

ANDRÉ NUNES LOULA TÔRRES

CRITÉRIOS PARA MANUTENÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CULTIVO
HIDROPÔNICO DE ALFACE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

ANDRÉ NUNES LOULA TÔRRES

CRITÉRIOS PARA MANUTENÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CULTIVO
HIDROPÔNICO DE ALFACE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA EM: 17 de dezembro de 2003.

Prof. Herminia Emilia Prieto Martinez
(Conselheira)

Prof. Roberto de Aquino Leite
(Conselheiro)

Dra. Maria Aparecida N. Sedyama

Prof. José Cambraia

Prof. Paulo Roberto Gomes Pereira
(Orientador)

A Deus, a essência da vida.

Aos meus pais Jonas e Lecy, cujo amor me eleva a cada instante.

Aos meus avós Arnóbio e Antônia (*in memoriam*) e Joaquim e Laurinda.

À minha irmã Ana Karine e à minha sobrinha Ana Beatriz.

À minha companheira Gisele.

PRIMEIRA CARTA DE SÃO PAULO AOS CORÍNTIOS (Capítulo 13:1-3)

(presente para Jonas e Lecy)

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos,
E não tivesse amor,
Seria como o metal que soa ou como o sino que tine.

E ainda que tivesse o dom da profecia,
E conhecesse todos os mistérios e toda a ciência,
E ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes,
E não tivesse caridade, nada seria.

E ainda que distribuísse toda a minha fortuna para o sustento dos pobres,
E ainda que entregasse o meu corpo para ser queimado,
E não tivesse humildade, nada disso me aproveitaria.

(Bíblia Sagrada).

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, em toda a sua excelência, pela oportunidade e por acolher-me tão bem.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

Ao Professor Paulo Roberto Gomes Pereira, pela orientação desde a graduação e, principalmente, pela amizade.

Aos Professores Herminia Martinez e Roberto de Aquino, pelas valiosas sugestões, que muito contribuíram para o engrandecimento deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia, em especial a Robert Barreto, Marcelo Picanço e Derly.

À minha noiva Gisele Andrade, pela paciência, pela amizade, pelo amor, por ter ficado sempre ao meu lado nos momentos difíceis e, principalmente, por me amar profundamente.

A todos os meus familiares, em especial ao meu primo César (*in memoriam*), cuja passagem pela vida foi de intensa bondade, amor e Luz.

Aos meus amigos de Santa Catarina, especialmente os da EPAGRI, pela convivência.

A todos os meus amigos, em especial a Zé Luciano, Marlon Dutra, Douglas Souza, Leonardo Campos, Raunira, Zé Roberto, Max Emanuel, Joaldo, Evandro, Marcílio, Francisco Madson, Fábio Reis, Jorge Bittencurt, Carlos Francisco, Eduardo Melo e Rogério Rocha, aqueles sempre presentes e os que já estão em outro plano, pelo companheirismo.

BIOGRAFIA

ANDRÉ NUNES LOULA TÔRRES, filho de Jonas Trajano Tôrres e Dourilé Nunes Loula Tôrres, nasceu em 19 de maio de 1974, em Vitória da Conquista, Bahia.

Em 1991, formou-se no curso de língua Inglesa pela Escola Baiana de Expansão Cultural, em Salvador, BA.

Em julho de 1997, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em agosto de 1997, iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia na UFV, concluindo-o em 11 de agosto de 1999.

Em setembro de 1999, ingressou no Curso de Doutorado em Fitotecnia dessa mesma Universidade, submetendo-se à defesa de tese em 17 de dezembro de 2003.

Atualmente, trabalha como pesquisador científico da EPAGRI, em Santa Catarina.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1	3
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E COMPOSIÇÃO MINERAL DA ALFACE CULTIVADA EM SOLUÇÕES NUTRITIVAS COM DIFERENTES CONDUTIVIDADES ELÉTRICAS.....	3
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Hidroponia.....	5
2.2. Composição, condutividade elétrica e manejo da solução nutritiva.....	6
2.3. Efeito da força da solução nutritiva sobre as plantas.....	8
2.3.1. Características gerais.....	8
2.3.2. Efeitos fisiológicos e bioquímicos da salinidade	10
2.4. Problema ambiental	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Considerações gerais.....	13
3.2. Solução nutritiva.....	14

