observado nos experimentos em hidroponia.



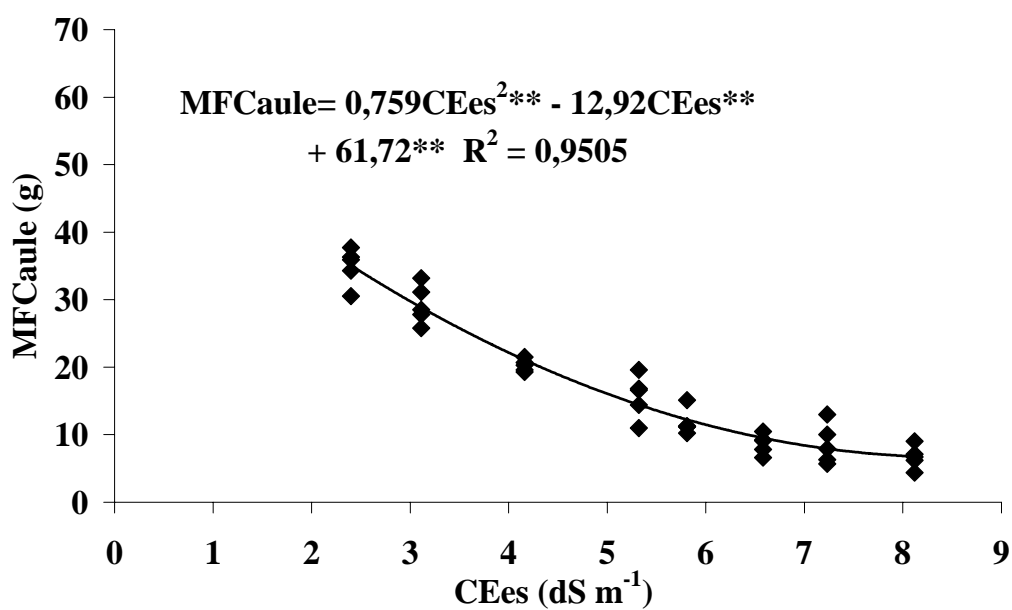
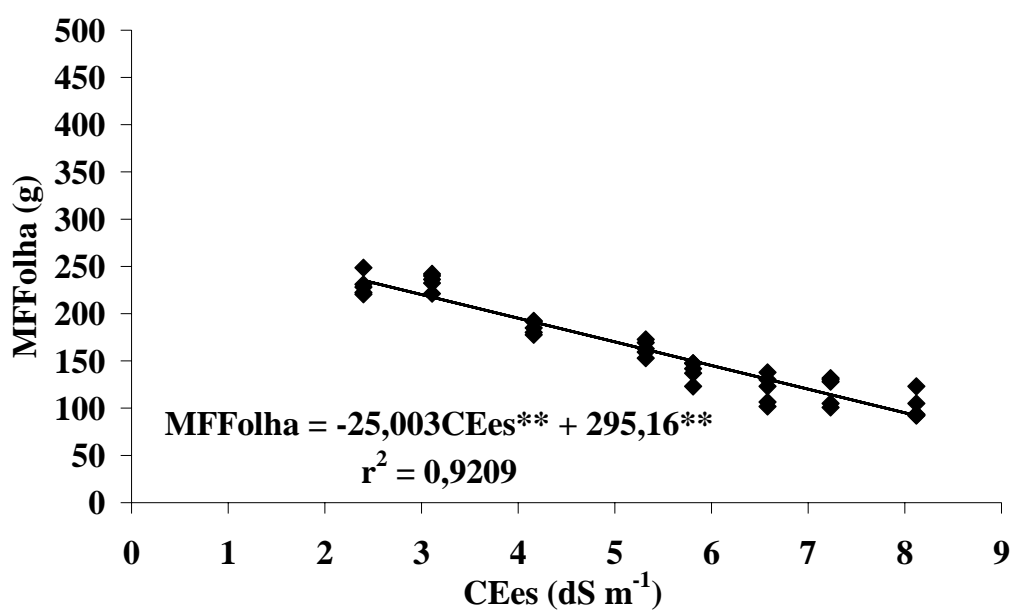
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 75 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI



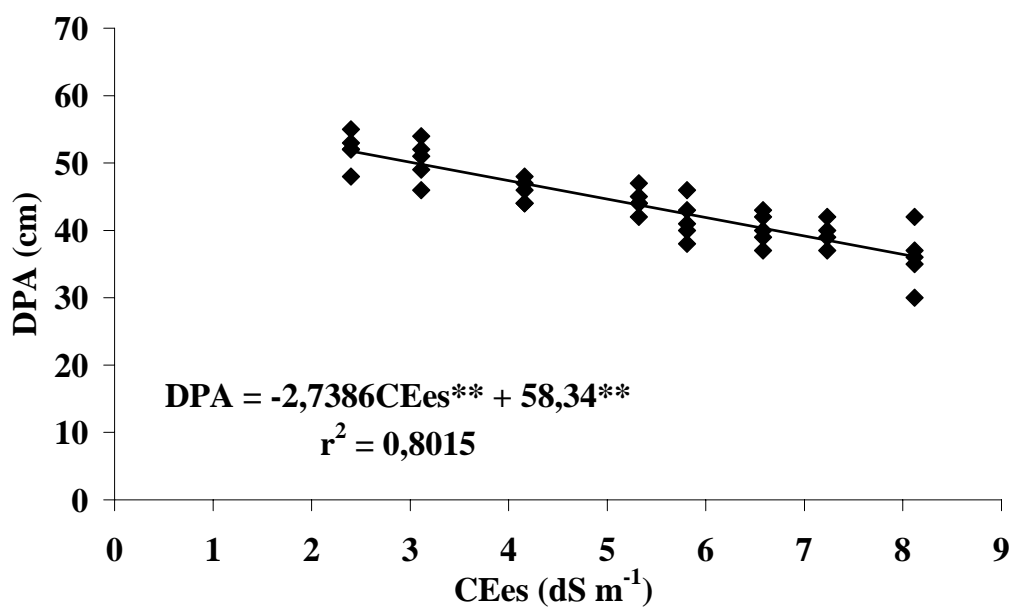
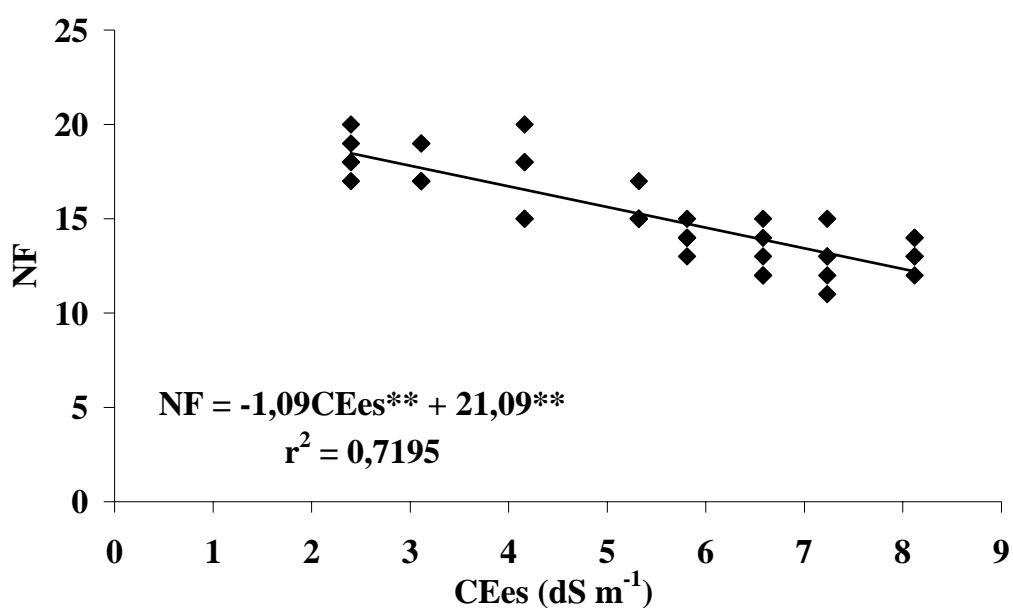
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 76 - Massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI



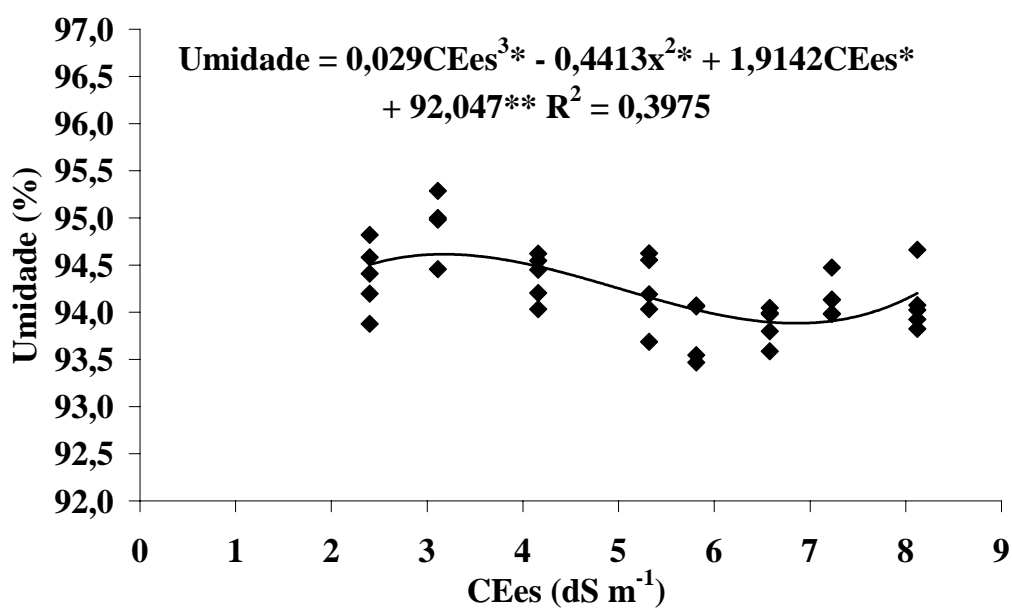
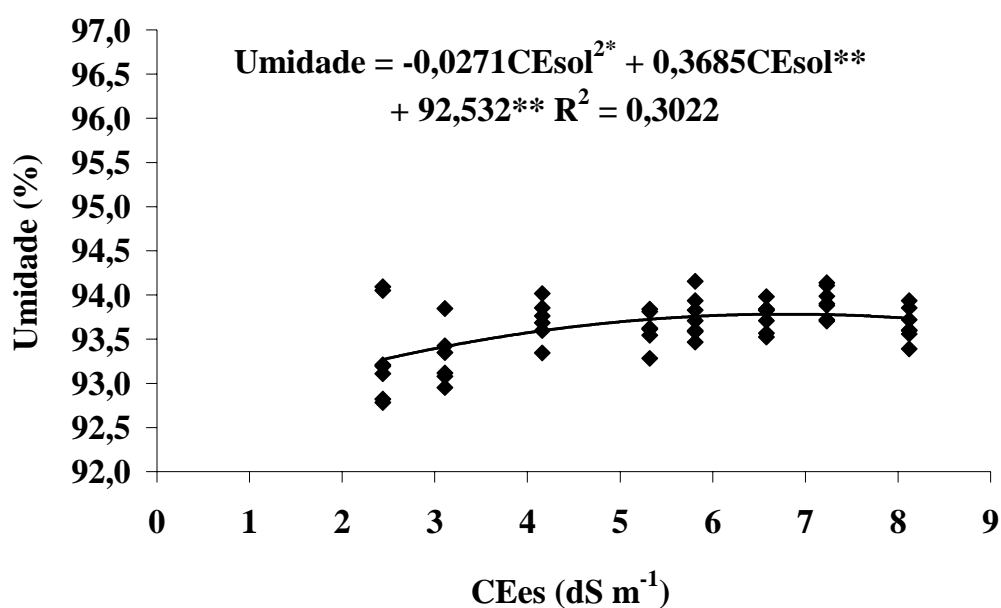
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 77 - Massa de matéria fresca das folhas (a) e do caule (b) em função da salinidade no extrato de saturação do solo no Experimento VI



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 78 - Número de folhas (a) e diâmetro da parte aérea (b) em função da salinidade no extrato de saturação do solo no Experimento VI



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 79 - Teor de água da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI

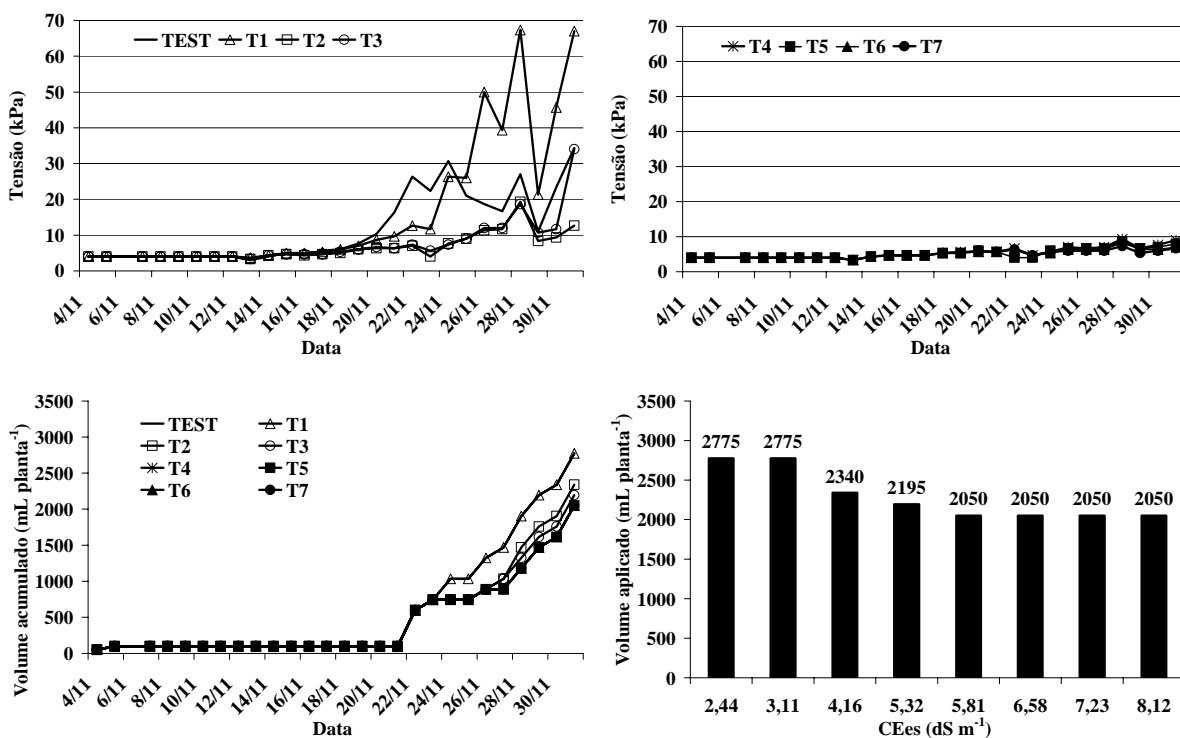


Figura 80 - Valores médios de tensão e do volume de irrigação no Experimento V

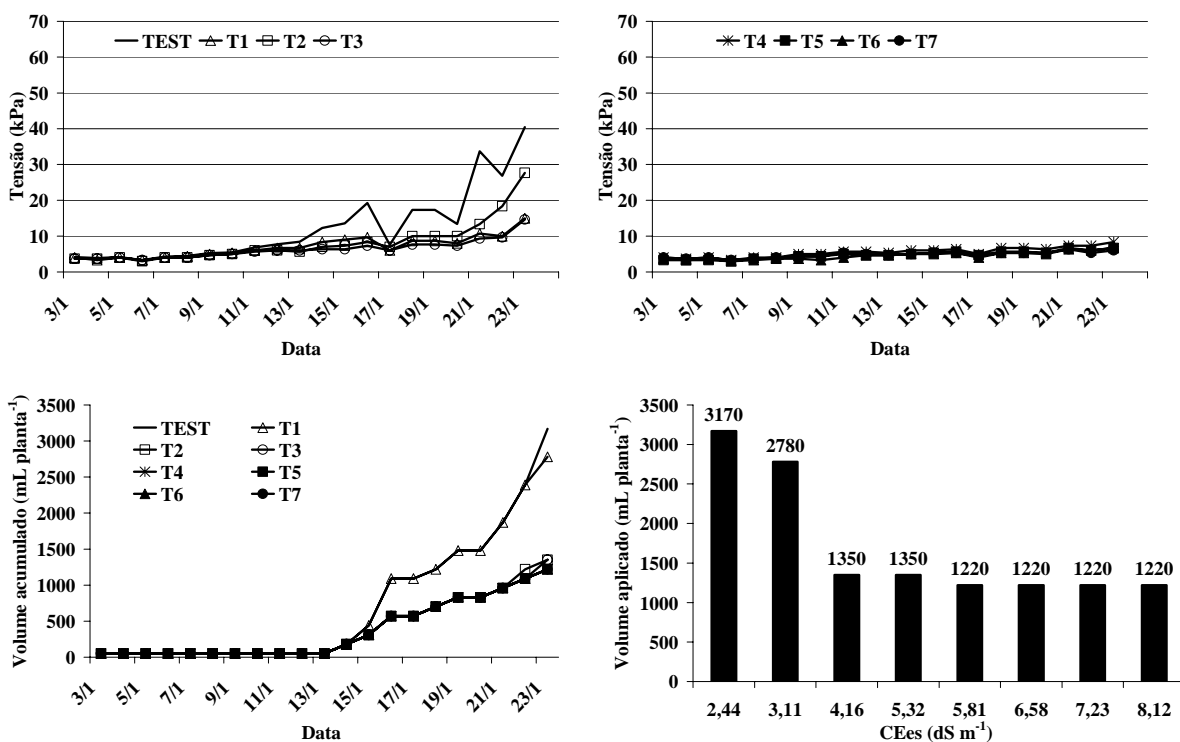


Figura 81 - Valores médios de tensão e do volume de irrigação no Experimento VI

Tabela 29 - Massas de matéria fresca e seca da parte aérea, em valores absolutos e relativos à testemunha, em função da salinidade do solo nos Experimentos V e VI

Tratamento	Experimento V				
	CEes (dS m <sup>-1</sup> )	MFPA (g)	MFPA (%)	MSPA (g)	MSPA (%)
TEST	2,44	219,4	100,00	14,5	100,00
T1	3,11	209,7	95,57	14,0	96,39
T2	4,16	203,3	92,64	12,8	87,88
T3	5,32	178,9	81,55	11,4	78,65
T4	5,81	148,8	67,81	9,3	64,19
T5	6,58	150,6	68,63	9,4	64,74
T6	7,23	144,1	65,70	8,8	60,40
T7	8,12	135,7	61,85	8,6	59,20

Tratamento	Experimento VI				
	CEes (dS m <sup>-1</sup> )	MFPA (g)	MFPA (%)	MSPA (g)	MSPA (%)
TEST	2,44	265,00	100,00	14,90	100,00
T1	3,11	263,60	99,47	13,25	88,93
T2	4,16	205,74	77,64	11,58	77,72
T3	5,32	179,10	67,58	10,36	69,53
T4	5,81	151,14	57,03	9,35	62,75
T5	6,58	128,52	48,50	7,88	52,89
T6	7,23	127,68	48,18	7,46	50,07
T7	8,12	107,98	40,75	6,38	42,82



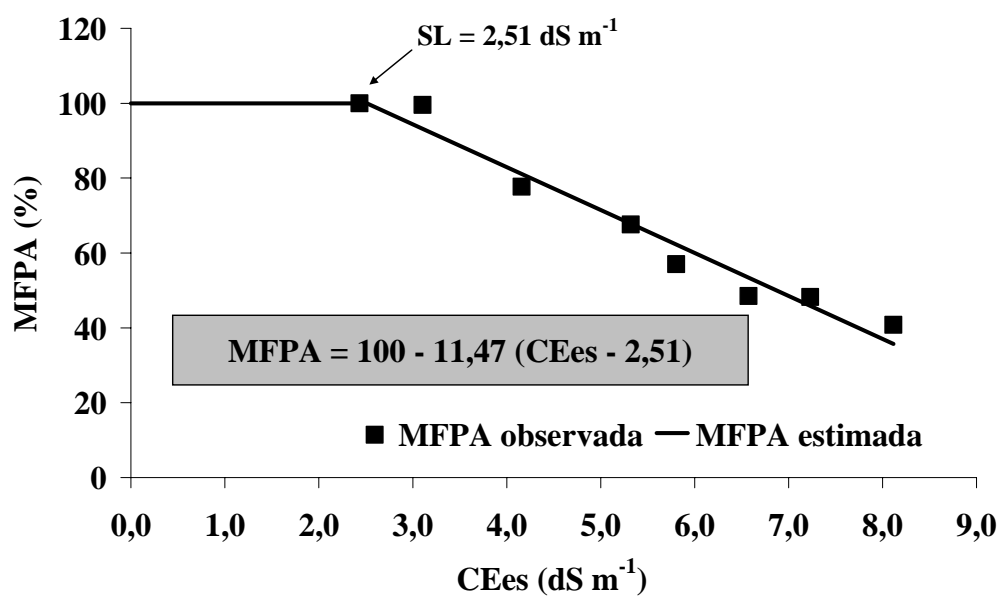
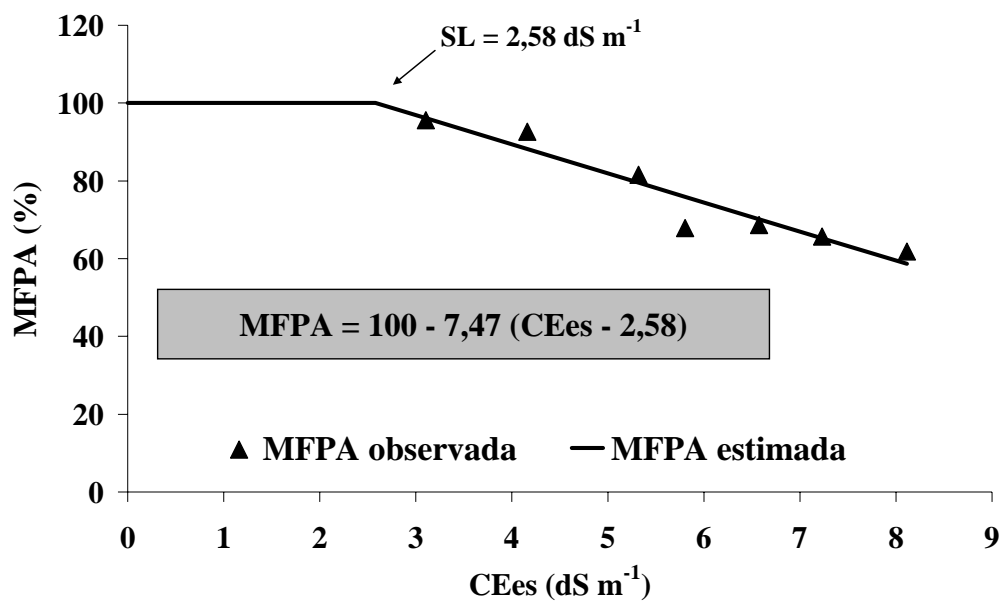


Figura 82 - Produção relativa de massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI

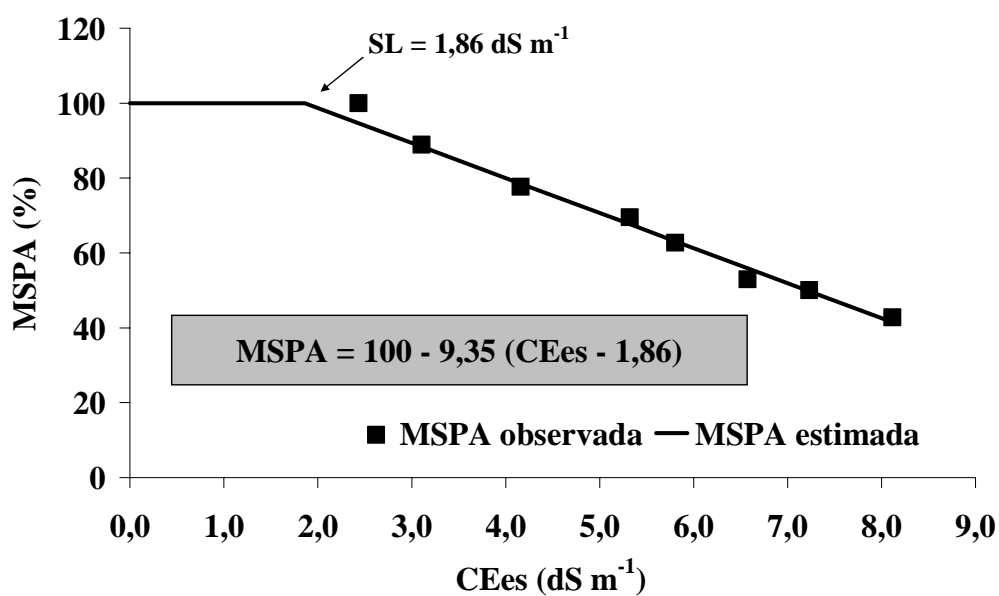
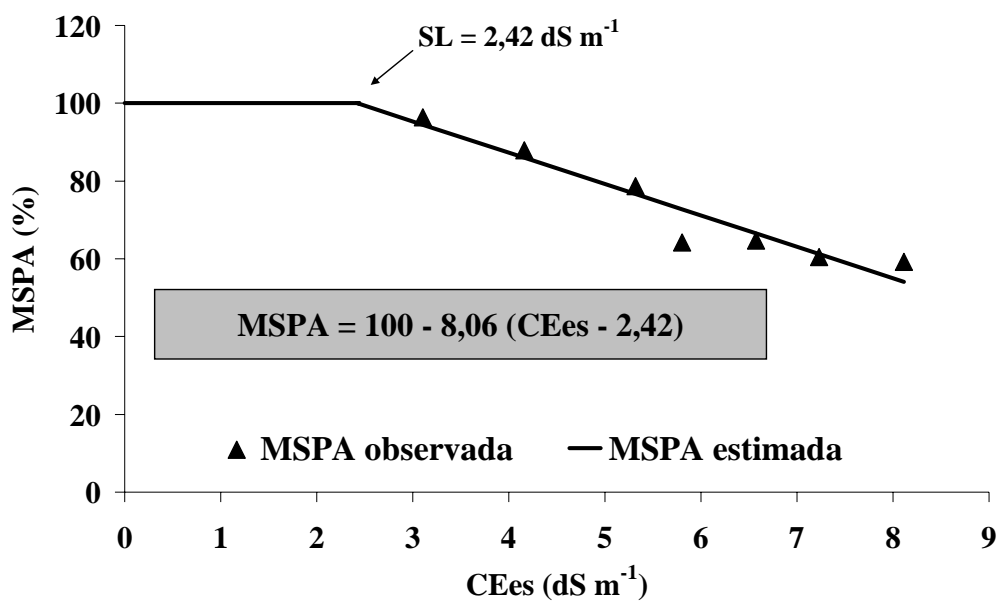


Figura 83 - Produção relativa de massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade no extrato de saturação do solo nos Experimentos V e VI

### 2.3.2.3.3 Comparação entre os sistemas de cultivo hidroponia NFT e solo

Na comparação entre os sistemas somente podem ser utilizados os resultados do Experimento VI, já que no Experimento IV não se fez plantio em solo, e no Experimento V não foi possível definir valor de SL para a hidroponia, em decorrência do problema já exposto.

Dessa forma, foi verificada maior tolerância da alface 'Verônica' à salinidade na hidroponia NFT em relação ao cultivo em solo. Em termos de produtividade comercial, enquanto para o solo se estimou SL igual a 2,51 dS m<sup>-1</sup>, para a hidroponia, estimou-se 4,03 dS m<sup>-1</sup>. Uma diferença de 1,52 dS m<sup>-1</sup>. Usando como variável resposta a produção de massa de matéria seca da parte aérea, a diferença entre as SL dos dois sistemas foi de 1,67 dS m<sup>-1</sup>, estimando-se 3,53 dS m<sup>-1</sup> em hidroponia contra 1,86 dS m<sup>-1</sup> no solo.

Comparando o coeficiente b obtido para a produtividade comercial, observa-se maior tolerância da alface à salinidade também na hidroponia NFT. Enquanto nesse sistema a produtividade comercial decresceu à razão de 8,32 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>, no solo a diminuição foi de 11,47 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>, uma diferença de 3,15 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>. Utilizando a massa de matéria seca da parte aérea como variável, a diferença foi de 4,13 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>, sendo estimados 5,22 e 9,35 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> para a hidroponia e para o solo, respectivamente.

Para cultivo em casa-de-vegetação, Sonneveld (1998) apud Sonneveld 2004, observou maior tolerância da alface à salinidade, quando comparado com os valores indicados por Maas e Hoffman (1977). O autor reporta uma redução de 3,1 a 4,6 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>, contra os 13 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> indicados por Maas e Hoffman (1977). Segundo Sonneveld (2004), a razão para ter encontrado maior tolerância pode ser a condição climática, já que desenvolveram seu estudo entre o inverno e a primavera nos Países Baixos.

No presente estudo, tanto em hidroponia NFT quanto em solo, foi verificada maior tolerância da alface à salinidade, em relação aos coeficientes fornecidos por Maas e Hoffman (1977). A maior tolerância em solo pode ser justificada pelas diferenças experimentais, devendo-se destacar o uso do mulch plástico, que pode ter minimizado a concentração de sais no solo, o que certamente diminui a produtividade das plantas.

Além disso, como o solo utilizado é arenoso, tendo baixa capacidade tampão, o procedimento de salinização com solução nutritiva salinizada pode ter permitido às plantas responder positivamente a partir da moderada salinidade já proporcionada pelos fertilizantes. Lembrando-se da discussão anterior, a experimentação com salinidade deve ser iniciada a partir

da fertilização do meio para a cultura, ou seja, a partir da salinidade provocada pelos íons nutrientes necessários ao pleno desenvolvimento. Daí ser razoável encontrar valores de SL em torno da salinidade da solução nutritiva não salinizada, sendo que essa salinidade já superaria a tolerância indicada por Maas e Hoffman (1977).

Pasternak et al. (1986) também verificaram maior tolerância de cultivares de alface em solo quando comparado aos valores de Maas e Hoffman (1977). Justificam seus resultados como favorecidos pelo método de irrigação, pois usaram o sistema de gotejamento, enquanto os estudos descritos por Maas e Hoffman (1977) foram conduzidos com irrigação por superfície ou aspersão. Entretanto, os resultados de Pasternak et al. (1986) fornecendo SL igual a  $1,98 \text{ dS m}^{-1}$  e b igual a  $5,6 \% (\text{dS m}^{-1})^{-1}$  devem ser tomados com ressalva, pois as características experimentais foram bem próprias de seu estudo: o ciclo foi longo (cerca de 148 dias do plantio à colheita); não se fez controle de irrigação por tratamento, o que pode ter acumulado os sais sob frações de lixiviação bem distintas; houve registro de chuvas durante o período experimental; a salinidade do solo não foi considerada na média da profundidade efetiva das raízes, mas sim tomada como a registrada abaixo dos emissores, tendo sido assumido que as plantas respondem mais às baixas concentrações salinas do que ao valor médio, o que de certa forma fere as diretrizes de Maas e Hoffman (1977), ainda que essa seja uma consideração verdadeira segundo Sonneveld (2004) e Savvas (2001).

Silva e Marouelli (1998) informam que a recomendação de tensão crítica no solo para irrigação por aspersão ou por superfície era de 40 a 60 kPa para alface. Para irrigação mais freqüente, como obtida pelos sistemas de irrigação localizada, a tensão crítica seria inferior, conforme os mesmos autores. Conforme já discutido anteriormente, para cada tensão crítica usada no manejo da irrigação, deve-se ter uma distinta resposta de tolerância à salinidade.

O fato da SL, encontrada no presente trabalho, para o cultivo da alface em solo ter sido superior à informada por Maas e Hoffman (1977) pode ser explicado pelas incorporações tecnológicas ao sistema de cultivo, especialmente em relação aos manejos da água e dos nutrientes. Pelo exposto, quanto melhor o estabelecimento desses manejos no cultivo em solo, menor a diferença de tolerância à salinidade em relação ao cultivo hidropônico. Ressalva-se, entretanto, que no solo a idealidade do manejo pode ser menos tangível que na hidroponia.

Em hidroponia, Tas, Papadandonakis e Savvas (2005) reportaram uma SL de  $2,51 \text{ dS m}^{-1}$  e uma diminuição de 12,9 % no rendimento para cada aumento unitário na CEsol. No trabalho

desses autores, entretanto, são apenas três os níveis de CEsol (promovidos pela adição de NaCl), quais sejam: 2,2; 3,2 e 5,0 dS m<sup>-1</sup>. Nesse caso, excluindo-se o controle (100 % de produtividade; 2,2 dS m<sup>-1</sup>) restam apenas dois níveis para se estimar a SL. Ao que parece, os autores consideraram também a produtividade do controle para encontrar a SL. Em todo caso, assim como no presente trabalho, a SL indicada está em torno da salinidade da própria solução nutritiva (2,2 dS m<sup>-1</sup>).

Em um dos poucos trabalhos conduzidos no Brasil, tratando da salinidade sobre a cultura da alface em sistema hidropônico, Andriolo et al. (2005) também reportaram a redução da massa de matéria fresca para a alface crespa (cultivar Vera) em decorrência do aumento da salinidade da solução nutritiva. No entanto, foram avaliados cinco níveis de CEsol (0,8; 1,93; 2,8; 3,73 e 4,72 dS m<sup>-1</sup>) a partir da diluição e concentração da solução nutritiva preparada conforme Castellane e Araújo (1995). Ou seja, a salinidade foi obtida por nutrientes e não por íons tóxicos. Comparando seus resultados aos de Maas e Hoffman (1977), os autores também reportam maior limiar de tolerância (SL do modelo), já que estimaram esse parâmetro em 2,0 dS m<sup>-1</sup>. Por outro lado, informam também ter encontrado maior declividade no rendimento (coeficiente b do modelo).

Entretanto, Andriolo et al. (2005) não relativaram seus resultados à produtividade máxima. Assim, o coeficiente b é diferentemente estabelecido, não significando que para cada acréscimo unitário na CEsol se tenha uma redução de 14,9 % no rendimento. Ao que parece, teve-se apenas 14,9 g a menos. Caso os autores tivessem relativado as produtividades e eliminado o ponto de máxima produção observado, poderiam ter estimado valores de b e SL diferentes, provavelmente encontrando SL um pouco menor que 2,0 dS m<sup>-1</sup>, mas também menor declividade ( $b \approx 7 \text{ dS (m}^{-1})^{-1}$ ). Assim corrigidos, os valores de SL e b obtidos do trabalho de Andriolo et al. (2005) seriam próximos aos estimados no presente trabalho.

No caso da SL, a indicação de Andriolo de 2,0 dS m<sup>-1</sup> parece obtida por derivação da equação do segundo grau encontrada no intervalo de 0,8 a 2,8 dS m<sup>-1</sup>. Nesse caso, obteve-se o ponto de máximo da função (2,0 dS m<sup>-1</sup>; 170,7 g de massa de matéria fresca). A SL nas condições de seu estudo pode ser diferente, considerando que na estimativa desse parâmetro para se obter valores apropriados ao modelo de Maas e Hoffman (1977), as produtividades iguais ou superiores a 100 % devem ser retiradas da avaliação (ver **ANEXO C**). Quando esses valores não são retirados, a SL tende a se aproximar da salinidade correspondente aos 100 % de rendimento. Obviamente, se o intervalo entre as CEsol dos tratamentos é pequeno, o problema é menor. Do

contrário, para amplos intervalos na CESol dos tratamentos, pode se estimar o parâmetro SL com maior margem de erro.

Em Israel, para o cultivo da alface ‘Salinas’ em aeroponia, Fegin et al. (1999) encontraram valores de salinidade limiar entre 4,7 e 5,35 dS m<sup>-1</sup>, ao utilizar 5 e 10 mM de KNO<sub>3</sub> como mitigador da salinidade. Utilizando 5 mM de KNO<sub>3</sub>, por exemplo, os níveis de CESol foram: 1,75; 4,7; 7,75 e 10,75 dS m<sup>-1</sup>. Conforme os dados dos autores, a sua indicação de SL está de acordo apenas ao nível de salinidade no qual se obteve a maior produção de matéria fresca. Como os intervalos entre os níveis de salinidade são amplos, as indicações desses autores podem estar distantes da real tolerância da cultivar que estudaram.

As indicações do trabalho de Andriolo et al. (2005) são muito úteis para confirmar a utilização de soluções nutritivas com salinidade em torno de 2,0 dS m<sup>-1</sup> para o cultivo da alface. Costa et al. (2001), avaliando as salinidades de 1,46; 2,46 e 4,21 dS m<sup>-1</sup>, também obtidas por concentração da solução nutritiva, informam que para o cultivo da alface americana (cultivar Ryder) em hidroponia, a melhor produção foi encontrada com a CESol intermediária.

Sonneveld (2004) também demonstra estar em torno de 2,1 dS m<sup>-1</sup> a salinidade ótima para se atender as necessidades nutricionais da alface. Ao utilizar salinidade de 1,3 dS m<sup>-1</sup>, relativa apenas à diluição da solução nutritiva, o autor registrou perda de produtividade da alface de 19 % no verão e de 30 % no inverno, em relação ao fornecimento de 2,1 dS m<sup>-1</sup>.

A salinidade ótima por nutrientes deve ser maior no inverno que no verão. Furlani et al. (1999), por exemplo, indica solução com 2,0 dS m<sup>-1</sup>, mas recomendam diluí-la para 1,0 ou 1,5 dS m<sup>-1</sup> para regiões de clima quente como o Norte e o Nordeste do Brasil. Segundo Sonneveld (2004), esse tipo de preconização diz respeito à concentração de absorção dos nutrientes, que se obtém pela relação das quantidades de nutrientes absorvidos pelo volume de água consumido. Sendo esperado maior consumo hídrico no verão ou em regiões quentes, deve-se diluir mais a solução para essa condição. Vale reforçar ainda que o simples fornecimento dos nutrientes baseados nas concentrações de absorção não é suficiente para as produtividades máximas em cultivo sem solo, sendo essas, à rigor, alcançadas com maiores concentrações de solução nutritiva.

Os trabalhos envolvendo as diluições ótimas da solução nutritiva, como os de Andriolo et al. (2005) e Costa et al. (2001), permitem adaptar o modelo de Maas e Hoffman (1977) ao

requerimento mínimo de salinidade (por nutrientes), tal qual exposto por Sonneveld (1991) para tolerância em cultivos sem solo.