	Página
3.3. Condução do experimento	15
3.4. Caracterização do ambiente	17
3.4.1. Ambiente interno	17
3.4.1.1. Dados coletados	17
3.4.1.2. Dados calculados.....	18
3.4.2. Ambiente externo	19
3.4.2.1. Caracterização geral	19
3.4.2.2. Caracterização do ambiente durante o experimento	19
3.5. Características avaliadas	19
3.6. Avaliações na solução	21
3.7. Análise estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Produção.....	22
4.1.1. Matéria fresca	22
4.1.2. Matéria seca.....	25
4.2. Características de crescimento	26
4.2.1. Área foliar.....	26
4.2.2. Número de folhas.....	28
4.2.3. Comprimento do caule	29
4.2.4. Diâmetro do caule	29
4.2.5. Volume de raiz	29
4.3. Teor e conteúdo de nutrientes nas plantas.....	31
4.3.1. Macronutrientes	31
4.3.2. Micronutrientes.....	38
4.4. Composição mineral da solução	45
4.4.1. Macronutrientes	45
4.4.2. Micronutrientes.....	54
4.5. Consumo de solução, pH e condutividade elétrica	58
4.5.1. Consumo de solução nutritiva.....	58
4.5.2. pH.....	60
4.5.3. Condutividade elétrica.....	61
5. RESUMO E CONCLUSÕES	63

	Página
CAPÍTULO 2	65
CRITÉRIOS PARA REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES À SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO DE ALFACE, BASEADOS EM MODELOS PREDITIVOS	65
1. INTRODUÇÃO	65
2. REVISÃO DE LITERATURA	67
2.1. Técnicas de manejo da solução nutritiva	67
2.2. Modelos.....	72
2.2.1. Modelo como um critério de reposição de solução nutritiva ..	73
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3.1. Considerações gerais.....	74
3.2. Análise estatística	74
3.2.1. Modelos matemáticos (equações preditivas)	74
3.2.2. Modelos matemáticos (conversões de variáveis).....	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1. Modelos preditivos do conteúdo de nutrientes baseados na absorção pelas plantas	78
4.1.1. Estimativa da absorção de nutrientes pelas plantas	78
4.2. Modelos preditivos do conteúdo de nutrientes baseados na depleção dos nutrientes da solução	88
4.2.1. Estimativa dos nutrientes extraídos da solução	88
4.3. Comparações entre os modelos preditivos	94
4.3.1. Absorção pela planta X extraído da solução.....	94
4.3.2. Tipo de variável para compor o modelo (MF X MS X consumo de solução)	95
4.4. Comparações dos modelos preditivos com outros métodos.....	95
5. RESUMO E CONCLUSÕES	97
RESUMO E CONCLUSÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

RESUMO

TÔRRES, André Nunes Loula, D. S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2003. **Critérios para manutenção da solução nutritiva no cultivo hidropônico de alface.** Orientador: Paulo Roberto Gomes Pereira. Conselheiros: Herminia Emilia Prieto Martinez, Roberto de Aquino Leite e Mário Puiatti.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o crescimento e o acúmulo de massa verde e de massa seca, bem como a composição mineral de alface cultivada em hidroponia; analisar a depleção dos nutrientes nas soluções nutritivas; e elaborar um critério de reposição de nutrientes baseado em modelos estatísticos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do DFT/UFV, em Viçosa, MG, em vasos aerados contendo 10 litros de solução de STEINER (1980) modificada, usando-se o cultivar Regina. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 5, em que o primeiro fator correspondeu aos valores de condutividade elétrica (CE) da solução inicial (0,9; 1,9; 2,9; 3,9; e 4,9 dS/m) e o segundo, às diferentes idades da alface após o transplante (8, 16, 24, 30 e 34 dias após o transplante – DAT), com três repetições. As características avaliadas foram peso de matéria fresca da planta (MF), peso de matéria seca da planta (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), volume de raízes (VR), composição mineral da planta (N-NO₃⁻, N-Orgânico, P,