Nesse sentido, considerando o mesmo valor de salinidade mínima ( $S_m$ ) para a hidroponia NFT e para o solo arenoso, reescreve-se a equação de Maas e Hoffman (1977), em conformidade às condicionais do modelo proposto por Sonneveld (1991) e apresentado na eq. (18).

$$\begin{array}{ll}
 \text{Pr} \leq 100 \% & 0 \leq \text{CE} \leq S_m \\
 \text{Pr} = 100 \% & S_m < \text{CE} \leq S_L \\
 \text{Pr} = 100 - b (\text{CE} - S_L) & S_L < \text{CE} \leq S_z \\
 \text{Pr} = 100 \% & \text{CE} \geq S_z
 \end{array} \quad (18)$$

em que

$\text{Pr}$  = produtividade relativa, %;

$S_m$  = concentração mínima de nutrientes para o crescimento ótimo,  $\text{dS m}^{-1}$ ;

$\text{CE}$  = salinidade da solução nutritiva ou do solo,  $\text{dS m}^{-1}$ ;

$S_z$  = salinidade acima da qual o rendimento é zero,  $\text{dS m}^{-1}$ .

Para o Experimento VI, considerando ser a salinidade mínima  $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ , pode-se representar as respostas à salinidade no solo e na hidroponia NFT como se apresenta na Figura 84. Nesse caso, fica evidente que está se comparando dois distintos sistemas de cultivo com base em dois parâmetros diferentes, quais sejam:  $\text{CE}_{\text{sol}}$  e  $\text{CE}_{\text{es}}$ . Entretanto, parece razoável para o presente trabalho assumir que ambos os parâmetros são aproximadamente equivalentes, conforme relação de 1,0 a 1,2 encontrada entre eles no solo do estudo (Figura 85).

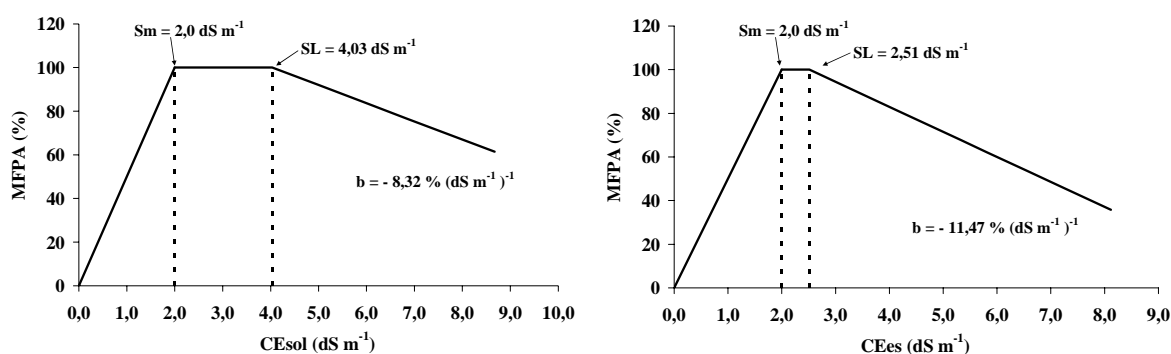


Figura 84 - Produtividade comercial relativa da alface em função da salinidade na solução nutritiva em hidroponia e no extrato de saturação do solo no Experimento VI

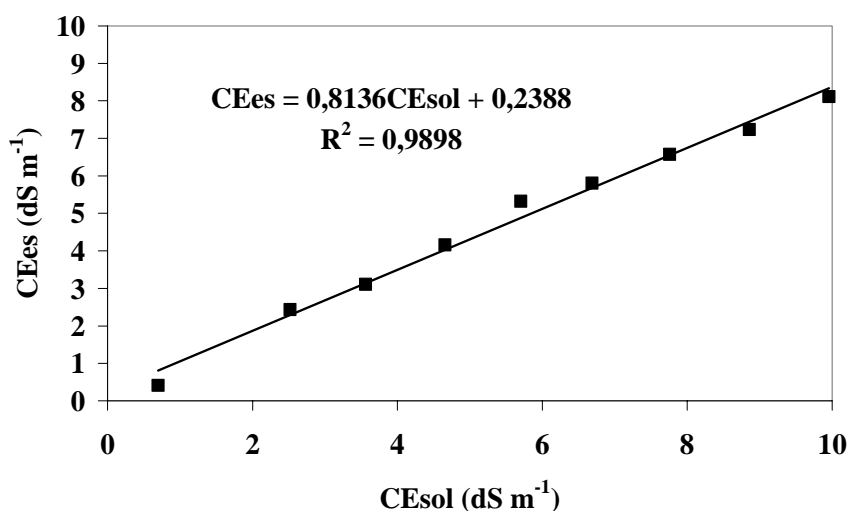


Figura 85 - Relação entre a salinidade da solução nutritiva salinizada e a salinidade medida no extrato de saturação do solo (Experimento V)

A superioridade da tolerância da alface em hidroponia no presente trabalho deve ser encarada inicialmente apenas como uma via de escape ao custo de oportunidade decorrente da aceitação dos valores de Maas e Hoffman (1977). Para afirmá-la em relação aos cultivos em solo, é imprescindível a comparação sob as mesmas condições de cultivo. Nesse sentido, para confirmar o melhor desempenho da alface em hidroponia NFT, em relação à tolerância aos sais no cultivo em solo, como se sinaliza no presente estudo, novos ensaios precisam ser conduzidos. Para isso, deve-se procurar satisfazer todas as exigências ao ótimo desenvolvimento em ambos os sistemas de produção. Talvez incorporar matéria orgânica no solo, reduzir a suscetibilidade da solução hidropônica ao aumento da temperatura, fazer o monitoramento da oxigenação da solução nutritiva, etc. Sobretudo, deve-se acompanhar a fertilidade e a salinidade do solo, algo não conduzido no presente trabalho, o qual se desenvolveu sob a premissa de que o procedimento de salinização baseado no equilíbrio dinâmico, foi suficiente para fertilizar e salinizar o solo à mesma proporção que no meio hidropônico.

O aumento da tolerância à salinidade registrado na Hidroponia NFT do Experimento IV para o VI pode ser atribuída às condições climáticas, mas também, em parte, ao aperfeiçoamento da estrutura experimental e também às melhorias fitotécnicas na condução das plantas ao longo dos experimentos, sobretudo no que diz respeito à qualidade das mudas produzidas para os ensaios.



### 2.3.2.4 Análise foliar (Experimento V)

Com a análise de amostras do Experimento V, foi verificado que com o aumento da salinidade, seja da solução nutritiva ou do solo, houve a diminuição dos teores foliares de potássio e de cálcio. Os teores de nitrogênio, por sua vez, não foram influenciados pela salinidade na hidroponia, mas foram aumentados no solo. Houve diminuição nos teores de Mg em solo. Na hidroponia, o teor de Mg diminuiu com o aumento da salinidade até as salinidades moderadas ( $5 \text{ dS m}^{-1}$ ), aumentando a partir daí com o aumento da salinidade. Em ambos os sistemas, os teores de P foram os mesmos, independente da salinidade. Já os teores de S, apesar de invariáveis no solo, aumentaram na hidroponia.

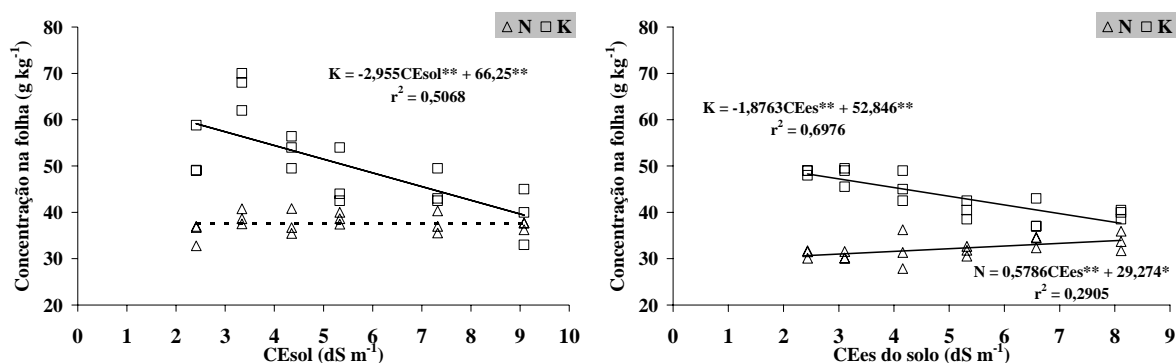
Os teores de Cl e Na aumentaram em ambos os sistemas. Para o Cl, o aumento foi linear e para o Na seguiu um polinômio do segundo grau. O acúmulo se deu em níveis de macronutrientes para esses íons. Embora o acúmulo relativo de Cl e Na em termos de concentração foliar seja expressivo (**Tabela 30**), ao se analisar a extração absoluta por planta, observa-se que a eficiência de exportação de sais pelas folhas é baixa, o que pode ser explicado pela diminuição do acúmulo de massa seca (**Tabela 31**). Nesse sentido, por ser ineficiente exportadora de sais, a alface não compensa a incorporação de sais pelo uso de águas salobras, sendo o montante acumulado de íons tóxicos mais um complicador do reaproveitamento da solução nutritiva entre cultivos sucessivos. Para o propósito do reaproveitamento dos nutrientes do efluente de produção da alface com águas salobras, parece mais razoável se buscar irrigar outras culturas.

Tabela 30 - Teores foliares de Cl e Na em base de massa de matéria seca e seu aumento percentual de acordo com a salinidade da solução nutritiva

Tratamento	Cl ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Na ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Cl (%)	Na (%)
Test	15,2	6,6	0	0
T1	21,9	10,9	44	66
T2	22,6	15,4	49	133
T3	27,8	19,6	83	197
T5	34,6	22,7	128	243
T7	39,9	22,2	163	236

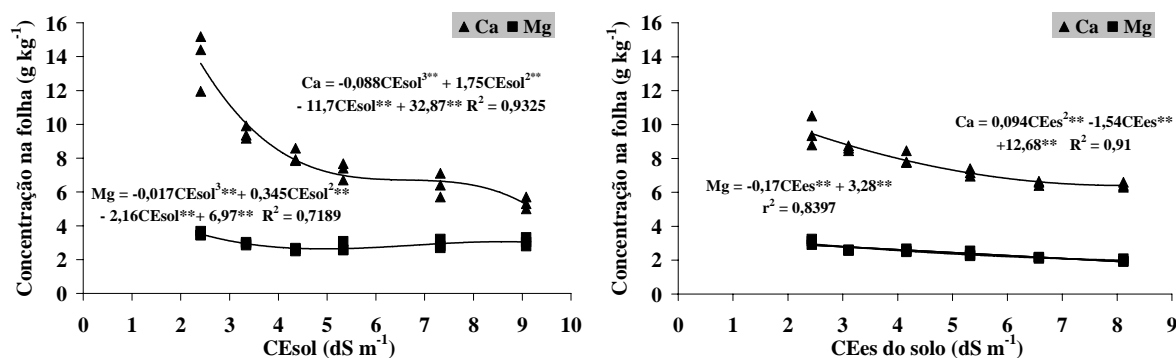
Tabela 31 - Acúmulo foliar de Cl e Na por planta de alface 'Verônica' e seu aumento percentual de acordo com a salinidade da solução nutritiva

Tratamento	Cl (g planta <sup>-1</sup> )	Na (g planta <sup>-1</sup> )	MSPA (g planta <sup>-1</sup> )	Cl (%)	Na (%)
Test	0,27	0,12	17,90	100	100
T1	0,26	0,13	11,81	95	109
T2	0,23	0,16	10,24	85	133
T3	0,22	0,15	7,81	80	130
T5	0,28	0,18	7,96	101	153
T7	0,24	0,13	6,07	89	114



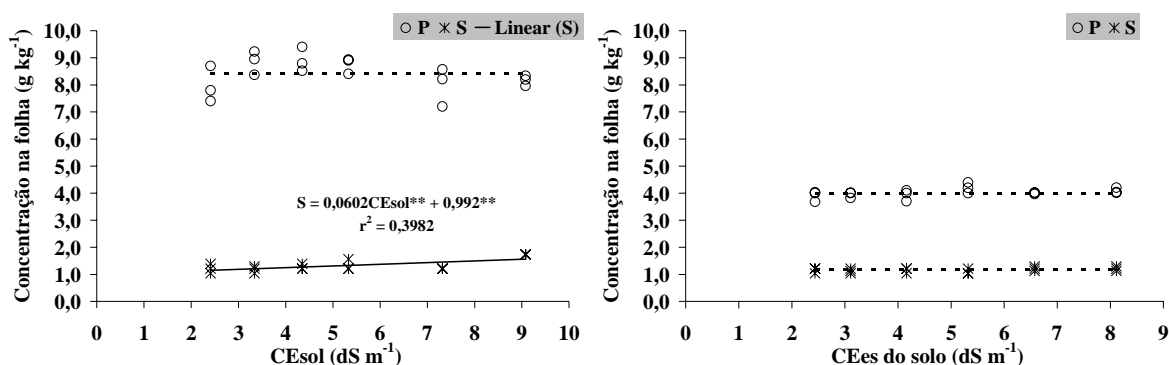
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 86 - Teores foliares de N e K em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes)



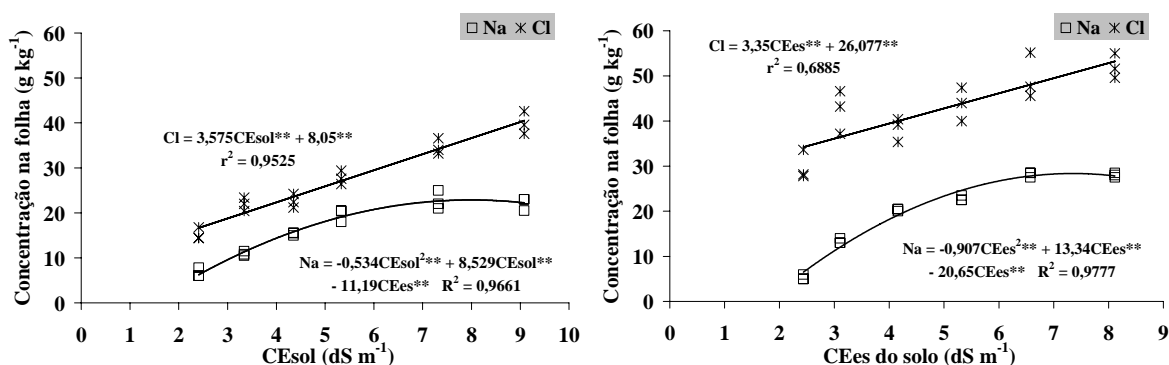
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 87 - Teores foliares de Ca e Mg em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes)



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 88 - Teores foliares de Pe S em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes)



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 89 - Teores foliares de Na e Cl em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes)

### 2.3.2.5 Análise sensorial (Experimento VI)

Interessantemente, as folhas do padrão (tratamento Testemunha) foram justamente consideradas das mais amargas (Tabela 32). O amargor nesse caso foi atribuído à época de colheita. As plantas da Testemunha e de T1 tiveram seu desenvolvimento mais acelerado que as demais. Essas plantas já começavam a apresentar arquitetura precedente à fase de pendoamento, revelando que a época de colheita prevista para 28 DAT seria inadequada. Mesmo antecipando-se a colheita para 25 DAT, as plantas tiveram seu sabor alterado. Tratamentos de maior salinidade, como T5 e T7, em virtude do menor desenvolvimento e do atraso do ciclo decorrentes da

salinidade, não tinham a mesma arquitetura (Figura 62). O sabor das plantas desses tratamentos não foi considerado amargo.

Tabela 32 - Resultados do teste comparativo para o sabor da alface ‘Verônica’ cultivada sob estresse salino em hidroponia NFT

Contraste	Diferença de notas	
C - T1	0,24	ns
C - T2	0,17	ns
C - T3	1,21	*
C - T4	0,72	ns
C - T5	0,14	ns
C - T7	1,83	*

dms: 0,96; C: Controle

Como as plantas foram colhidas numa mesma época, foi possível averiguar as diferenças no acúmulo de massa de matéria fresca e seca, mas a qualidade teve sua avaliação comparativa prejudicada pelas diferenças no ciclo. Pode-se inferir, entretanto, que as plantas produzidas sob os níveis mais altos de salinidade não apresentam comprometimento de seu sabor maior que aquele atribuído à postergação errônea da época de colheita. Para os próximos experimentos, fica sugerido avaliar sensorialmente os tratamentos com respeito individual de suas épocas de colheitas específicas.

No dia da colheita, em algumas plantas isoladas, e pertencentes aos tratamentos menos salinos na hidroponia, foram observados sintomas iniciais de ‘tip burn’ (Figura 90). Esses sintomas foram caracterizados como pontuações necróticas presentes nas bordas das folhas mais novas. Quatro dias após a colheita (29 DAT), os sintomas observados nas plantas remanescentes foram evoluídos para a coalescência dos pontos necróticos, levando à queimadura do tecido foliar das bordas das primeiras folhas sintomáticas. As folhas mais novas apresentavam-se necróticas em quase todo o limbo (Figura 90). Para os níveis mais salinos não foram detectados quaisquer tipos de sintomas. Isso pode ser explicado pelas maiores taxas de crescimento (Figura 63) e de esgotamento da solução de cultivo pelas plantas submetidas aos menores níveis de salinidade (**Figura 55**), com conseqüentes desequilíbrios nutricionais, levando à deficiência de cálcio.

Esses resultados contrariam a hipótese de que quanto maior a salinidade, maior a ocorrência de 'tip burn', sendo concordantes com os reportados por Feigin et al. (1991) em aeroponia. Entretanto, deve-se lembrar que o presente experimento foi conduzido com cerca de 5,3 L de solução nutritiva disponíveis para cada planta no perfil hidropônico, enquanto comercialmente se recomenda apenas de 1 a 2 L por planta. O maior volume de solução nutritiva implica na manutenção do equilíbrio nutricional por mais tempo. Foi por essa razão, inclusive, que não se procurou corrigir a salinidade ao longo do experimento. Essa observação permite recomendar estudos que comprovem a eficiência da maior disponibilidade de solução nutritiva por planta em condições de salinidade.

A análise do nitrato na massa de matéria seca da parte aérea da alface foi conduzida utilizando toda a massa produzida e não apenas a da folha diagnóstico. O maior nível de nitrato foi relacionado à condutividade elétrica da Testemunha. Em resposta quadrática, o teor de nitrato diminuiu com o aumento da salinidade até os níveis intermediários de CEsol. A partir desses níveis, a tendência foi de aumento do nitrato foliar. Esses resultados podem ser explicados pela alta taxa de produção de matéria nos tratamentos submetidos às menores CE, uma vez que, de acordo com Krohn et al. (2003), as folhas mais jovens acumulam mais nitrato que as maduras. Miceli, Moncada e D'Anna (2003), avaliando a produção de duas cultivares de alface, observaram que, aumentando a salinidade de 1,6 para 4,6 dS m<sup>-1</sup> mediante NaCl, o teor foliar de nitrato diminuiu de 2,218 para 1,634 mg kg<sup>-1</sup> de massa de matéria fresca. A tendência do aumento do teor de nitrato no tratamento de maior salinidade, T7, está de acordo com o ajuste osmótico necessário à absorção de água sob condições de baixo potencial total da água (CHUNG; JIN; CHO, 2005). Para o cultivo em solo, não foi verificada diferença no teor foliar de nitrato (Figura 91).

Em relação ao controle, o sabor das amostras dos tratamentos T3 e T7 foram estatisticamente deferentes (Tabela 32). Aproximadamente 72 % dos provadores indicaram o amargor do controle como o atributo que melhor definiu as diferenças entre os tratamentos T3, T4 e T7. Por outro lado, foi registrado (27,5) um sabor levemente salgado para esses mesmos tratamentos. Esse resultado diverge dos obtidos por Mizrahi e Pasternak (1985), que não encontraram diferenças significativas no sabor de alface desenvolvida sob condições salinas, em comparação ao seu controle. A divergência pode ser causada por diferenças varietais, além do próprio nível de salinidade testado (5 dS m<sup>-1</sup>) no trabalho de Mizrahi e Pasternak (1985). Savvas

(2001) informa que o impacto do estresse salino sobre o sabor de hortaliças folhosas é questionável.

O sabor amargo indicado pelos provadores pode estar relacionado aos teores de NaCl na massa de matéria seca foliar e também à diminuição do teor de água nos tecidos, como conseqüências do aumento da salinidade.

As folhas dos tratamentos T3 e T4, caracterizados por uma salinidade mais moderada, foram consideradas diferentes em relação ao Controle, ainda que somente T3 tenha sido estatisticamente diferente à 5 % de significância. De fato, esses tratamentos não acumularam Na e Cl como T7, cujo sabor foi avaliado como salgado, mas também não se desenvolveram tanto quanto o Controle ou T1, cujo sabor foi considerado amargo.

Em todos os experimentos, as plantas submetidas aos níveis crescentes de salinidade foram menos tenras, mais 'rígidas' no aspecto, exibindo folhas mais coriáceas, tal qual citado por Schwarz (1995) and Rodrigues (2002). As folhas dessas plantas tinham também coloração verde mais intensa.

De acordo com os resultados de análise química foliar de amostras do Experimento V, se consumida uma planta do tratamento T7, supondo-se 20 g de massa de matéria seca (ou 440 g de massa de matéria fresca com 95,5 % de umidade), a ingestão de Na e Cl seria de 0,5 e 0,81 g, respectivamente, o que significa 1,31 g de NaCl. Apesar da necessidade de se revisar o limite recomendável de 6 g NaCl por dia, como demonstrado por Kaplan (2000), as quantidades de sal acumuladas no presente trabalho não parecem comprometedoras à saúde dos consumidores.

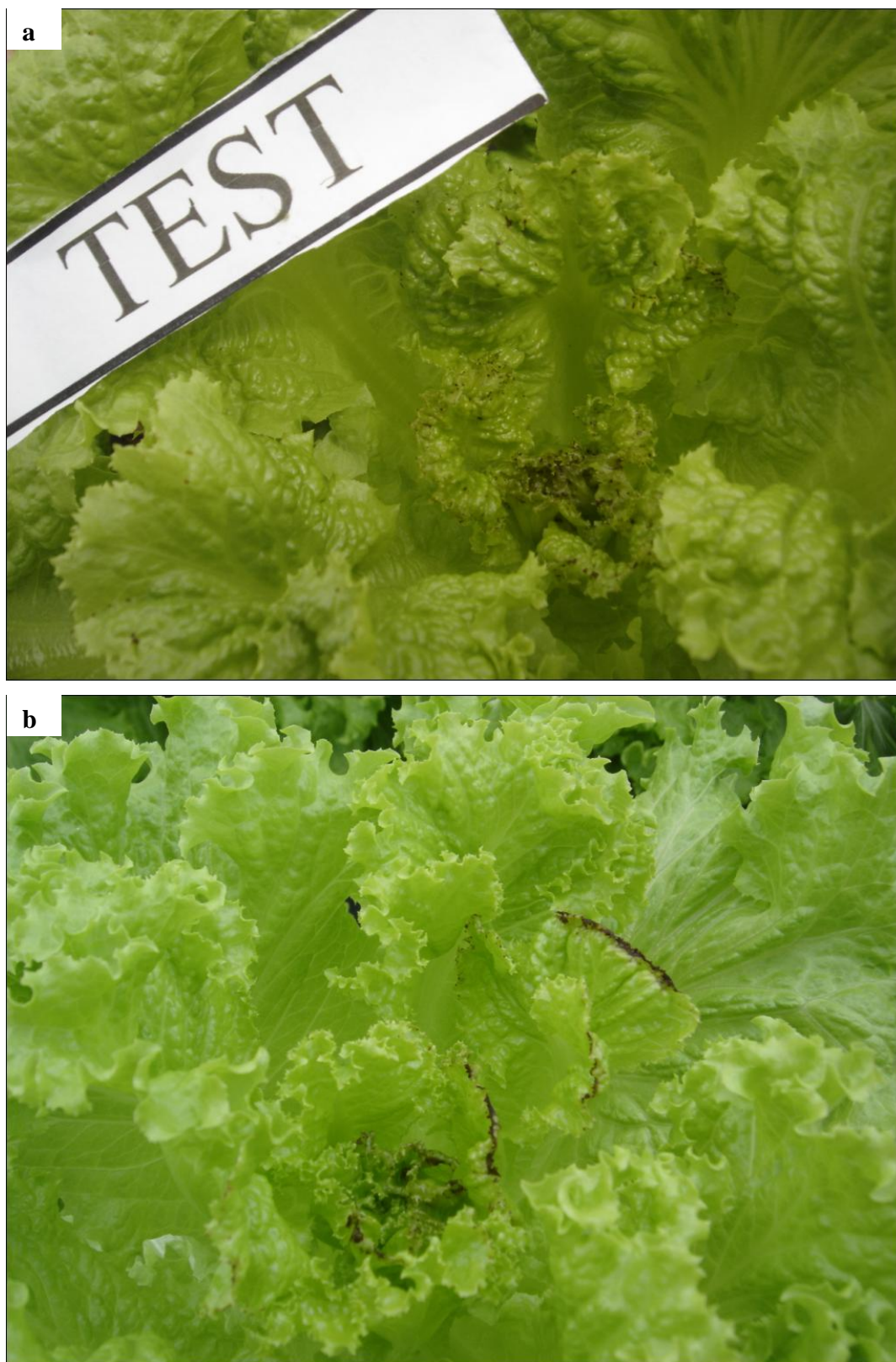
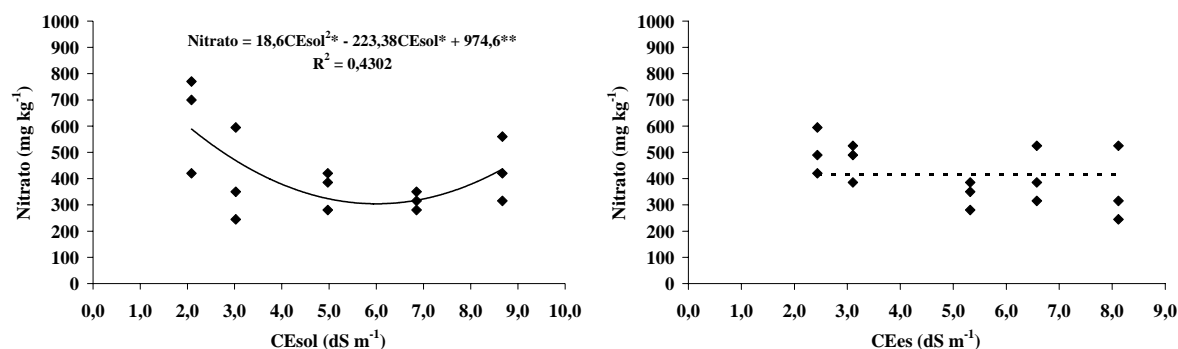


Figura 90 - Planta sintomática aos 25 DAT (a) e aos 29 DAT (b)



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 91 - Teor de nitrato na massa de matéria seca da parte aérea da alface ‘Verônica’ em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol) e do solo (CEes)

### 2.3.2.6 Experimento VII - Utilização de águas salobras em reposição à evapotranspiração da alface no sistema NFT

Na primeira tentativa de se estabelecer aquele que seria o Experimento VII, também se verificou problemas após o transplante das mudas. Naquela oportunidade, entretanto, os sintomas foram tão severos que não permitiram continuar o cultivo. Por outro lado, foi muito interessante se perceber que no meio de todas as mudas prejudicadas, havia algumas, em num mesmo perfil, não tão sintomáticas. Nesse perfil, a eletrobomba foi desligada para solucionar um vazamento, sendo esquecida desligada de um dia para o outro. Ao invés de mais prejudicadas, as mudas estavam menos estressadas. Esse resultado levou à hipótese de que algum componente da água do campus, possivelmente cloro ativo, estava danificando as mudas. Para minimizar o problema foi adquirida uma caixa d’água de 3 m<sup>3</sup>, visando armazenar água e assim neutralizar parte dessa substância.

Após a produção de novas mudas, o Experimento VII foi estabelecido. Na **Figura 92**, mostra-se a variação das temperaturas do ar, tomada à 1 m de altura, e da solução nutritiva, medida no interior do reservatório. Assim como nos demais Experimentos, verificou-se temperaturas máximas acima do recomendável para a alface, tanto na atmosfera da casa-de-vegetação quanto na solução nutritiva.



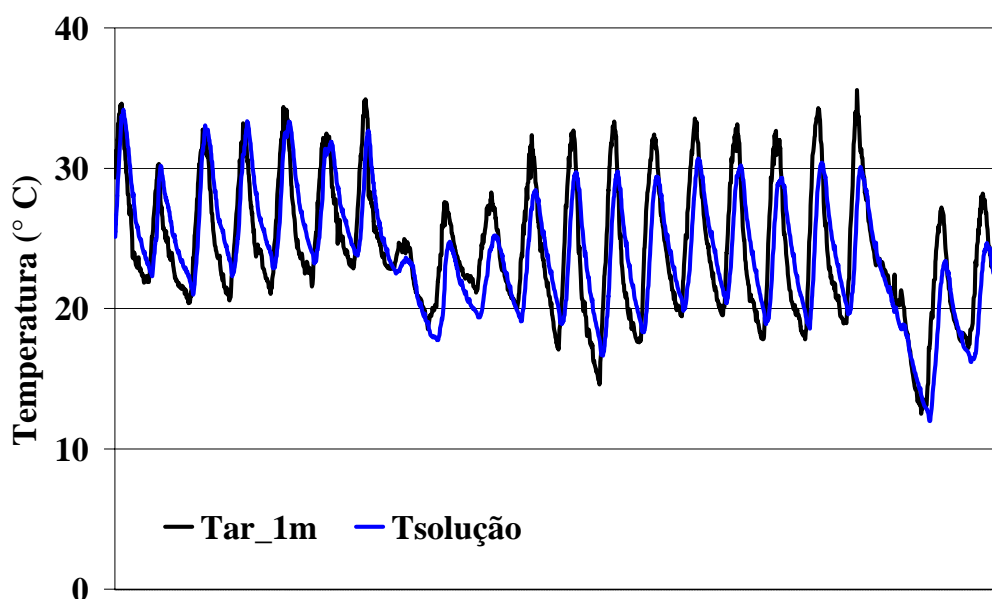


Figura 92 - Temperaturas do ar medida à 1 m de altura (T1) e da solução nutritiva (Tsolução) medida dentro do reservatório no período entre 4 e 25 DAT no Experimento VII

Em função da utilização das águas salobras usadas na reposição da evapotranspiração da alface ‘Verônica’, houve salinização crescente para todos os tratamentos salinos ao longo do experimento. Para a reposição com a água não salobra (W0), houve redução da salinidade da solução nutritiva, em decorrência do consumo de nutrientes que é superior ao acúmulo de sais dissolvidos nessa água (**Tabela 33**). Esse mesmo comportamento foi observado na hidroponia em sílica (Experimento I). Entretanto, a magnitude da salinização foi menor no Experimento VII em relação ao Experimento I, mesmo sendo consumida menos água naquele experimento. Isso pode ser atribuído à disponibilidade de solução nutritiva por planta. Enquanto no Experimento I a disponibilidade era de  $1,1 \text{ L planta}^{-1}$ , no Experimento VII foi cerca de  $5,3 \text{ L planta}^{-1}$ . Dessa forma, enquanto a água de maior salinidade no Experimento I ( $\text{CEa} = 3,93 \text{ dS m}^{-1}$ ) elevou a  $\text{CEsol}$  de 1,95 para  $8,13 \text{ dS m}^{-1}$  em 28 dias, no Experimento VII, a água de maior salinidade ( $7,46 \text{ dS m}^{-1}$ ) elevou a  $\text{CEsol}$  de 2,24 para apenas  $7,07 \text{ dS m}^{-1}$  em 25 dias (**Tabela 34**).

Em base de volume de água aplicado por planta, a maior salinização no Experimento VII foi estimada em  $1,137 \text{ dS m}^{-1} \text{ L}^{-1}$  contra  $1,93 \text{ dS m}^{-1} \text{ L}^{-1}$  no Experimento I, sendo expressivamente menos intensa, uma vez que se trata do contraste de uma água salobra de  $7,46 \text{ dS m}^{-1}$  com outra de  $3,93 \text{ dS m}^{-1}$ .

Em termos práticos, o procedimento adotado nos Experimentos VII e I diz respeito aos agricultores que têm disponíveis dois tipos de água: uma de boa qualidade, outra salobra. Como mostrado na **Tabela 35**, para o Experimento VII foi calculada uma relação de 1,0 a 1,25 entre os volumes consumidos de águas doce e salobra. Outras relações precisam ser avaliadas para delimitar as possibilidades de uso de águas salobras em sistema NFT, o que passa pelo estudo da melhor disponibilidade de solução nutritiva por planta. Para cada nível de salinidade da água, deve-se ter uma disponibilidade ótima de volume de solução nutritiva por planta, considerando que quanto menor a disponibilidade, maior a concentração de íons tóxicos incorporados na reposição do volume evapotranspirado. Mas, também maiores são o tamanho do reservatório e o consumo de fertilizante por ciclo, caso a solução não seja reaproveitada.

Tabela 33 - Condutividade elétrica da solução nutritiva e sua média ponderada no tempo em função da salinidade da água de reposição ao longo do Experimento VII

CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Trat	CEsol (dS m <sup>-1</sup> )								Média Ponderada (dS m <sup>-1</sup> )
		0 DAT	5 DAT	8 DAT	13 DAT	15 DAT	18 DAT	22 DAT	26 DAT	
0,52	W0	2,24	2,15	2,19	2,04	1,98	1,84	1,47	1,40	1,99
1,57	W1	2,24	2,23	2,31	2,30	2,33	2,38	2,25	2,31	2,30
2,53	W2	2,24	2,33	2,43	2,55	2,65	2,83	2,93	3,07	2,57
3,56	W3	2,24	2,44	2,55	2,84	3,08	3,41	3,79	4,03	2,90
5,55	W5	2,24	2,70	2,92	3,44	3,85	4,44	5,24	5,72	3,54
7,46	W7	2,24	2,86	3,16	3,89	4,41	5,30	6,43	7,07	4,03

Tabela 34 - Variação diária da condutividade elétrica da solução nutritiva em função da salinidade da água de reposição ao longo do Experimento VII

CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Tratamento	CEsol (dS m <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )							
		0-5 DAT	5-8 DAT	8-13 DAT	13-15 DAT	15-18 DAT	18-22 DAT	22-26 DAT	
0,52	W0	-0,02	0,01	-0,03	-0,03	-0,05	-0,09	-0,02	
1,57	W1	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	-0,03	0,02	
2,53	W2	0,02	0,03	0,02	0,05	0,06	0,03	0,04	
3,56	W3	0,04	0,04	0,06	0,12	0,11	0,09	0,06	
5,55	W5	0,09	0,07	0,10	0,20	0,20	0,20	0,12	
7,46	W7	0,12	0,10	0,15	0,26	0,30	0,28	0,16	

Tabela 35 - Volume de água doce gasto para o preparo da solução nutritiva e sua relação com os volumes das águas salobras consumidos ao longo do Experimento VII

Tratamento	CEa (dS m <sup>-1</sup> )	Volume (mL planta <sup>-1</sup> )		Relação
		Água Doce	Água Salobra	
W0	0,52	5300	5150	1,03
W1	1,57	5300	4996	1,06
W2	2,53	5300	4767	1,11
W3	3,56	5300	4632	1,14
W5	5,55	5300	4742	1,12
W7	7,46	5300	4248	1,25

Assim como no Experimento I, foi verificada no Experimento VII a diminuição linear do consumo hídrico em função do aumento da salinidade da água de reposição. Em relação à água de baixa salinidade, no Experimento VII foi calculada uma redução de 17,5 % no consumo hídrico para a água de 7,46 dS m<sup>-1</sup>. Semelhante redução percentual foi encontrada no Experimento I (17,9 %), mas para uma água de 3,93 dS m<sup>-1</sup> e que tinha na sua composição CaCl<sub>2</sub>, além do NaCl. Da equação linear apresentada na Figura 93, calcula-se uma declividade no consumo hídrico de 2,14 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>.

Semelhantes declividades entre os extremos de salinidade avaliados são encontradas ao se analisar as reduções lineares das massas de matéria fresca da parte aérea (2,27 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>) (Figura 94) e das folhas (2,34 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>) (Figura 95). A massa de matéria fresca do caule, por sua vez, reduziu 4,3 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> (Figura 96), enquanto não houve significância nas diferenças registradas no número de folhas (Figura 98) e na produção de massa de matéria seca da parte aérea (Figura 97). Para o crescimento da parte aérea em diâmetro, houve redução linear de 1 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> (Figura 99). Já a umidade dos tecidos da parte aérea foi reduzida em 0,076 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> (Figura 100).

Essas baixas declividades percentuais representam moderado efeito da salinidade da água sobre a produção da alface ‘Verônica’, quando utilizadas apenas na reposição do volume consumido. Em relação à produtividade comercial, foi calculada uma perda de 19,3 % quando se utilizou a água mais salobra (7,46 dS m<sup>-1</sup>). Em relação à produção de massa de matéria seca, a perda pelo uso dessa água foi de apenas 7 % (Tabela 36). Esses resultados demonstram grande possibilidade de aplicação desse tipo de combinação de águas para a produção de alface em hidroponia. Trabalhando com a mesma cultivar Verônica e com o mesmo solo, Ferreira et al.

(1998) reportaram uma perda de 59 % de produtividade de matéria fresca, quando utilizaram água com  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ , em relação à água de menor salinidade ( $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Ressalva-se ainda que as águas salobras utilizadas por esses autores foram baseadas na concentração da solução hidropônica de Furlani.

Para produtores que têm disponibilidade de água salobra e restrita disponibilidade de água doce, resultados como o do presente trabalho, em hidroponia NFT, podem indicar a possibilidade de incremento da produção agrícola mediante a exploração da água salobra, agregando a vantagem do maior controle ambiental e a preservação da água doce para outros fins. Por exemplo, se houver água doce ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) disponível, mas restrita à  $20 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ , e disponibilidade não restritiva de uma água muito salobra ( $7,46 \text{ dS m}^{-1}$ ), pode-se ter as seguintes previsões de produção mensal de alface ‘Verônica’, ficando considerado que 1 pé de alface é igual à produção máxima obtida por planta:

**1) Usando a água doce para o preparo da solução nutritiva e a água salobra para a reposição do volume consumido (Experimento VII)**

Volume de solução nutritiva fornecido por planta = 5 L

Consumo de água doce por planta = 5 L

Consumo de água salobra por planta = 4,248 L

Pr = produtividade relativa = (80,74 %)

Número total de plantas =  $\frac{20.000}{5} = 4.000$  plantas (baseado na restrição de água doce)

Produção = 4.000 plantas x 0,8074

Produção = 3.229 pés  $\text{mês}^{-1}$

**2) Usando a água salobra para o preparo da solução nutritiva e a água doce para a reposição do volume consumido (Experimento VI)**

Volume de solução nutritiva fornecido por planta = 5 L

Consumo de água doce por planta = 3,654 L

Consumo de água salobra por planta = 5 L

PR = produtividade relativa = (56,61 %)

Número total de plantas =  $\frac{20.000}{3,654} = 5.473$  plantas (baseado na restrição de água doce)

$$\text{Produção} = 3.883 \text{ plantas} \times 0,5661$$

$$\text{Produção} = 3.098 \text{ pés mês}^{-1}$$

**3) Usando a água doce para o preparo da solução nutritiva e para a reposição do volume consumido (Projeto típico, sem risco)**

Volume de solução nutritiva fornecido por planta = 2 L (como indicado na literatura)

Consumo de água por planta = 5,15 L

Pr = produtividade relativa = 100 %

$$\text{Número total de plantas} = \frac{20.000}{(2 + 5,15)} = 2.797 \text{ plantas} \quad (\text{baseado na restrição de água doce})$$

$$\text{Produção} = 2.797 \text{ plantas} \times 1,00$$

$$\text{Produção} = 2.797 \text{ pés mês}^{-1}$$

**4) Usando a água salobra para o preparo da solução nutritiva e para a reposição do volume consumido (dados não levantados)**

Pr = produtividade relativa = ? Qualidade da alface produzida?