K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B e Na) e composição mineral da solução (N-NO_3^- , N-NH_4^+ , P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B e Na). Avaliaram-se, ainda, o consumo de solução (CS) das plantas e o pH e CE da solução. Os dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, ajustados a diversos modelos (regressão múltipla), escolhendo-se os de melhor ajuste. As CE 2,9; 2,8; 3,0; 2,8; 3,1; 2,5; e 2,7 dS/m proporcionaram os melhores valores de peso de MF, MS, AF, NF, CC, DC e VR, respectivamente. A última colheita, realizada aos 34 DAT, proporcionou os melhores resultados de produção e crescimento. Para todas as variáveis de crescimento estudadas foram obtidas respostas quadráticas, à medida que aumentava a CE das soluções. Os pesos de MF, AF, CC, DC e VR ajustaram-se a modelos lineares de regressão, em função do aumento da idade da planta. Já o peso da MS e NF apresentou respostas quadráticas em função do aumento da idade da planta. Os conteúdos de N, P, K, Ca, S, Cu, Fe, Zn e Na nas plantas se ajustaram bem a um modelo quadrático em razão da elevação dos níveis da CE. Entretanto, os conteúdos de Mg, Mn e B nas plantas traduziram-se numa relação linear positiva com o incremento dos níveis de CE na solução nutritiva. Os conteúdos de P, Ca, Cu e Fe nas plantas apresentaram resposta quadrática em virtude da elevação do conteúdo de matéria seca, todavia os conteúdos de N, K, Mg, S, Mn, Zn, B e Na traduziram-se numa relação linear positiva com o incremento do conteúdo de matéria seca das plantas, que não exibiram sintoma visual de deficiência nutricional. O consumo de solução nutritiva ajustou-se de maneira linear crescente em relação ao aumento de tempo entre o plantio e a colheita e quadrática em relação ao incremento dos níveis da CE. O consumo máximo de solução foi de 3,17 litros/planta, obtidos aos 34 DAT, com a CE de 2,6 dS/m. O tratamento 1,9 dS/m mostrou-se o mais equilibrado, tendo pouca variação de pH. O tratamento que teve as maiores variações na CE foi o 0,9 dS/m. Foram criados modelos estatísticos (baseados em CE e MS, CE e MF e CE e CS) capazes de prever a absorção dos nutrientes pelas plantas e, portanto, servir como um critério de reposição de nutrientes em soluções hidropônicas.

ABSTRACT

TÔRRES, André Nunes Loula, D. S., Universidade Federal de Viçosa, December 2003. **Criteria for maintenance of hidroponic solution in lettuce.** Adviser: Paulo Roberto Gomes Pereira. Committee Members: Herminia Emilia Prieto Martinez, Roberto de Aquino Leite and Mário Puiatti.

The objectives of this work were to evaluate the growth, fresh matter accumulation, dry matter accumulation and mineral composition of lettuce in hidroponic system. Evaluate the nutrients depletion in nutritive solutions and develop a nutrients replacement criteria based on statistical models. The experiment was carried out in a greenhouse in Viçosa-MG, in pots with 10 liters of aerate nutritive solution. The experimental design was of randomized complete blocks, with three repetitions, and arranged in a 5 X 5 factorial scheme, where the first factor corresponded to electric conductivities (CE) levels (0,9; 1,9; 2,9; 3,9 and 4,9 dS/m), and the second factor was the age of lettuce after transplanting (8; 16; 24; 30 e 34 days after transplanting – DAT). The evaluated characteristics were weight of fresh matter (MF), dry matter weight (MS), foliar area (AF), number of leaves (NF), length of the stem (CC), diameter of the stem (DC), roots volume (VR), mineral composition of plants (N-NO₃⁻, N-Organic, P, K, CA, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B and Na) and mineral composition of the solution (N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, B and Na). Volume utilization by plants, pH and CE of nutritive solution were