Com esse exemplo simples, baseado nos dados dos experimentos conduzidos, fica exposta a viabilidade técnica da produção de alface mediante uso de águas salobras em sistema hidropônico NFT. O tipo de uso mais interessante ao agricultor que tem apenas disponibilidade de água salobra não chegou a ser avaliado, daí a inexistência de dados sobre a resposta das plantas em termo de produtividade comercial (incluindo a qualidade) quando se empregam águas salobras no preparo da solução nutritiva e na reposição da evapotranspiração.

Por outro lado, o uso combinado de águas moderadamente salobras ( $\text{CEa} < 3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) com água doce permitiria a obtenção de produtividades relativas superiores a 80 % (exceção ao Experimento V) quando utilizadas apenas no preparo da solução nutritiva (**Tabela 28**).

Quando utilizadas apenas na reposição do volume consumido, águas ainda mais salobras ( $\text{CEa} < 7,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) permitiram produtividades relativas abaixo desse mesmo patamar (Tabela 36). A superioridade desse último tipo de emprego de águas salobras precisa ser comprovada em um experimento envolvendo ambos os tipos sob as mesmas condições de cultivo.

Para reforçar essa necessidade de pesquisa, antes de uma recomendação geral, é suficiente se atentar para as diferenças de volume consumido por planta para o tratamento Testemunha, o qual teoricamente é igual em ambos os tipos de experimento.

Para o Experimento VII, o consumo foi de 5.150 mL planta<sup>-1</sup>, enquanto para os Experimentos V e VI foi de 8.535 e 5.543 mL planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o Experimento VII, o consumo de água é importante, pois dele depende a salinização do meio. Ou seja, a resposta da planta à salinidade fica muito dependente das condições climáticas que ditam o consumo no tipo do Experimento VII. Para o outro tipo de experimento, o potencial osmótico é mais constante, independentemente do consumo.

Os dados da simulação anteriormente exposta não necessariamente indicam maior viabilidade econômica da utilização de águas salobras, em relação ao uso exclusivo de água doce. Indicam apenas o maior número de plantas produzidas, com valor comercial equivalente, quando se traz para o sistema produtivo o insumo água salobra, deixando-se de incorrer no custo de oportunidade assumido pelos agricultores que, por receio ou desconhecimento, não empregam tal água.

A viabilidade econômica, por sua vez, passa pelo aumento dos custos associados ao incremento dessa produção, o que não foi simulado no presente estudo.

Pode-se visualizar uma situação de disponibilidade de água salobra e restrita disponibilidade de água doce em comunidades que se abastecem com águas dessalinizadas por osmose reversa. Considerando as características regionais do uso dessa técnica no Semi-Árido, pode-se imaginar uma situação em que se dessaliniza água com moderada salinidade ( $\approx 3 \text{ dS m}^{-1}$ , por exemplo), produzindo-se, à eficiência de 50 %, iguais volumes de água dessalinizada ( $\approx 0,5 \text{ dS m}^{-1}$ , por exemplo) e rejeito ( $\approx 6 \text{ dS m}^{-1}$ , por exemplo).

Ainda que não se tenha total consumo da água dessalinizada, e por isso se imagina haver certa disponibilidade, a exploração combinada de água salobra (natural ou rejeito) pode ser necessária ao se considerar: a baixa vazão dos poços do cristalino ( $< 4 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ ), o que restringe o volume dessalinizado; os custos da dessalinização para uso agrícola; além da necessidade de se destinar o rejeito produzido, de preferencialmente para alguma atividade lucrativa.

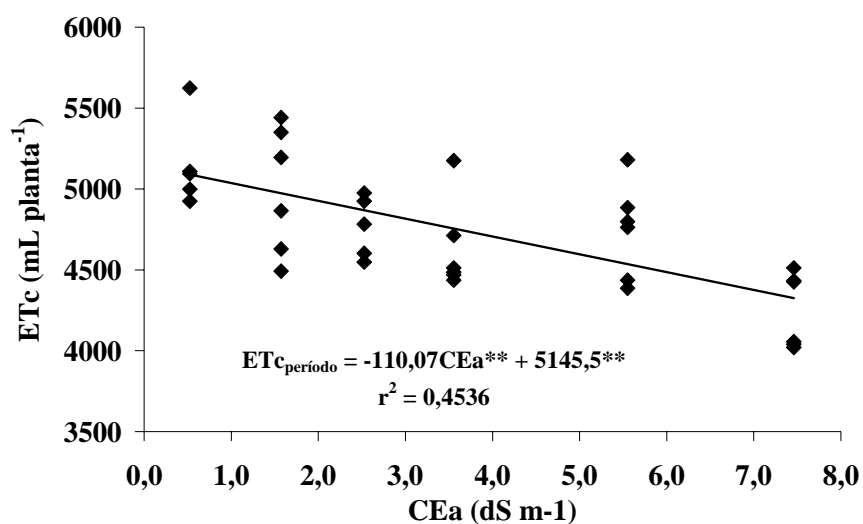
Uma outra possibilidade de combinação de água doce e salobra seria a utilização de água doce no primeiro ciclo de cultivo, visando apenas a obtenção de folhas, sem o corte do caule e do sistema radicular. Para o ciclo sucessivo, seria corrigida a salinidade mínima (por íons essenciais)

da solução, efetuando-se posteriormente a reposição de água consumida mediante o emprego de água salobra. Nesse contexto, seria interessante avaliar a capacidade de rebrota da alface, investigando a possibilidade de altas produções sob condição salina proporcionada pela massa radicular já estabelecida do ciclo anterior. A redução dos custos, a precocidade da produção, o rendimento relativo poderiam proporcionar maior receita líquida.

A produção da rebrota de alface (DELISTOIANOV, 1997; WAGNER et al., 1994) é uma alternativa compatível ao segmento de mercado interessado em folhas previamente selecionadas, lavadas e embaladas com atmosfera modificada (FERREIRA, 2000).

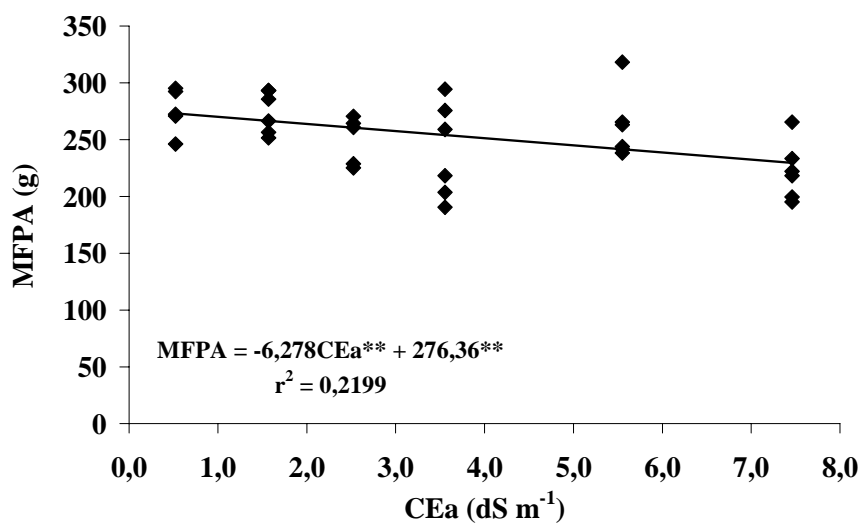
O fato de haver significância na redução linear da massa fresca da parte aérea (Figura 94) e não haver na massa de matéria seca (Figura 97) pode ser explicado pela redução no teor de água nos tecidos à medida que aumenta a salinidade da água de reposição. (Figura 100).

Nos experimentos de tolerância (Experimentos IV, V e VI), a massa de matéria fresca da parte aérea foi variável em função da redução do acúmulo de matéria seca e também do teor de água. Por outro lado, no Experimento VII, que trata da salinidade da água de reposição, a massa de matéria fresca pode estar mais influenciada pelo teor de água que pelo acúmulo de matéria seca. Isso porque, à medida que se aumenta a salinidade da água de reposição, o teor de água na parte aérea diminui, mas a massa de matéria seca não. Observa-se também (Figura 94) que a diminuição da massa de matéria fresca da parte aérea, com o aumento da salinidade, não foi tão acentuada quanto nos experimentos de tolerância. Coerentemente, no Experimento VII, o coeficiente de correlação para essa variável é menor, e de mesma ordem de grandeza do encontrado para o teor de água.



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

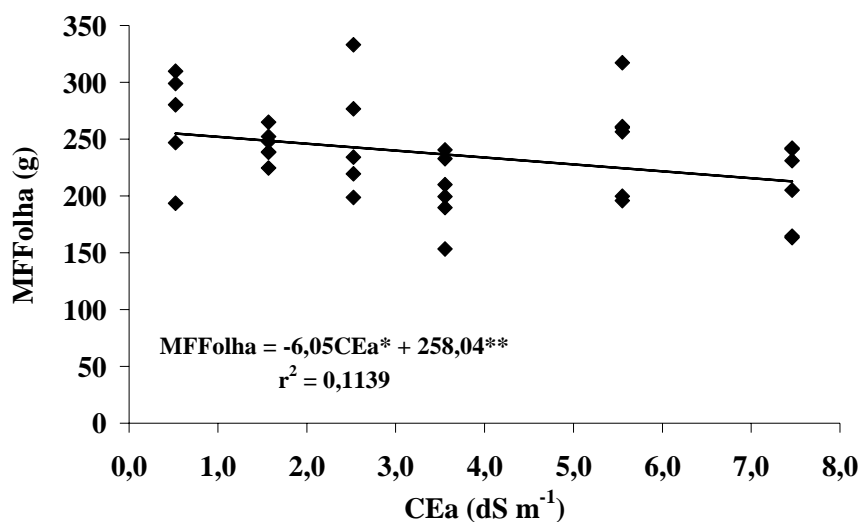
Figura 93 - Consumo de água no período de 6 a 25 DAT em função da salinidade da água



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

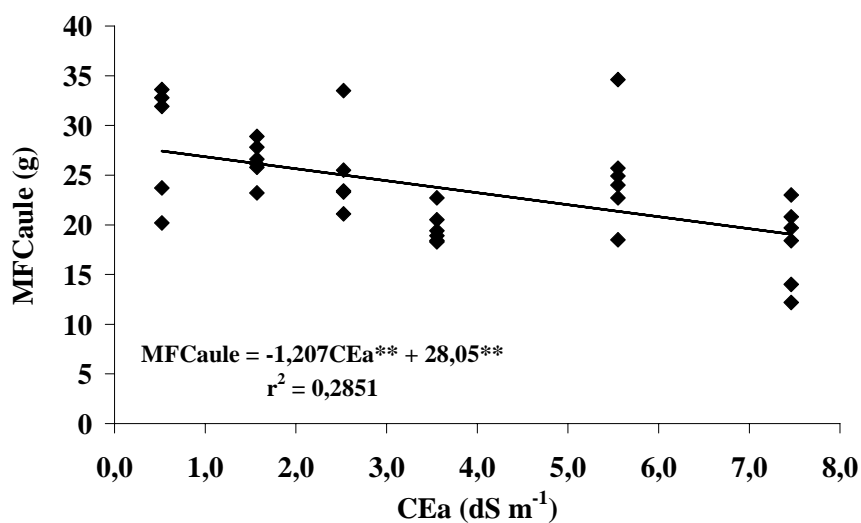
Figura 94 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da água





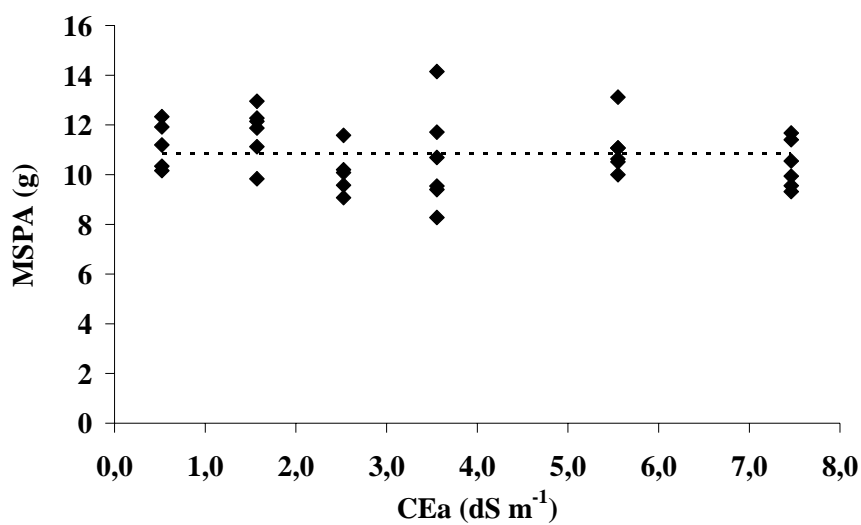
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 95 - Massa de matéria fresca das folhas em função da salinidade da água



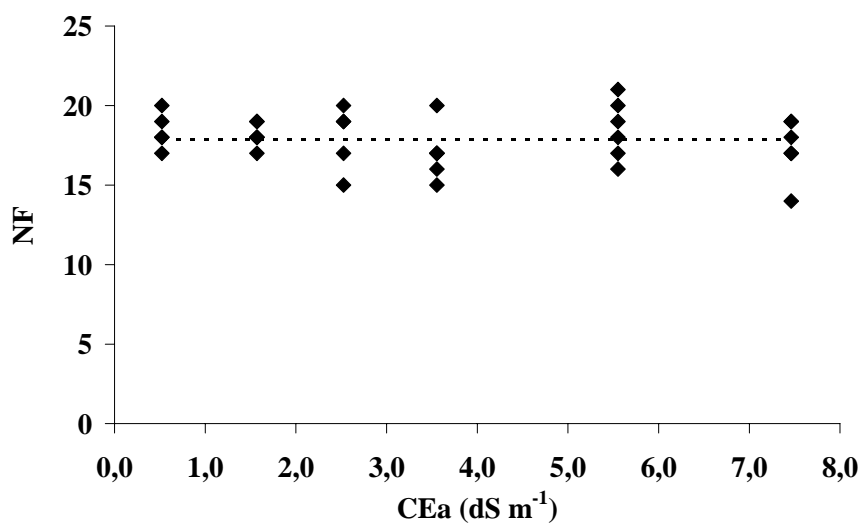
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 96 - Massa de matéria fresca do caule em função da salinidade da água



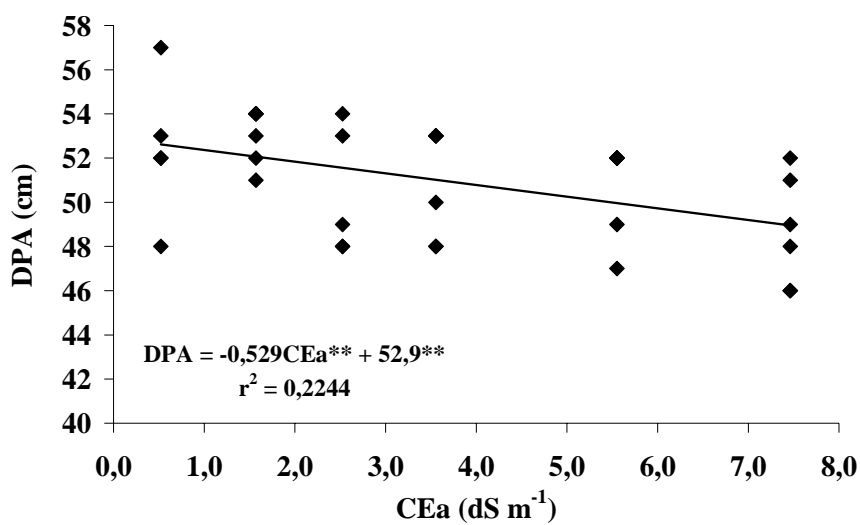
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 97 - Massa de matéria seca da parte aérea em função da salinidade da água



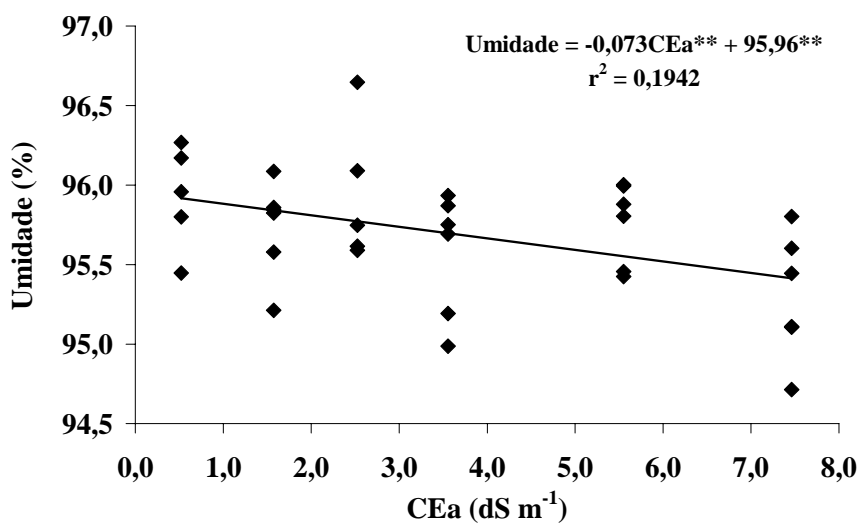
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 98 - Número de folhas em função da salinidade da água



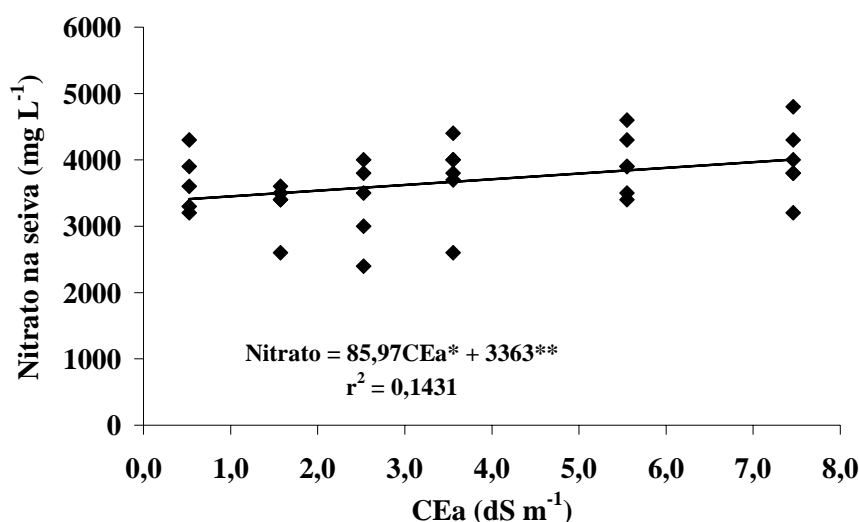
(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 99 - Diâmetro da parte aérea em função da salinidade da água



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 100 - Teor de água na parte aérea em função da salinidade da água



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 101 - Teor de nitrato na parte aérea em função da salinidade da água

Tabela 36 - Massas de matéria fresca e seca da parte aérea, em valores absolutos e relativos à testemunha, em função da salinidade da água no Experimento VII

Tratamento	CEa (dS m <sup>-1</sup> )	MFPA (g)	MFPA (%)	MSPA (g)	MSPA (%)
W0	0,52	275,30	100,00	11,19	100,00
W1	1,57	274,36	99,66	11,70	104,57
W2	2,53	249,83	90,75	10,10	90,29
W3	3,56	240,18	87,24	10,63	95,00
W5	5,55	261,78	95,09	11,07	98,91
W7	7,46	222,28	80,74	10,41	93,00

Diferentemente dos Experimentos que trataram da tolerância da alface à salinidade em solo, observou-se no Experimento VII que as tensões da água no solo se mantiveram abaixo de 10 kPa para todos os tratamentos (Figura 102). Esse resultado é concordante com o fato de se ter aplicado um mesmo volume de água, independente da salinidade (Figura 103). Ou seja, em função da salinidade da água, não foi registrada variação no consumo hídrico. Por outro lado, o volume aplicado nas Testemunhas (1.610 mL planta<sup>-1</sup>) foi inferior aos aplicados nos Experimentos envolvendo tolerância (2.775 e 3.170 mL planta<sup>-1</sup> nos Experimento V e VI, respectivamente) para esse mesmo tratamento.