also evaluated. Statistical models (multiple regression), were adjusted and the best ones adopted. The CE 2,9; 2,8; 3,0; 2,8; 3,1; 2,5 and 2,7 dS/m, provided the best values of MF's weight, weight of MS, AF, NF, CC, DC and VR, respectively. The last harvest had the best results of production and growth. All the variables of growth increased in a quadratic model, with increases in the CE of the nutritive solution. MF's Weight, AF, CC, DC and VR were well described on a linear model, in function of increases on plant's age. On the other hand, MS's Weight and NF fitted well on a quadratic regression in function of increases on age of plants. Contents of N, P, K, CA, S, Cu, Fe, Zn and Na adjusted well on a quadratic model in function of elevation of the levels of CE, however, the content of Mg, Mn and B fitted on a positive linear regression, in function of increment of levels of nutritive solution's CE. The contents of N, K, Mg, S, Mn, Zn, B and Na in plants increased linearly, in proportion to the increase in CE levels, however, the contents of P, Ca, Cu and Fe were well described on a linear model, as function of plants dry matter's levels. It was not observed visual symptom of nutritional deficiency during the experiment. The consumption of nutritive solution was adjusted linearly as function of plant's age and fitted well on a quadratic regression in proportion to the increase in CE's Levels. The maximum consumption of solution was 3,17 liters/plant, obtained at 34 DAT, with of 2,6 dS/m. It was observed that treatment 1,9 dS/m showed little pH variation. The treatment 0,9 dS/m had the biggest variations in the CE. Statistical models (based on CE and MS; CE and MF; CE and CS) were created able to predict the absorption of nutrients by the plants and, therefore these models can be used like a new nutrient replacement criterion in hidroponic systems.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a adoção de técnicas eficientes de cultivo vem proporcionando à olericultura brasileira um incremento substancial tanto em qualidade quanto em produção. Dentre tais técnicas, destaca-se a hidroponia, por otimizar a interação entre os fatores que influenciam o crescimento, desenvolvimento e composição das plantas.

A hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas em que os elementos essenciais exigidos pela cultura são fornecidos por meio de solução nutritiva. Essa técnica tem sido usada com sucesso para a produção de hortaliças, devido às suas vantagens como diminuição da mão-de-obra e maior facilidade e efetividade de emprego das técnicas de prevenção fitossanitária. Como resultado final, observaram-se menor incidência de patógenos e pragas, maior rendimento por área, melhor qualidade do produto, melhor programação de produção, melhor aproveitamento dos nutrientes, maior facilidade de execução dos tratos culturais e ciclos mais curtos (PEIL et al., 1994; CASTELANE e ARAUJO, 1995).

Muitas pesquisas foram desenvolvidas no sentido de elucidar dúvidas existentes sobre qual a melhor maneira de manejar a solução nutritiva, porém poucas são as informações disponíveis em relação aos critérios para sua renovação.

O manejo eficiente da solução nutritiva proporciona economia de água, nutrientes e mão-de-obra, bem como reduz a poluição do ambiente, já que

soluções desequilibradas são descartadas diretamente no solo, em lagos ou rios.

Portanto, o monitoramento periódico do estado nutricional da cultura e da concentração dos nutrientes na solução nutritiva faz-se necessário, para um controle eficiente dos recursos empregados em hidroponia, tanto no que se refere à produção e qualidade das plantas quanto à contaminação do ambiente.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E COMPOSIÇÃO MINERAL DA ALFACE CULTIVADA EM SOLUÇÕES NUTRITIVAS COM DIFERENTES CONDUTIVIDADES ELÉTRICAS

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.), da família asteraceae, é uma das hortaliças mais populares em todo o mundo, devido à facilidade de produção, ciclo muito rápido e grande adaptação às mais diversas regiões do planeta. No Brasil é considerada a hortaliça folhosa mais importante, tendo o entreposto comercial de São Paulo (CEAGESP) comercializado, no ano 2000, um volume de 20 mil toneladas (AGRIANUAL, 2001).

O cultivo hidropônico tem se constituído numa prática eficiente para o cultivo de produtos hortícolas, pois é um método que permite um bom controle do crescimento e desenvolvimento das plantas. No Brasil, o aumento do cultivo comercial em ambiente protegido tem sido um estímulo adicional ao desenvolvimento do cultivo hidropônico como alternativa ao cultivo tradicional no solo, sendo usado especialmente na produção de alface e tomate, seguida do pimentão e pepino. O cultivo de morango e melão também é feito, porém em menor escala (MARTINEZ, 1997).

O crescimento da planta cultivada ocorre, entre outras coisas, em função da quantidade e proporção dos nutrientes que são absorvidos, porém não existe uma solução nutritiva que seja sempre superior às outras, no que diz respeito à sua composição (MARTINEZ, 1997). Soluções nutritivas mais concentradas permitem maior intervalo entre trocas da solução, representando economia de mão-de-obra. Contudo, soluções muito concentradas podem apresentar redução excessiva do potencial osmótico ou causar toxidez de algum nutriente, resultando em prejuízos na produção.

A composição da solução varia conforme a absorção de nutrientes pelas plantas, o desenvolvimento e composição mineral da planta e o volume de solução por planta. A variação ocorre não só por diminuição nas quantidades dos nutrientes presentes, mas também pela alteração na proporção entre eles, uma vez que as plantas absorvem proporções diferenciadas dos nutrientes à medida que crescem.

A manutenção de um meio favorável ao desenvolvimento das plantas inicia-se com a escolha da solução apropriada, seguida de um controle contínuo desta, que determinará a necessidade de adição de sais, o ajuste de pH e a substituição periódica de toda a solução.

O objetivo deste capítulo foi avaliar o crescimento, características agronômicas e composição mineral da alface cultivada em soluções com diferentes condutividades elétricas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Hidroponia

A maioria das plantas tem o solo como o meio natural para o crescimento do sistema radicular, encontrando nele o seu suporte, fonte de água, ar e minerais necessários para a sua nutrição e crescimento. As técnicas de cultivo sem solo substituem esse meio natural por outro substrato natural ou artificial, sólido ou líquido, que possa proporcionar à planta aquilo que, de forma natural, ela encontra no solo (CANOVAS MARTINEZ, 1991).

Em geral, dá-se o nome de cultivos hidropônicos àqueles em que a nutrição das plantas é feita por meio de uma solução aquosa que contém todos os elementos essenciais ao crescimento em quantidades e proporções definidas e isentas de quantidades elevadas de elementos potencialmente tóxicos (MARTINEZ, 1999). Segundo Jones Jr. (1982), citado por CASTELLANE e ARAÚJO (1995), o termo hidropônico (hydro-água+ponos-trabalho) é relativamente novo, tendo sido utilizado pela primeira vez em 1930, pelo Dr. W. F. Gerike, na Universidade da Califórnia ("hydroponics"). Esse pesquisador foi quem popularizou o cultivo das plantas na ausência de solo.

O cultivo comercial de hortaliças e plantas ornamentais, usando técnicas de hidroponia, é de introdução recente no país e vem-se expandindo rapidamente nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde as terras agricultáveis são escassas e caras e há grande demanda por produtos

hortícolas. Em tais regiões, a produção de hortaliças é realizada, em sua maior parte, sob cultivo protegido, caso em que o cultivo hidropônico se apresenta como alternativa vantajosa (MARTINEZ, 1999).

O uso da hidroponia em ambientes protegidos possibilita elevar a produção em até três vezes, aumentar o número de colheitas por ano, sem a necessidade de rotação de cultura, reduzir gastos com inseticidas e fungicidas e obter produtos de qualidade comercial superior (MORGAN e TAN, 1983; JENSEN e COLLINS, 1985; CASTELLANE e ARAUJO, 1995). Ainda segundo MARTINEZ (1997), a produção em casa de vegetação sob cultivo hidropônico apresenta como vantagens a possibilidade de aproveitamento do espaço vertical; maior facilidade de execução dos tratos culturais; melhor programação da produção; ciclos mais curtos, em decorrência do melhor controle ambiental; e eliminação e controle de perdas por lixiviação e escoamento, resultando inclusive no uso mais racional dos fertilizantes. Como desvantagens, devem-se considerar o custo e o alto nível tecnológico exigido por esse sistema.

2.2. Composição, condutividade elétrica e manejo da solução nutritiva

Não existe uma solução nutritiva ideal para todas as culturas. A composição da solução nutritiva varia com uma série de fatores, como: espécie da planta cultivada, idade da planta, fatores ambientais (temperatura, umidade, luminosidade) etc. Existem diversas sugestões de soluções nutritivas para hortaliças folhosas, com diferenças maiores nas concentrações dos macronutrientes e menores nas dos micronutrientes (FAQUIN e FURLANI, 1999).

Segundo BARRY (1996), de maneira geral as concentrações de nutrientes nas soluções nutritivas apresentam-se nas seguintes faixas (mg/L): N (70-250), P (15-80), K (150-400), Ca (70-200), Mg (15-80), S (20-200), Fe (0,8-6), Mn (0,5-2), B (0,1-0,6), Cu (0,05-0,3), Zn (0,1-0,5) e Mo (0,05-0,15).

Vários estudos já foram feitos com pressão osmótica (PO) das soluções nutritivas. Tottingham (1914), citado por HEWITT (1966), trabalhando com trigo, concluiu que 2,5 atmosferas era a PO ótima. Segundo HEWITT (1966), em média os valores de PO ótima para diversas culturas eram de 0,8 a 1,5 atm. Valores muito baixos de pressão osmótica refletem baixa

concentração de sais na solução, o que prejudica a absorção e posterior produção da planta.