Esse é um aspecto importante já que no Experimento VII a salinização do meio é dependente do volume aplicado e, por isso, das condições climáticas.

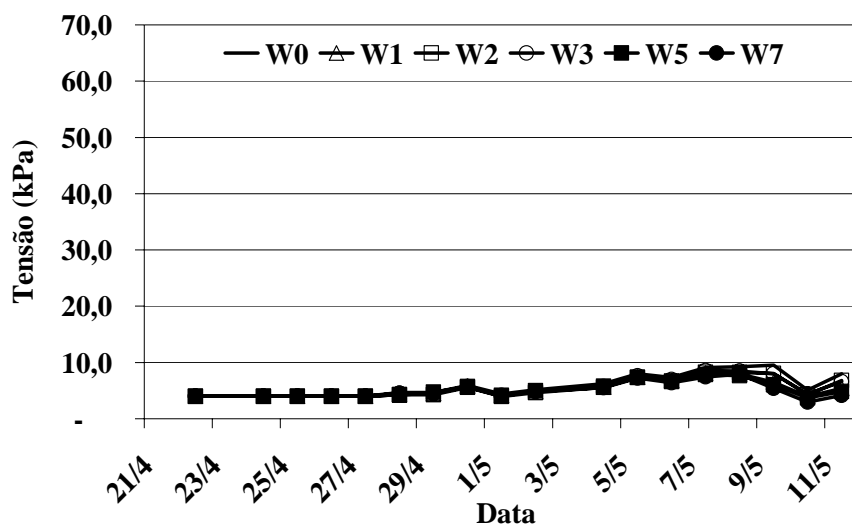


Figura 102 - Tensão da água no solo ao longo do experimento para os diferentes níveis de salinidade da água de reposição

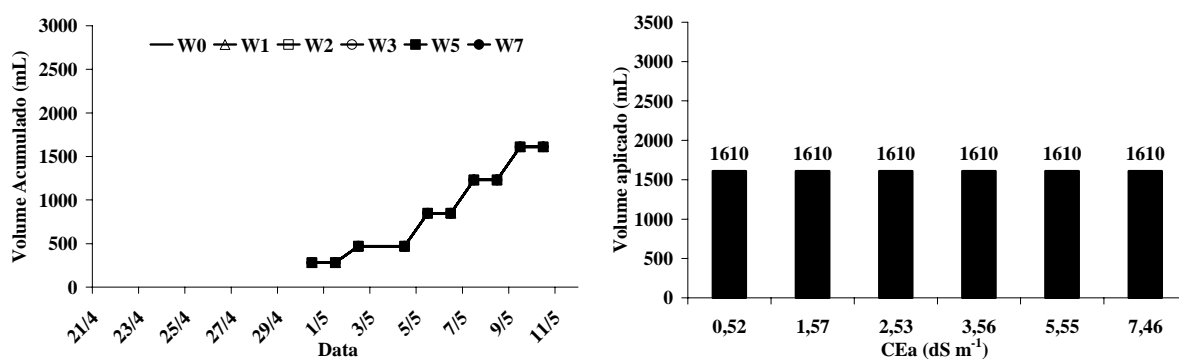


Figura 103 - Valores médios do volume acumulado de água aplicada no solo por planta em função da salinidade da água de reposição

Seguindo a tendência do consumo hídrico, a produção de massa de matéria fresca da alface não variou com o aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 104). Assim, provavelmente, devido ao baixo consumo hídrico, devido às condições climáticas e ao uso de mulch, a resposta das plantas à salinidade foi limitada à baixa taxa de salinização do solo. Resultado completamente distinto deve ser encontrado sob maior demanda atmosférica.

De qualquer forma, o acúmulo de sais no solo não é tão facilmente resolvido como na hidroponia NFT, na qual se pode emitir mais facilmente a solução salinizada ao final do processo produtivo. A salinização do solo, apesar de não avaliada ao final do experimento, pode ser estimada conforme a salinidade e o volume da água aplicada (1,61 L).

Considerando uma capacidade total de armazenamento de 2,407 L de solução no solo à tensão de 10 kPa, estima-se que a concentração induzida de NaCl tenha variado de 0 a 2,74 g L<sup>-1</sup>, entre a Testemunha (W0) e o tratamento mais salino (W7), respectivamente. Considerando a baixa capacidade de extração dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> pela alface, espera-se que a utilização de águas salobras como as que foram avaliadas, rapidamente salinize o solo, na ausência da lixiviação.

Para comparar dois sistemas de produção como no presente trabalho, deve-se atentar para uma série de detalhes, buscando não favorecer algum deles. Nesse sentido, foi utilizado um solo arenoso, menos propício aos problemas de oxigenação, isento de pragas e patógenos, fertilizado com a própria solução nutritiva da hidroponia e protegido com mulch plástico. Entretanto, para se acondicioná-lo sob o mesmo ambiente da hidroponia, foram utilizados vasos para o cultivo da alface. Dessa forma, houve uma restrição do volume de solução disponível por planta. Mesmo se considerada toda água à tensão de 10 kPa como disponível para a planta, o volume de solução disponível seria de 2,406 L planta<sup>-1</sup>, contra cerca de 5,3 L planta<sup>-1</sup> na hidroponia. Por outro lado, aplicando-se a fração de depleção de 0,3 para alface como sugerida por Allen et al. (1998) apud Pires et al. (2001), a disponibilidade seria reduzida à 0,722 L.

Conforme já discutido, a menor disponibilidade de solução por planta pode prejudicar a tolerância da cultura à medida que mais sais vão se acumulando no meio de cultivo. Nesse sentido, será interessante reavaliar a comparação dos dois sistemas a partir de um mesmo volume de solução facilmente disponível na zona radicular.

Em toda a discussão dos experimentos envolvendo solo e hidroponia, não foram contrastadas suas respostas à salinidade em valores absolutos, sendo reconhecido que se trata de dois sistemas de produção que podem proporcionar respostas bem distintas. No caso da avaliação da tolerância aos sais, foi usada a produtividade relativa à condição não salina em cada sistema.

Por outro lado, atentando-se não apenas para os resultados do presente estudo, deve-se ponderar pelo fato de que a hidroponia promove maiores precocidade e produção às plantas de alface. Castellane e Araújo (1994), por exemplo, informam que a produção anual de alface em hidroponia pode chegar a 313 toneladas  $ha^{-1}$ , enquanto no solo chegaria a 52 toneladas  $ha^{-1}$ . Esse é um ponto importante que deve ser considerado conjuntamente com a tolerância obtida em cada sistema, quando se fizer a análise econômica comparativa da viabilidade do uso de águas salobras.

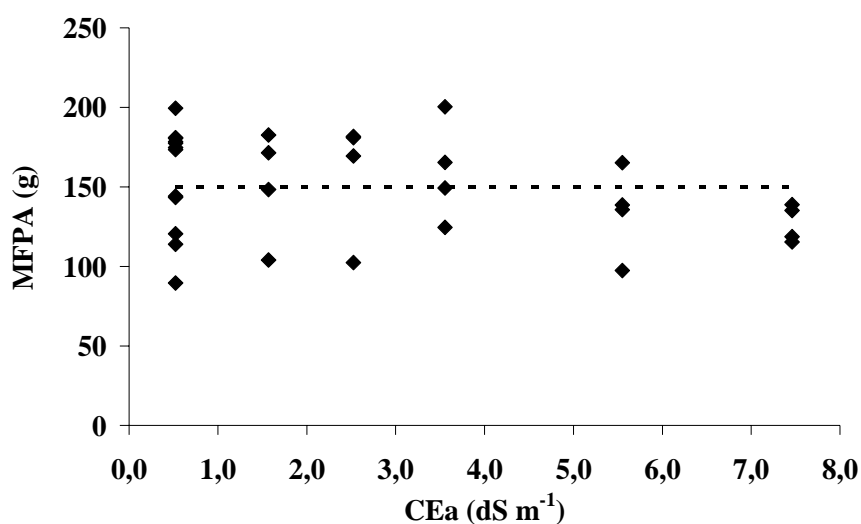
O mesmo tipo de observação é válido para contraste de tolerância de cultivares à salinidade, como informado por Shannon e McCreight (1984). Esses autores avaliaram 115 variedades de alface, sempre contrastando sua produção absoluta com a obtida em uma variedade controle (Buttercrunch). Obviamente, eles não definiram a resposta relativa de cada variedade à salinidade, já que não tinham cada uma delas também em condição não-salina. Por outro lado, estavam interessados mais no potencial de crescimento das variedades para se definir cultivares. Assim, mesmo apresentando baixa tolerância aos sais (em termos relativos), era desejável a produção absoluta mais alta sob condições de salinidade.

A princípio, para aproveitamento das águas salobras, o maior rendimento relativo em condição de salinidade em hidroponia NFT se agrega como vantagem às suas maiores produtividades absolutas, devendo a análise de custo confirmar sua maior viabilidade econômica em relação à alficultura em solo.

Como relevantes desvantagens da hidroponia para a agricultura familiar no Semi-Árido, pode-se ter o custo inicial do investimento; a menor flexibilidade para a produção de diferentes culturas, já que no caso da hidroponia NFT os perfis adquiridos para culturas como alface não seriam apropriados para outras como o tomate; a necessidade e o consumo de energia elétrica para a hidroponia tipo NFT, ressaltando que essa desvantagem pode ser substancialmente reduzida para hidroponia por capilaridade em substrato (SILVA et al., 2005b), ainda que a tolerância aos sais possa ser diferente.

Tabela 37 - Estimativas das quantidades de NaCl aplicadas no volume de irrigação igual a 1,61 L e salinidade induzida no solo à tensão de 10 kPa, em função da salinidade da água

Trat	CEa (dS m <sup>-1</sup> )	NaCl aplicado (g L)	Volume à 10 kPa (L)	NaCl (g L <sup>-1</sup> )	CE <sub>10kPa</sub> por NaCl (dS m <sup>-1</sup> )
W0	0,52	0,000	2,407	0,000	0,557
W1	1,57	0,942	2,407	0,391	1,220
W2	2,53	1,884	2,407	0,783	1,883
W3	3,56	2,826	2,407	1,174	2,546
W5	5,55	4,709	2,407	1,956	3,872
W7	7,46	6,593	2,407	2,739	5,198



(ns), (\*), (\*\*) representam não significativo, significativo a 5 % e a 1 % de probabilidade, respectivamente.

Figura 104 - Massa de matéria fresca da parte aérea em função da salinidade da água para o Experimento VII em solo

Na Figura 105, observa-se a semelhança visual na magnitude de crescimento das plantas de alface ‘Verônica’ cultivadas em hidroponia NFT mediante o emprego da água mais salobra (W7), em relação à testemunha (W0).





Figura 105 - Aspecto geral da alface 'Verônica' irrigada com a água W7 à esquerda e irrigada com água não salobra à direita

### 3 CONCLUSÕES

O efeito osmótico da salinidade foi mais importante que o tóxico sobre a diminuição da produtividade da alface 'Hortência' quando, para reposição do volume consumido, foram utilizados dois tipos de águas salobras, uma constituída pela mistura de KCl e CaCl<sub>2</sub> e a outra apenas por NaCl;

Não houve diferença de produtividade no cultivo das alfaces 'Verônica' e 'Elisa' quando submetidas à salinidade constante de 4 dS m<sup>-1</sup> em diferentes períodos do seu ciclo produtivo;

A tolerância da alface 'Verônica' à salinidade foi maior em cultivo hidropônico tipo NFT do que em Latossolo Vermelho Amarelo em vaso e sob mulch;

Para a produtividade comercial, baseada na massa de matéria fresca da parte aérea, a salinidade limiar em hidroponia tipo NFT foi de 4,03 dS m<sup>-1</sup>. Sob as mesmas condições, a salinidade limiar para a alface em solo foi de 2,51 dS m<sup>-1</sup>;

Além de maior salinidade limiar, a hidroponia NFT proporcionou menor declividade na redução da produtividade pela salinidade, sendo estimada uma perda de 8,32 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> contra 11,47 % (dS m<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> em solo;

Tanto em hidroponia NFT quanto em solo, a tolerância à salinidade foi maior que a indicada na literatura de referência (Maas e Hoffman, 1977), demonstrando-se, aos agricultores que visam a exploração de águas salobras, o custo de oportunidade associado à aceitação irrestrita daquela tolerância referencial;

Tanto em hidroponia quanto em solo protegido por mulch, não foram registrados, além do nanismo, sintomas de toxidez e/ou deficiência mineral que pudessem ser atribuídos à salinidade. Toda a massa de matéria fresca pôde ser avaliada como produção comercial;

Mesmo quando plantas não submetidas à salinidade começaram a apresentar sintomas de queima dos bordos foliares (tip burn), não foi registrada ocorrência desse distúrbio nas plantas sob os maiores teores de sais, a despeito de seu menor acúmulo foliar de cálcio. Isso pode ser explicado pela sua menor taxa de crescimento;

Em análise sensorial, foi identificado sabor levemente salgado para amostras do nível de maior salinidade na solução nutritiva ( $\approx 9 \text{ dS m}^{-1}$  ao longo do ciclo), o que se atribui ao acúmulo foliar de Na e Cl. Em relação à aparência, as plantas produzidas sob os níveis mais altos de salinidade exibiram folhas mais verde-escuras, mais quebradiças e coriáceas;

Considerada a alta variação em termos de salinidade limiar verificada entre os experimentos para o cultivo em hidroponia ( $2,69 \text{ dS m}^{-1}$  no Experimento IV para  $4,03 \text{ dS m}^{-1}$  no Experimento VI), é fundamental a realização de novos ensaios comparativos ao cultivo em solo;

Levando em conta o curto ciclo da alface, quando houver disponibilidade de águas doce e salobra, pode ser mais produtivo usar a água doce no preparo da solução nutritiva e empregar a água salobra para a reposição do volume consumido, pois, apesar de crescente, a salinização gradativa não foi tão prejudicial quanto a salinização constante, quando se inverteu os empregos dessas águas.

## REFERÊNCIAS

ACHILEA, O. Salinity-induced stress in greenhouse crops is alleviated by potassium nitrate-enhanced nutrition. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 609, p. 341-347, 2003.

ADAMS, F.J.; DOERGE, T.A. Soil salinity and soil acidity as factors in plant nutrition. In: BOERSMA, L.L.; ?????;?????. (Ed.). **Future development in soil Science research**. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 193-203.

AHMED, M.; ARAKEL, A.; HOEY, D.; THUMARUKUDY, M. R.; GOOSEN, M. F. A.; HADDABI, M. A.; BELUSHI, A. A. Feasibility of salt production from inland RO desalination plant reject brine: a case study. **Desalination**, Amsterdam, v.158, n.1, p. 109-117, 2003.

ALBERONI, R.B. **Hidroponia**. São Paulo: Nobel, 1998. 102 p.

ALVARENGA, M.A.R.; LIMA, L.A.; FAQUIN, V. Fertirrigação. In: ALVARENGA, M.A.R. (Ed.). **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: Editora UFLA, 2004. cap. 6, p. 121-158.

AMORIM, M.C.C.; PORTO, E.R.; SILVA JÚNIOR, L.G.A. **Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa**. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

AMORIM, M.C.C.; SILVA JÚNIOR, L.G.A.; PORTO, E. Efeito de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no Semi-Árido Pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais ...** Campina Grande: SBEA, 1997. 1 CD-ROM.

AMORIM, M.C.C.; PORTO, E.R.; ARAÚJO, O.J.; SILVA JÚNIOR, L.G. Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia koina (*Oreochromis* sp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Saneamento ambiental: desafio para o século 21**. João Pessoa: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001. 1 CD-ROM.

ANDRIOLO, J.L.; LUZ, G.L.; WITTER, M.H.; GODOI, R.S.; BARROS, G.T.; BORTOLOTO, O.C. Growth and yield of lettuce plants under salinity. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 931-934, out./dez 2005.

ANGELOCCI, L.R. **Água na plana e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do Autor, 2002. 272 p.

ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS. **Embrapa utiliza rejeito de dessalinizadores para criar peixes e caprinos**. Disponível em: <http://geocities.yahoo.com.br/agbcg/dessali.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino**: caracterização, variação sazonal, limitações de uso. Recife: CNPq, 1995. 128 p.

AYERS, A.D.; WADLEIGH, C.H.; BERNSTEIN, L. Salt tolerance of six varieties of lettuce. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 57, p. 237-242. 1951.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29 revisado).

BALL, P. **Life's matrix**: a biography of water. Berkeley: University of California Press, 2001. 417 p.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.

BELTRÃO, J.; JESUS, S.B.; PANAGOPOULOS, T. Combined effects of salts and nitrogen on the yield function of lettuce. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 573, p. 363- 368, 2002.

BELTRÃO, J.; TRINDADE, D.; CORREIA, P. J. Lettuce yield response to salinity of sprinkler irrigation water. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 449, p. 623-627, 1997.

BELTRÃO, J.; JESUS, S.B.; TRINDADE, D.; MIGUEL, M.G.; NEVES, M.A.; PANAGOPOULUS, T.; BEN ASHER, J. Combined effects of salts and nitrogen on the yield function of lettuce. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 573, p. 363-368, 2002.

BENOIT, F. **Practical guide for simple culture techniques**. Sint-Katelijne-Waver: European Vegetable R e D Centre, 1992. 72 p.

BERNARDO, S. Desenvolvimento e perspectiva da irrigação no Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.1, n.14, p.1-14, 1992a.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.1, n.13, p.1-7, 1992b.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA; SRH; ABEAS; UFV, 1997. p. 79-88.

BERNSTEIN, L.; FRANÇOIS, L.E.; CLARK, R.A. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 412-421, 1974.

BEZERRA, M.A.; LACERDA, C.F.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão precoce sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.90-94, 2005. Suplemento.

BIE, Z.; ITO, T.; SHINORA, Y. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 99, n.3/4, p. 215-224, 2004.