Quanto maior a PO da solução, maior a disponibilidade de nutrientes para as plantas e, conseqüentemente, menor a necessidade de repor nutrientes à solução. Elevadas concentrações da solução inicial resultam em trocas menos freqüentes, proporcionando economia de mão-de-obra e eficiência na operacionalidade do sistema. Contudo, a alta concentração salina pode se tornar um problema para as plantas e para o ambiente.

A manutenção de um meio favorável ao crescimento das plantas depende da escolha e preparo de uma solução adequada no momento do plantio e da manutenção ou ajuste dessa solução à medida que as plantas se desenvolvem (MARTINEZ, 1999). Grande parte das soluções nutritivas não tem capacidade-tampão; dessa forma, o pH varia continuamente, não se mantendo dentro de uma faixa ideal, e variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas para o crescimento das plantas (FURLANI et al., 1999). Entretanto, valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares, e valores superiores a 6,5 exigem atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn. Assim, é necessário monitorar a solução nutritiva continuamente, corrigindo-se sempre que necessário o volume de água, o pH e a concentração de nutrientes (MARTINEZ, 1999).

Como regra geral, toda água própria para beber ou para ser utilizada na irrigação de estufas pode ser usada em hidroponia. Há de se considerar, contudo, que sua condutividade elétrica tem que ser inferior a 0,5 dS/m e com uma concentração total de sais inferior a 350 mg/kg (HANGER, 1986). A manutenção do volume do reservatório que contém a solução nutritiva deve ser freqüente. As plantas absorvem proporcionalmente mais água que nutrientes e, se a reposição do volume gasto for realizada com solução nutritiva, haverá um gradual aumento na pressão osmótica a que as raízes estão submetidas (MARTINEZ, 1999).

A condutividade elétrica (CE) fornece informações sobre a concentração de sais na água ou solução nutritiva, mas não informa sobre as concentrações individuais dos nutrientes, sendo pouco afetada pelas concentrações de micronutrientes (RESH, 1987). Para se terem informações sobre as

concentrações dos nutrientes, análises químicas periódicas em laboratório ou com eletrodos seletivos são necessárias.

Segundo BENOIT (1987), o morangueiro está entre as culturas mais sensíveis à salinidade. Para essa cultura, a condutividade deve estar entre 1,5 e 2,0 mS/cm. No caso da alface, poderá atingir até 2,5, enquanto no do tomateiro, até 4,0 mS/cm. A condutividade varia com a formulação empregada e, também, com os fertilizantes usados.

Um critério utilizado para a renovação da solução é baseado na condutividade elétrica. Segundo esse critério, a condutividade elétrica inicial deve ser restaurada pela adição de nutrientes sempre que haja uma queda de 30 a 50% da concentração inicial. Se a condutividade observada for 50% da concentração inicial, adiciona-se a metade da quantidade de fertilizantes utilizada inicialmente. Observa-se que, quanto maior a constância da concentração, melhor o desenvolvimento e crescimento das plantas. Depleções maiores podem ser atingidas quando se quer fazer a renovação da solução (MARTINEZ, 1999).

2.3. Efeito da força da solução nutritiva sobre as plantas

2.3.1. Características gerais

A tolerância das culturas ao estresse salino pode ser definida, em termos de produção comercial, como a capacidade da planta em suportar os efeitos dos níveis elevados de sal, sem a ocorrência de perdas significativas de seus rendimentos, em comparação com aqueles obtidos em condições não-salinas (MAAS, 1990).

O acúmulo de sais na rizosfera e a conseqüente redução do potencial osmótico abaixo de determinados valores, conforme características próprias das espécies ou variedades de plantas, impõem um estresse hídrico à cultura, podendo conduzi-la a um decréscimo de produtividade e, em casos severos, ao colapso da produção.

Os efeitos imediatos da salinidade sobre os vegetais, segundo TAIZ e ZEIGER (1998), são: seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial

osmótico; desbalanceamento nutricional, devido à elevada concentração iônica, inibindo a absorção de outros nutrientes; e efeito tóxico de íons.

Além de perdas no rendimento, a salinidade pode provocar mudanças na composição química dos produtos e interferência de natureza estética, como aparência, cor e dimensões do produto (RHOADES et al., 1992). Essas características assumem grande importância no momento de seleção dos produtos para comercialização, especialmente quando se trata de mercado hidropônico, que é mais exigente.