BLANCO, F. F.; MEDEIROS, J. F.; FOLEGATTI, M. V. Produção da alface (*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido sob condições salinas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1999, Pelotas. **Anais ...** Pelotas: SBEA, 1999. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Cartilha do Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semi-Árido (CONVIVER)**. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/programasregionais/publicacoes/conviver.asp>> Acesso em: 10 jun. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: agropecuária**. Brasília, 2006. 96 p.

BRITO, L.T.L.; SILVA, D.A.; CAVALCANTI, N.B.; ANJOS, J.B.; REGO, M.M. Alternativa tecnológica para aumentar a disponibilidade de água no Semi-Árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.111-115, 1999.

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 149-162, 1979.

CARVALHO, P. Água potável via energia solar. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 158, p. 72-74, 2000.

CARVALHO, P.; FREIRE, C.; MONTENEGRO, C.; RIFFEL, D. The Brazilian experience with a photovoltaic powered reverse osmosis plant. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, West Sussex, v. 12, n. 5, p. 373-385, 2004.

CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo: hidroponia**. 3.ed. Joticabal: FUNEP, 1995. 43 p.

CAVALCANTE, L.F.; LIMA, E.M. **Algumas frutíferas tropicais e a salinidade**. Joticabal. FUNEP, 2006. 148 p.

CAVALCANTI, M.L.F.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F.A.L.; SIQUEIRA, E. Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.66-70, 2005. Suplemento.

CAVALCANTI, N.B.; OLIVEIRA, C.A.V.; BRITO, L.T.L.; RESENDE, G.M. Avaliação do uso de técnicas de captação de água de chuva na região semi-árida do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 403-407, 1999.

CENTRAL DE ABASTECIMENTO DE CAMPINAS S.A. **Padronização**: alface. Disponível em: <<http://www.ceasacampinas.com.br/>>. Acesso em: 18 jan. 2006.

CHALITA, M.A.N. Desenvolvimento rural, agricultura e natureza: novas questões de pesquisa. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 97-113, 2005. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/publicacoes/pdf/asp-1-05-7.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

CHUNG, J.-B.; JIN, S.-J.; CHO, H.-J. Low water potential in saline soils enhances nitrate accumulation of lettuce. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 36, n.13/14, p.1773-1785. 2005.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA. **Transposição das águas do rio São Francisco**. Brasília, 2000. 138 p.

CORRÊA, E.L.P. **Mídia regional e ambiente: a água no jornalismo da EPTV**. 2007. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CORREIA, K.G.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; GURGEL, M.T.; RODRIGUES, L.N. Crescimento do amendoim irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 81-85, 2005. Suplemento.

COSTA, C.P.; SALA, F.C. A evolução da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, 2005. (artigo de capa).

COSTA, P.H.; SILVA, J.V.; BEZERRA, M.; ENÉAS FILHO, J.; PRISCO, J.T.; GOMES FILHO, E. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 289-297, 2003.

COSTA, P.C.; DIDONE, E.B.; SESSO, T.M.; CAÑIZARES, K.A.L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção da alface em hidroponia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 595-597, 2001.

CRESSWELL, G.C. Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var Gloria). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 14, n. 9, p. 913-924, 1991.

DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono**. 1997. 76 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

DEMÉTRIO, J.G.A.; DOHERTY, F.R.; ARAUJO FILHO, P.F.; SCHEFFER, S. Qualidade de água subterrânea no nordeste brasileiro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 45., Recife, 1993. **Anais ...** Recife: UFPE, 1993. p. 79.

DIAS, N.S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão em ambiente protegido**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; YOSHINAGA, R.T.; TELES FILHO, J.F. Produção de alface sob diferentes níveis de salinidade do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 20-29. 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Tradução de H.R. Gheyi, J.E.C. Metri e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 24).

DOUGLAS, J.S. **Hidroponia, cultura sem terra**. Tradução de Z.Z. Marcos. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1987. 144 p.

DUBON, J.A.M.; PINHEIRO, J.C.V. **Aproveitamento de águas residuais provenientes de dessalinizadores instalados no Estado de Ceará**. Disponível em: <[http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos\\_verde/TC-115.htm](http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-115.htm)>. Acesso em: 10 jul. 2004.

EINAV, R.; LOKIEC, F. Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon. **Desalination**, Amsterdam, v. 156, n. 1/3, p. 79-85. 2003.

EINAV, R.; HAMSSIB, K.; PERIYB, D. The footprint of the desalination processes on the environment. **Desalination**, Amsterdam, v. 152, n. 1/3, p. 141-154. 2002.

EHRET, D.L.; ALSANIUS, B.; WOHANKA, W.; MENZIES, L.G.; UTKHEDE, R. Desinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. **Agronomie**, Paris, v.21, p. 323-339, 2001.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de M.E.T. Nunes. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

EPSTEIN, E.; NORLYN, J.D.; RUSH, D.W.; KINGSBURY, R.W.; KELLEY, D.B.; CUNNINGHAM, G.A.; WRONA, A.E. Saline culture of plants: a genetic approach. **Science**, Washington, v. 210, n. 4468, p. 399-404. 1980.

EVANGELISTA, F.R. **A agricultura familiar no Brasil e no Nordeste**. Banco do Nordeste do Brasil, 2000. 12 p Disponível em: <[http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede\\_Irrigacao/Docs/Agricultura%20Familiar%20no%20Brasil%20e%20no%20Nordeste.PDF](http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede_Irrigacao/Docs/Agricultura%20Familiar%20no%20Brasil%20e%20no%20Nordeste.PDF)>. Acesso em: 15 maio 2007.



FEIGIN, A.; PRESSMAN, E.; IMAS, P.; MILTAU, O. Combined effects of KNO<sub>3</sub> and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage. **Irrigation Science**, New York, v. 12, n. 4, p. 223-230. 1991.

FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.; MEDEIROS, S.S. Agricultura bio-salina. In: WORKSHOP USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR, 1., 2005, Campina Grande. **Transcrição das palestras ...** Campina Grande: UFCG; UEPB; 2005. 1 CD-ROM.

FERREIRA, I.R.P.; DUARTE, S.N.; MIRANDA, J.H.; MEDEIROS, J.F. Efeitos da salinidade da água de irrigação e da lâmina de lixiviação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em vasos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais ...** Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p.106-108.

FERREIRA, M.L. **Produção de alface influenciada pela rebrota em hiroponia e em solo.** 2000. 56 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.O.; SANTOS, D.B.; OLIVEIRA, F.G. Uso de água salina na agricultura. In: WORKSHOP 'USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR', 1., 2005, Campina Grande. **Transcrição das palestras ...** Campina Grande: UFCG; UEPB, 2005. 1 CD-ROM.

FERREIRA, P.V. **Estatística experimental aplicada à agronomia.** 3.ed. Maceió: EDUFAL, 2000. 422 p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura:** agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

FILGUEIRAS, R.C.; TAKAHASHI, H.W.; BENINNI, E.R.Y. Produção de alface hidropônico em diferentes condutividades elétricas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 157-164, jul./dez. 2002.

FRANÇA, F.M.C. (Coord.). **A importância do agronegócio da irrigação para o desenvolvimento do Nordeste.** Fortaleza: Banco do Nordeste, 2001. 4 v. (Série Políticas e Estratégias para um Novo Modelo de Irrigação).

FRIZZONE, J.A. Funções de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados no Simpósio "Manejo de Irrigação"...** Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p. 86-116.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE JR., A.S.; SOUZA, J.L.M.; ZOCOLER, J.L. **Planejamento de irrigação:** análise de decisão e investimento. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Governo federal amplia estados beneficiados com Projeto Água Doce.** Disponível em: <<http://www.fundacaobancodobrasil.org.br>>. Acesso em: 20 jun. 2007a.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Tecnologia para tratar água será reaplicada**. Disponível em: <<http://www.fundacaobancodobrasil.org.br>>. Acesso em: 20 jun. 2007b.

FUNDECITRUS. **Divisão de viveiros e mudas**. Disponível em: <[http://www.fundecitrus.com.br/dviveiros\\_br.html](http://www.fundecitrus.com.br/dviveiros_br.html)>. Acesso em: 15 out. 2003.

FURLAN, R.A. **Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido**. 2001, 146 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, M.F.; ABREU, C.A.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. 122 p. (IAC. Documentos, 70).

FURLANI, P.R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. Campinas: IAC, 1998. 30 p. (IAC. Boletim Técnico, 168).

FURLANI, P.R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 481, p. 777-778, 1999.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: IAC, 1999. 52 p. (IAC. Boletim Técnico, 180).

GERVÁSIO, E.S.; CARVALHO, J.A.; SANTANA, M.J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 125-128, 2000.

GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A. J.; NIX, H. A. **Salinization of land and water resources: human causes, extent, management and case studies**. Wallingford: CAB International, 1995. 526 p.

GHEYI, H.R.; MEDEIROS, S.S.; SOARES, F.A.L. Uso e reuso de águas de qualidade inferior: realidade e perspectivas. In: WORKSHOP USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR, 1., 2005, Campina Grande. **Transcrição das palestras ...** Campina Grande: UFCG; UEPB; 2005. 1 CD-ROM.

GLENN, E.P.; BROWN, J; O’LEARY. J. Irrigating crops with seawater. **Scientific American**, New York, v. 279, n. 2, p. 76-81, 1998a.

GLENN, E.P; THOMPSON, T.L.; MIYAMOTO, S. **Halophyte crops and a sand-bed solar concentrator to reduce and recycle industrial, desalination and agricultural brines**. Tucson: U.S. Department of the Interior, 1998b. 78 p. (Desalination Research and Development Program Report, 35).

GLUECKSTERN, P.; PRIEL, M. Optimized brackish water desalination plants with minimum impact on the environment. **Desalination**, Amsterdam, v. 108, n. 1/3, p. 19-26. 1996.

GOMES, P. **Como agricultar as terras nordestinas**. 3.ed. João Pessoa: 'A União' Editora, 1984. 125 p.

GOTTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). **Produção em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 319 p.

GRAF, C.C.D. Vivecitrus e a produção de mudas certificadas. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 22, n.2, p. 533-548, 2001.

GRANGEIRO, L.C.; COSTA, K.R.; MEDEIROS, M.A.; SALVIANO, A.M.; NEGREIROS, M.Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S.L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 190-194. 2006.

GURGEL, M.T.; GHEYI, H.R.; OLIVEIRA, F.H.T.; UYEDA, C.A.; FERNANDES, P.D.; ALMEIDA FILH, D. Análise econômica do uso de água salina no cultivo de meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 258-262, 2005. Suplemento.

THE HARTMAN GROUP. **The organic consumer profile**. Bellevue, 2000. 49 p.

HAYES, D.; KIPPS, J. Salt-gradient solar ponds from concentrated subsurface agricultural drainage waters of the San Joaquin Valley, California. **Desalination**, Amsterdam, v. 88, n. 1/3, p. 301-309, 1992.

HOCHMUTH, G.; HOCHMUTH, R. **Open-field soilless culture of vegetables**. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/HS176>>. Acesso em: 13 mar. 2007.

HOEPNER, T.; LATTEMANN, S. Chemical impacts from seawater desalination plants: a case study of the northern Red Sea. **Desalination**, Amsterdam, v. 152, n. 1/3, p. 133-140. 2002.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 5, p. 137-169.

HOTHEM, R.; OHLENDORF, H. Contaminants in foods of aquatic birds at Kesterton-Reservoir, California, 1985. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 18, n. 6, p. 773-786. 1989.

HUETT, D.O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K: Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 45, n. 1, p. 251-267, 1994.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Climatologia: normais climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 08 jun. 2007.

JÁCOME, A.G.; OLIVEIRA, R.H.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOUZA, A.P.; GONÇALVES, A.C.A. Crescimento de genótipos de algodoeiro em função da salinidade da água de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 305-313, 2003.

JOHNSON DIVISION. **Água subterrânea e poços tubulares**. 3.ed. São Paulo: CETESB, 1978. 482 p.

JONES, J.B. Jr. **A guide for the hydroponics and soilless culture grower**. Portland: Timber Press, 1983. 124 p.

JUAN, J.A.M.S. **Desalación de aguas salobres y de mar: osmose inversa**. Madrid: Mundi-Prensa, 2000. 395 p.

KAFKAFI, U. Plant nutrition under saline conditions. In: SHAINBERG, I.; SHALVET, J. (Ed.). **Soil salinity under irrigation: processes and management**. Berlin: Springer, 1984. p. 319-338.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

KOEFENDER, V.N. **Crescimento e absorção de nutrientes pela alface cultivada em fluxo laminar de solução**. 1996. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

LEAL, M.A.A.; CAETANO, L.C.S.; FERREIRA, J.M. **Estufa de baixo custo**. 2.ed. Niterói: PESAGRO-RIO, 2006. 30 p. (Informe Técnico, 33).

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: EDUSP, 2006. 344 p.

LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. Campina Grande: UFPB, 1997, lo e na planta. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 4, p. 113-136.

LOPES, S.J. **Modelos referentes à produção de sementes de alface sob hidroponia**. 2002. 129 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.103, n. IR2, p. 115-134, 1977.

MAASWINKEL, R.H.M.; WELLES, G.W.H. Factors influencing glassiness in lettuce. **Netherlands Journal of Agricultural Sciences**, Wageningen, v. 34, n. 1, p. 51-65, 1986.

MAGGI, M.F.; KLAR, A.E.; JADOSKI, C.J.; ANDRADE, A.R.S. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga**, Boucatu, v. 11, n. 3, p. 415-427, 2006.

MAIA NETO, R.F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, n. 9, p. 21-32, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.

MARENCO, J.A. **Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos modelos globais de clima do IPCC**. São Paulo: CPTEC; INPE, 2007. 181 p. (Relatório, 1). Disponível em: <[http://www6.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas/prod\\_probio/Relatorio\\_1.pdf](http://www6.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/prod_probio/Relatorio_1.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2007.

MARINHO, F.J.L.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 1-5, 1998.

MARODIM, V.S.; STORCK, L.; LOPES, S.J.; SANTOS, O.S.; SCHIMIDT, D. Delineamento experimental e tamanho de amostra para alface cultivada em hidroponia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 779-781, 2000.

MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 1997. 47 p. (Cadernos Didáticos, 1).

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2006. 271 p.

MARTINEZ-BELTRÁN, J.; KOO-OSHIMA, S. (Ed.). **Water desalination for agricultural applications**. Rome: FAO, 2006. 48 p. FAO. Land and Water Discussion Paper, 5. Disponível em: <[ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lwdp5\\_e.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lwdp5_e.pdf)> . Acesso em: 10 Jan. 2007.

MATTOS, K.M.C. **Efeito da temperatura do ar das canaletas e da estufa sobre o crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico em função do material de cobertura da bancada**. 2000. 66 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

McKERSIE, B.D.; LESHEM, Y.Y. **Stress and stress coping in cultivated plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994. 256 p.

MEDEIROS, J.F. **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão**. 1998. 152 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. Riscos de salinidade em áreas irrigadas. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M.(Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.5, p. 255-314. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação, 1).

MEDEIROS, J.F.; MAIA, C.E.; PORTO FILHO, F.Q. Água salina como recurso. In: WORKSHOP 'USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR', 1., 2005, Campina Grande. **Transcrição das palestras ...** Campina Grande: UFCG; UEPB, 2005. 1 CD-ROM.

MEDEIROS, J.F.; MEDEIROS, D.S.; PORTO FILHO, F.Q.; NOGUEIRA, I.C.C. Efeitos da qualidade e quantidade da água de irrigação sobre o coentro cultivado em substrato inicialmente salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 22-26, 1998.

MEDINA, J.A. Feasibility of water desalination for agriculture. In: MARTINEZ-BELTRÁN, J.; KOO-OSHIMA, S. (Ed.). **Water desalination for agricultural applications**. Rome: FAO, 2006. p. 37-44. (FAO Land and Water Discussion Paper, 5). Disponível em: <[http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lwdp5\\_e.pdf](http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lwdp5_e.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2007.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, B.; CARR, T. **Sensory evaluation techniques**. 3<sup>rd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 1999. 416 p.

MENDES, B.V. **Alternativas tecnológicas para a agropecuária do Semi-Árido**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1986. 171 p.

MICELI, A.; MONCADA, A.; D'ANNA, F. Effect of salt stress in lettuce cultivation. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 609, p. 371-375. 2003.

MICKLEY, M.C. **Membrane concentrate disposal: practices and regulation**. Denver: U.S. Department of the Interior, 2001. 252 p. (Desalination and Water Purification Research and Development Program Report, 69). Disponível em: <<http://www.usbr.gov/pmts/water/media/pdfs/report069.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

MICKLEY, M.C. **Desalination concentrate management and issues in the United States**. Disponível em: <<http://www.twdb.state.tx.us/Desalination/Desal/proceedings/Mickley.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

MIERI, A.; PLAUT, Z. Crop production and management under saline conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 89, n. 1/3, p. 253 - 271. 1985.

MINGOTI, R.; FLECHA, P.A.N.; DUARTE, S.N.; CRUCIANI, D.E. Efeito de velocidades de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 10-16, 2006.

MIRANDA, E.E. **A água na natureza e na vida dos homens**. Aparecida: Idéias e Letras, 2004. 141 p.

MIRANDA, J.H.; GONÇALVES, A.C.; CARVALHO, D.F. Água e solo. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, cap.1, p.1-62. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação).

MIZRAHI, Y.; PASTERNAK, D. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 89, n. 1/3, p. 301-307, 1985.

MONTEIRO, V.P. **Crêterios para implanta o de tecnologias de abastecimento de água potável em regiões afetadas pelo alto teor de sal**. 2002. 56 p. Disserta o (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, New York, v. 12, n.4, p. 187-192, 1991.

REIS, N. V. B. Cultivo protegido: uma tecnologia que viabiliza alta eficiência da irriga o   aplicável em qualquer região brasileira. [Entrevista a Item]. **ITEM**, Brasília, n. 52/53, p.10-12, 2001.

NOBRE, C.A.; LAPOLA, D.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L.F.; CARDOSO, M.; OYAMA, M. **Mudancas climáticas e possíveis altera es nos biomas da América do Sul**. São Paulo: CPTEC; INPE, 2007. 25 p. (Relatório, 6). Disponível em: <[http://www6.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas/prod\\_probio/Relatorio\\_6.pdf](http://www6.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/prod_probio/Relatorio_6.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2007.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; ALOUFA, M.A.I.; ALBUQUERQUE, M.B. Stomatic behaviour and leaf water potential in young plants of *Annona squamosa* submitted to saline stress. **Fruits**, Paris, v. 59, n. 3, p. 209-214, 2004.

OLIVEIRA, M. G nese, classifica o e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 1, p. 319-362.

OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B.; BORGES, R.S.; NAKASU, B.H. **Mudas de citros**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 32 p.

ONG, C.; TANJI, K.; DAHLGREN, R.; SMITH, G.; QUEK, A. Water quality and trace element evapoconcentration in evaporation ponds for agricultural waste water disposal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 7, p. 1941-1947, 1995.

ONGLEY, E.D. **Lucha contra la contaminaci n agrícola de los recursos hídricos**. FAO: Roma, 1997. 115 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 55). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>>> Acesso em: 20 abr. 2006.

OSAWA, T. Studies on the salt tolerance of vegetable crops with special reference to mineral nutrition. **Bulletin University of Osaka Prefecture**, Series B, Osaka, n.16, p. 13-57, 1965.

OYAMA, M.D.; NOBRE, C.A. A simple potential vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SIB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 203-216, 2004.

PAPADOPOULOS, I. Effects of residual soil salinity resulting from irrigation with sulphate waters on lettuce. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 97, n. 2, p.171-177. 1987.