É importante observar que os dados de redução de rendimentos em função da salinidade não são absolutos, uma vez que muitos fatores interagem na definição da tolerância das plantas ao estresse salino. Os mais importantes são a composição e os níveis dos sais presentes, as condições climáticas, o estágio de desenvolvimento, a variedade utilizada, as condições de manejo, o método e a frequência de irrigação e a fertilidade do meio (MASS, 1990).

Normalmente, a concentração de solutos nas células radiculares é maior do que no lado externo, e essa diferença permite livre movimento de água para o sistema radicular das plantas. Mas, quando a salinidade do lado externo aumenta, o potencial osmótico e, conseqüentemente, o potencial hídrico do solo diminuem, reduzindo a disponibilidade de água para a planta (TAIZ e ZEIGER, 1998).

Com a diminuição da disponibilidade e absorção de água, a pressão radicular e a transpiração responsável pelo transporte de solutos via xilema também diminui. Assim, não só a taxa de suprimento de água, mas também a de nutrientes para a parte aérea, fica prejudicada, resultando em menor crescimento das plantas (MARSCHNER, 1995). Tais efeitos da salinidade na produção de plantas são semelhantes aos do déficit hídrico no solo causado pelos baixos teores de água (TAIZ e ZEIGER, 1998).

De acordo com MAAS (1990), o clima é o fator de maior importância na resposta das plantas à salinidade. Segundo ele, estudos envolvendo diversas culturas, incluindo alfafa, feijão, algodão, cebola, beterraba, cenoura e tomate, entre outras, evidenciaram que a queda de rendimento dessas culturas foi muito mais pronunciada quando elas foram cultivadas em condições de altas temperaturas. Em relação à umidade relativa (UR), esse mesmo autor afirmou

que experimentos com feijão, milho e algodão indicaram que essas culturas foram mais sensíveis aos sais, em condições de baixa UR.

Toxicidade e salinidade são problemas diferentes. A primeira é um problema que ocorre internamente na planta e não é provocado pela falta de água. Normalmente, a toxicidade origina-se quando certos cátions, absorvidos pela planta, são acumulados nas folhas durante a transpiração, em quantidades suficientes para causar danos. Isso pode reduzir significativamente os rendimentos das culturas, e sua magnitude depende do tempo, da concentração dos íons, da sensibilidade das plantas e do uso de água pelas culturas.

Em condições não-salinas, o citossol de células de plantas superiores contém de 100 a 200 mmol L⁻¹ de K⁺ e de 1 a 10 mmol L⁻¹ de Na⁺, ambiente em que as enzimas têm funcionalidade perfeita. Altas concentrações de sais inativam enzimas e inibem a síntese protéica (TAIZ e ZEIGER, 1998).

O boro é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo necessário em quantidades relativamente pequenas, no entanto se torna tóxico quando ultrapassa tais níveis. Em algumas culturas, se o nível adequado de boro na água é de 0,2 mg L⁻¹, as concentrações entre 1 e 2 mg L⁻¹ podem ser tóxicas (AYERS e WESTCOT, 1999).

2.3.2. Efeitos fisiológicos e bioquímicos da salinidade

Freqüentemente, verifica-se correlação do alto nível salino com sintomas específicos, como queima das folhas e clorose. As folhas das plantas podem ficar com coloração verde mais escura quando comparadas com plantas-controle. É muito comum as folhas de dicotiledôneas tornarem-se suculentas, isto é, ocorre aumento no conteúdo de água por área foliar. Geralmente há maior diminuição no crescimento da parte aérea do que do sistema radicular (MARSCHNER, 1995).

Segundo MUNNS et al. (1982), o crescimento pode ser afetado, predominantemente, por deficiência hídrica ou por toxidez de íons, e nesses casos dependerá do tipo de íons envolvidos, da duração da exposição e do nível de salinidade. Em plantas expostas por breve período, a deficiência hídrica é o que mais afeta o crescimento da planta; porém, em plantas

expostas por longos períodos de tempo, além da deficiência hídrica, especialmente nas folhas em expansão, a toxidez dos íons e o desequilíbrio nutricional podem ser extremamente importantes.

De acordo com ROBINSON e PITMAN (1983), após longo tempo de exposição a altos níveis salinos, baixas taxas fotossintéticas podem também ser causadas pela queda no conteúdo de clorofila por unidade de área foliar, porém não por unidade de peso da clorofila, indicando que a clorofila remanescente é ativa total e fotossinteticamente.