PARDOSSI, A.; BAGNOLI, G.; MALORGIO, F.; CAMPIOTTI, C.A.; TOGNONI, F. NaCl effects on celery (*Apium graveolens* L.) grown in NFT. **Sicentia Horticulturae**, Amsterdam, v. 81, n. 3, p. 229-242, 1999.

PARK, B.J.; LIU, Z.; KANNO, A.; KAMEYA, T. Increased tolerance to salt- and water-deficit stress in transgenic lettuce (*Lactuca sativa* L.) by constitutive expression of LEA. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 45, n. 2, p. 165–171, 2005.

PASSIOURA, J.B. Soil conditions and plant growth. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 311-318, 2002.

PASTERNAK, D.; DE MALACH, Y.; BOROVIĆ, I.; SHRAM, M.; AVIRAM, C. Irrigation with brackish water under desert conditions. IV. Salt tolerance studies with lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 11, n. 3/4, p. 303-311, 1986.

PATERNIANI, J.E.S.; PINTO, J.M. Qualidade da água. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, cap. 4, p. 195-253. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação).

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p.465-473, 2000.

PÉREZ-ALFOCEA, F.; BALIBREA, M.E.; BOLARÍN, M.C. Increasing salt tolerance in tomato and lettuce by inducing plant adaptation: haloconditioning. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. ????, p.369-375, 2002.

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

PESSARAKLI, M.; SZABOLCS, I. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) **Handbook of plant and crop stress**. 2<sup>nd</sup>ed. New York: Dekker, 1999. chap. 1, p. 1-15.

PESSOA, L.C.C. **Análise de desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa**. 2000. 94 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Centro de Estudos Hidrológicos e Ambientais do Semi-Árido, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

PILAU, F.G.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P.A.; BIANCHI, C.; CARON, B.O.; BONNECARRÈRE, R. Influência do intervalo entre irrigações na produção e nas variáveis fisiológicas da alface hidropônica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 237-244. 2002.



PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.

PINHEIRO, J.C.V.; CALLADO, S.M.G. **Avaliação de desempenho dos dessalinizadores no Ceará**. Disponível em:

<<http://www.bnb.gov.br/progEventosBN/projForumEconomia2003/DOCS/MESA%2009%20-%2034.PDF>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; FOLEGATTI, M.V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, cap. 3, p. 121-194. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação).

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. 3.ed. Madri: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

POLYSACK. **Malhas internas**. Disponível em:

<[http://www.polysack.com/index.php?page\\_id=104](http://www.polysack.com/index.php?page_id=104)>. Acesso em: 05 set. 2006.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C. de; ARAÚJO, O.J. **Potencialidades da erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro como alternativa de reutilização**. Disponível em:

<<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/aresidua/x-003.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C. de; SILVA JÚNIOR, L.G.A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 111-114, 2001.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C. de; ARAÚJO, O.J.; SILVA JÚNIOR, L.G.A. Aproveitamento dos rejeitos da dessalinização. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 1., 1997, Petrolina. **Anais ...** Petrolina: Embrapa Semi-Árido; IRPAA; IRCSA: 1999. p. 51-57.

RAVIKOVITCH, S.; YOLES, D. The influence of phosphorus and nitrogen on millet and clover growing in soil affected by salinity. I. Plant development. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 35, n. 3, p. 555-567, 1971.

REBOUÇAS, A.C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999a. cap. 1, p.1-36.

REBOUÇAS, A.C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999b. cap. 4, p. 117-151.

REBOUÇAS, A.C.; MARINHO, M.E. **Hidrologia das secas do Nordeste do Brasil**. Recife: SUDENE – DRN, Divisão de Hidrologia, 1972. 126 p.

REICHARD, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

RESH, H.M. **Cultivos hidropônicos: nuevas técnicas de producción**. 3.ed. Madri: Mundi-Prensa, 1992. 369 p.

RESH, H.M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods**. 5<sup>th</sup> ed. California: Woodbridge Press, 1995. 527 p.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução de H.R. Gheyi, J.R. de Sousa e J.E. Queiroz. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 48).

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

RILEY, J.J.; FITZSIMMONS, K M.; GLENN, E. P. Halophyte irrigation: an overlooked strategy for management of membrane filtration concentrate. **Desalination**, Amsterdam, v. 110, n. 3, p. 197-211, 1997.

RODRIGUES, L.N.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; NERY, A.R.; CORREIA, K.G. Produção de arroz em condições de salinidade a partir de mudas formadas com e sem estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 95-100, 2005. Suplemento.

RODRIGUES, L.R.F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762 p.

RYDER, E.J. **Lettuce, endive and chicory**. Wallingford: CAB Publishing: 1999. 208 p. (Crop Production Science, 9).

SAKATA. **Alface crespa Verônica**. Disponível em: <<http://www.sakata.com.br/index.php?action=catalogoelocal=brecultura=4>>. Acesso em: 12 maio 2007.

SALATI, E.; LEMOS, H.M.; SALATI, ????. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 2, p. 39-64.

SANJUÁN; M.C.S.; GAVILÁN, M.U. Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi Prensa, 2004. cap. 5, p. 161- 237.

SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. cap. 10, p.319-362.

SANTOS, S.R.; PEREIRA, G.M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SAS INSTITUTE. **SAS: user's guide statistics: version 8.0 edition**. Cary, 1999. 956 p.

SAVVAS, D. Nutritional management of vegetables and ornamental plants in hydroponics. In: DRIS, R.; NISKANEN, R.; JAIN, S.M. (Ed). **Crop management and postharvest handling of horticultural products**. Enfield: Science Publishers, 2001. v. 1: Quality management, p. 37-87.

SCALOPPI, E.J. Irrigação por superfície. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. v. 1, cap. 13, p. 311-470. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação).

SCHENKEL, C.S.; MATALLO JR., H. **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2003. 82 p.

SCHWARZ, M. **Guide to commercial hydroponics**. Jerusalem: Israel Universities Press, 1968. 148 p.

SCHWARZ, M. **Soilless culture management**. Berlin: Springer Verlag, 1995. 197 p. (Advanced Series in Agricultural Sciences, 24).

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, cap. 2, p. 63-120. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação).

SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária de evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SERIO, F.; ELIA, A.; SANTAMARIA, P.; RODRIGUEZ, G.R.; CONVERSA, G.; BIANCO, V.V. Lettuce growth, yield and nitrate content as affected y electrical conductivity of nutrient solution. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 559, p. 563-568. 2001.

SHANNON, M.C.; MCCREIGHT, J.D. Salt tolerance of lettuce introductions. **HortScience**, Alexandria, v. 19, n. 5, p. 673-675, 1984.

SHANNON, M.C.; MCCREIGHT, J.D.; DRAPER, J.H. Screening test for salt tolerance in lettuce. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Mount Vernon, v. 108, n. 2, p. 225-230, 1983.

SHINOHARA, Y.; SUZUKI, Y. Quality improvement of hydroponically grown leaf vegetables. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 230, p. 279-286, 1988.

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

SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N.; DIAS, N.S. Controle da salinidade em cultivos sob ambiente protegido e aproveitamento da água de drenagem. In: WORKSHOP 'USO E REÚSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR', 1., 2005, Campina Grande. **Transcrição das palestras ...** Campina Grande: UFCG; UEPB; 2005a. 1 CD-ROM.

SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N.; FERREIRA, Y.R.P.; MIRANDA, J.H. Tolerância da cultura da alface a salinidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 788-789, 2000.

SILVA, J.G.F.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Irrigação localizada. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. v. 2, cap. 12, p. 259-309. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação).

SILVA, J.O.; SOUZA, P.A.; GOMES JÚNIOR, J.; PEREIRA, P.R.G.; ROCHA, F.A. Crescimento e composição mineral da alface no sistema hidropônico por capilaridade. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 146-154, 2005b.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados no Simpósio "Manejo de Irrigação"...** Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p. 311-348.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 12, n. 3, p. 213-217, 1985.

SOARES, T.M.; SILVA, I.J.O.; DUARTE, S.N.; SILVA, E.F.F. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 730-737, 2006a.

SOARES, T.M.; DUARTE, S.N.; GRAF, C.C.D; ZANETTI, M.; ZOCCHI, S.S. Produção de mudas cítricas utilizando águas salinas. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 288-298, 2005.

SOARES, T.M.; DUARTE, S.N.; GRAF, C.C.D; ZANETTI, M.; ZOCCHI, S.S. Irrigação de porta-enxertos cítricos com águas salinas. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n.3, p. 428-440, 2006b.

SOARES, T.M.; ALMEIDA, C.D.G.C.; FRIZZONE, J.A. ; SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N. Viabilidade econômica da osmose-reversa na dessalinização de águas salinas para irrigação do tomateiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **Anais ...** Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2006c. 1.CD ROM.

SONNEVELD, C. The salt tolerance of greenhouse crops. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 36, p. 63-73, 1988.

SONNEVELD, C. La nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo: su manejo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid Mundi Prensa, 2004. cap. 8, p. 305- 367.

STAFF, H. **Hidroponia**. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1997. 86 p.

STEEL, E.W. **Abastecimento d'água, sistemas de esgotos**. Tradução de S. RITTA. Rio de Janeiro: USAID, 1966. 866 p.

STEPPUHN, H.; VAN GENUCHTEN, M. TH.; GRIEVE, C.M. Root-zone salinity: I. Selecting a product-yield index and response function for crop tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 45, p. 209-220, 2005.

SUDENE. **O Nordeste semi-árido e o polígono das secas**. Disponível em <<http://www.sudene.gov.br>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E. R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719 p.

TANJI, K.K.; KIELEN, N.C. **Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas**. Rome: FAO, 2002. 188 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 61).

TAS, G.; PAPADANDONAKIS, N.; SAVVAS, D. Responses of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) grown in a closed hydroponic system to NaCl- or CaCl<sub>2</sub>- salinity. **Journal of applied botany and food quality-angewandte botanik**, Gottingen, v. 79, n. 2, p. 136-140, 2005.

TEIXEIRA, T.N. **Hidroponia: uma alternativa para pequenas propriedades**. Guaíba: Editora Agropecuária. 1996. 86 p.

TESI, R.; LENZI, A.; LOMBARDI, P. Effect of salinity and oxygen level on lettuce grown in a floating system. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 609, p. 383-387, 2003.

THIBODEAU, P.O.; MINOTTI, P.L. The influence of calcium on the development of lettuce tipburn. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 96, p. 372-375, 1969.

TOMAZ, P. **Conservação de água**. São Paulo: Parma, 1998. 294 p.

TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B. **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 9).

VAITSMAN, D.S.; VAITSMAN, M.S. **Água mineral**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005. 219 p. (Interdisciplinar, 3).

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada**. Tradução de H. R. Gheyi et al. Roma: FAO, 1980. 184 p.

VIANA, S.B.A.; RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R. Produção de alface em condições de salinidade a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 60-66, 2001.

VIANA, S.B.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; CARNEIRO, P.T. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 23-30, 2004.

VIDA, J.B.; ZAMBOLIM, L.; TESSMANN, D.J.; BRANDÃO FILHO, J.U.; VERZIGNASSI, J.R.; CAIXETA, M.P. Plant disease management in greenhouse crops. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 355-372, 2004.

VIÉGAS, R.A.; QUEIROZ, J.E.; SILVA, L.M.M.; SILVEIRA, J.A.G.; ROCHA, I.M.A.; VIÉGAS, P.R.A. Plant growth, accumulation and solute partitioning of four forest species under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 258-262, 2003.

VIEIRA, M.R.; LACERDA, C.F.; CÂNDIDO, J.D.; CARVALHO, P.L.; COSTA, R.N.T.; TABOSA, J.N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigado com águas salinas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.42-46, 2005. Suplemento.

VIEIRA, V.P.P.B. Água doce no Semi-Árido. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 15, p. 509-532.

WAGNER, L.J.; EATHERS, P.; DILORIO, A.; CHEETHAM, R. Enhancement of lettuce productivity by ratooning. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 177-185, 1994.

WALKER, B.H. **Management of semi-arids ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1979. 389 p.

WATSON, I.C.; MORIN JR., O.J.; HENTHORNE, L. **Desalting handbook for planners**. 3<sup>th</sup> ed. Denver: United States Department of the Interior, 2003. 310 p. (Desalination and Water Purification Research and Development Program Report, 72).

WILLADINO, L.; MARTINS, M.H.B.; CÂMARA, T.R.; ANDRADE, A.G.; ALVES, G.D. Resposta de genótipos de milho ao estresse salino em condições hidropônicas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1209-1213, 1999.

ZOBY, J.L.G.; MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na política nacional de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. Florianópolis: ABAS, 2002. 1 CD-ROM.

ZOBY, J.L.G.; OLIVEIRA, F.R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Brasília: ANA, 2005. 73 p.

## **ANEXOS**



ANEXO A - Resultados da análise química da água utilizada no preparo da solução nutritiva  
(coleta em 03/11/2006, Experimento V)

<b>PARÂMETRO</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>RESULTADO</b>
Alcalinidade ( $2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ )	mg L <sup>-1</sup>	21,0
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	12,2
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	2,3
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	59,1
Fósforo (P)	mg L <sup>-1</sup>	0,01
Nitrogênio Amoniacal (N - NH <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	0,2
Sódio (Na <sup>+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	15,0
<b>Potássio (K<sup>+</sup>)</b>	<b>mg L<sup>-1</sup></b>	<b>5,30</b>
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	17,70
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	1,90
Ferro (Fe)	mg L <sup>-1</sup>	0
Cobre (Cu)	mg L <sup>-1</sup>	0
Manganês (Mn)	mg L <sup>-1</sup>	0,03
Zinco (Zn)	mg L <sup>-1</sup>	0,04
Cor Aparente	PtCo	0
Turbidez	FTU	0
Sedimentos em suspensão	mg L <sup>-1</sup>	15,0
Condutividade elétrica (CE)	mS cm <sup>-1</sup>	0,30
pH		6,8
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	5,7
Acidez (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	9,4
Dureza Total* (CaCO <sub>3</sub> )	mg L <sup>-1</sup>	52,1

Franson (1995):  $2,497 [\text{Ca, mg L}^{-1}] + 4,118 [\text{Mg, mg L}^{-1}]$

Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater.

American Public Health Association, Washington, 19o. Edição, 1995.

ANEXO B - Resultados da análise química da água utilizada no preparo da solução nutritiva  
(coleta em 26/03/2007, Experimento VII)

<b>PARÂMETRO</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>RESULTADO</b>
Alcalinidade ( $2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ )	$\text{mg L}^{-1}$	25,8
Cloreto ( $\text{Cl}^-$ )	$\text{mg L}^{-1}$	37,8
Nitrato (N- $\text{NO}_3$ )	$\text{mg L}^{-1}$	6,6
Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	$\text{mg L}^{-1}$	83,7
Fósforo (P)	$\text{mg L}^{-1}$	0,02
Nitrogênio Amoniacal (N - $\text{NH}_3$ )	$\text{mg L}^{-1}$	0,5
Sódio ( $\text{Na}^+$ )	$\text{mg L}^{-1}$	31
<b>Potássio (<math>\text{K}^+</math>)</b>	<b><math>\text{mg L}^{-1}</math></b>	<b>3,7</b>
Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	$\text{mg L}^{-1}$	56,4
Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	$\text{mg L}^{-1}$	3,7
Ferro (Fe)	$\text{mg L}^{-1}$	0
Cobre (Cu)	$\text{mg L}^{-1}$	0,01
Manganês (Mn)	$\text{mg L}^{-1}$	0,06
Zinco (Zn)	$\text{mg L}^{-1}$	0,16
Cor Aparente	PtCo	0
Turbidez	FTU	0
Sedimentos em suspensão	$\text{mg L}^{-1}$	6,3
Condutividade elétrica (CE)	$\text{mS cm}^{-1}$	0,35
pH		7,5
Gás Carbônico ( $\text{CO}_2$ )	$\text{mg L}^{-1}$	1,2
Acidez ( $\text{CaCO}_3$ )	$\text{mg L}^{-1}$	14,3
Dureza Total* ( $\text{CaCO}_3$ )	$\text{mg L}^{-1}$	156,5

Franson (1995):  $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + 4,118 [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$

Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater.

American Public Health Association, Washington, 19o. Edição, 1995.

ANEXO C - Programação utilizada para estimativa dos parâmetros  $b$  e  $SL$  do modelo de Maas e Hoffman (1977) e resultado encontrado no software SAS

**Exemplo da Programação aplicada ao Experimento IV:**

The screenshot shows the SAS software interface with the following content:

```

SAS - [ToleraQUATRO]
File Edit View Tools Run Solutions Window Help
[ ] data ToleraQUATRO;
  input
  CE TRAT $ MFPAg MFPA MSPAg MSPA;
  cards;
  3.43 T1 322.97 89.85 14.07 87.66
  4.51 T2 296.85 82.58 13.75 85.67
  5.44 T3 311.41 86.63 14.09 87.79
  6.43 T4 235.56 65.53 11.81 73.58
  7.39 T5 234.11 65.13 12.01 74.83
  8.50 T6 173.89 48.38 9.23 57.51
  9.20 T7 158.16 44.00 8.92 55.58
  ;
[ ] proc nlin data=ToleraQUATRO;
  model MFPA=100-b*(CE-SL);
  parms b=6
        SL=2;
  run;
[ ] proc nlin data=ToleraQUATRO;
  model MSPA=100-b*(CE-SL);
  parms b=6
        SL=2;
  run;
  
```

**Resultados:**

The SAS System  
 The NLIN Procedure  
 Iterative Phase  
**Dependent Variable MFPA**  
 Method: Gauss-Newton

Iter	b	SL	Sum of Squares
0	6.0000	2.0000	452.6
1	8.3536	2.9578	190.3
2	8.3536	2.6879	154.7

NOTE: Convergence criterion met.

## Estimation Summary

Method	Gauss-Newton
Iterations	2
R	0
PPC	0
RPC(SL)	0.091235
Object	0.186945
Objective	154.7092
Observations Read	7
Observations Used	7
Observations Missing	0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	2	35055.2	17527.6	59.86	0.0006
Residual	5	154.7	30.9418		
Uncorrected Total	7	35210.0			
Corrected Total	6	2007.0			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits
<b>b</b>	<b>8.3536</b>	1.0797	5.5783 11.1289
<b>SL</b>	<b>2.6879</b>	0.5434	1.2911 4.0848

## Approximate Correlation Matrix

	b	SL
b	1.0000000	0.8862797
SL	0.8862797	1.0000000

The SAS System  
 The NLIN Procedure  
 Iterative Phase  
**Dependent Variable MSPA**  
 Method: Gauss-Newton

Iter	b	SL	Sum of Squares
0	6.0000	2.0000	150.8
1	6.0777	2.2481	141.5
2	6.0777	2.2449	141.5

NOTE: Convergence criterion met.

## Estimation Summary

Method	Gauss-Newton
Iterations	2

R 0  
 PPC 0  
 RPC(SL) 0.00141  
 Object 0.000018  
 Objective 141.4896  
 Observations Read 7  
 Observations Used 7  
 Observations Missing 0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Approx Pr > F
Regression	2	39999.3	19999.7	34.65	0.0020
Residual	5	141.5	28.2979		
Uncorrected Total	7	40140.8			
Corrected Total	6	1122.0			

Parameter	Estimate	Approx Std Error	Approximate 95% Confidence Limits	
<b>b</b>	<b>6.0777</b>	1.0325	3.4236	8.7318
<b>SL</b>	<b>2.2449</b>	0.7818	0.2354	4.2545

Approximate Correlation Matrix

	b	SL
b	1.000000	0.9060489
SL	0.9060489	1.000000

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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