O nível de salinidade e a área foliar são, normalmente, inversamente relacionados. Não somente a área foliar total, mas também a fixação de CO₂ por unidade de área foliar, pode diminuir, enquanto a respiração aumenta, levando a uma drástica redução na assimilação líquida por unidade de área foliar por dia. Menores taxas de fixação de CO₂ durante o período luminoso podem causar déficit de água e fechamento parcial dos estômatos e perda de turgescência das células do mesófilo, através da acumulação de sais no apoplasto ou dos efeitos tóxicos diretos de íons (MARSCHNER, 1995).

A salinidade pode aumentar também a taxa de respiração das raízes, que têm alto requerimento de carboidratos para manutenção da respiração em substratos salinos (SCHWARZ e GALE, 1981). Esse maior requerimento, presumidamente, resulta da compartimentalização, secreção dos íons (bomba de efluxo de Na⁺), ou reparo de danos celulares. Aumento na concentração do CO₂ atmosférico acima dos níveis normais pode elevar as taxas de fotossíntese e, assim, apresentar um papel importante dentro de condições salinas. Similarmente, alta irradiância pode também aumentar a tolerância aos sais.

Em certas espécies tolerantes aos sais, a respiração das raízes aumenta, mesmo em substrato salino, e os carboidratos anteriormente usados na “respiração alternativa” são também na síntese de sorbitol, um soluto orgânico compatível para adaptação osmótica no citoplasma (LAMBERS et al., 1981).

A síntese de proteínas nas folhas de plantas crescendo em substratos salinos pode diminuir em resposta tanto ao déficit hídrico quanto à toxicidade específica de íons (MARSCHNER, 1995).

Mudanças nos níveis de fitormônios estão associadas com respostas das plantas à salinidade. Tipicamente, níveis de citocininas decrescem enquanto o nível de ácido abscísico aumenta em resposta à salinidade, assim como em resposta ao estresse hídrico. Elevados níveis de ABA são importantes para o rápido ajustamento osmótico, tanto em células individuais quanto em plantas intactas. Esses altos níveis de ABA também favorecem o acúmulo de aminoácidos de modo geral, principalmente prolina, que melhoram a adaptação à salinidade (Eder e Huber, 1977, citados por MARSCHNER, 1995).

2.4. Problema ambiental

NAIDU e RENGASAMY (1995) afirmaram que os principais problemas causados pela salinidade ao meio ambiente são a perda de recursos naturais e a poluição dos cursos d'água por nutrientes.

Soluções salinas quando descartadas no meio ambiente provocam alterações nas propriedades físico-químicas do solo, degradando sua estrutura (baixa mobilidade de íons, transporte restrito de água, adensamento do solo, condições de anoxia ou subanoxia, erosão do solo), resultando na perda da sua capacidade produtiva (RHOADES et al., 1992; NAIDU e RENGASAMY, 1995).

O acúmulo de sais na rizosfera prejudica o crescimento e o desenvolvimento das culturas, provocando decréscimo de produtividade, o que pode, muitas vezes, inviabilizar a produção agrícola. Isso ocorre em razão da queda no potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração nas condições físicas e químicas do solo.

A salinização do ambiente influencia a disponibilidade interna da água na planta, devido à redução do potencial osmótico, podendo causar toxidez por excesso de íons e inibição da absorção de água e nutrientes, como o N, P, K e Ca (GREENWAY e MUNNS, 1980; SILVA, 1996).

Após a sua utilização na hidroponia, as soluções nutritivas são, muitas vezes, descartadas no solo ou nos cursos d'água, contribuindo, dessa maneira, para a poluição do ambiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Considerações gerais

O presente trabalho foi realizado em casa de vegetação, no período de julho a setembro de 2001, utilizando-se a alface cv. Regina 440, classificada como lisa e sem cabeça. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 5 (cinco condutividades elétricas da solução nutritiva inicial: $C_1=0,9$; $C_2=1,9$; $C_3=2,9$; $C_4=3,9$; e $C_5=4,9$ dS/m; efetuando-se cinco colheitas nos seguintes DAT (dias após o transplântio): $D_1=8$, $D_2=16$, $D_3=24$, $D_4=30$ e $D_5=34$ DAT), com três repetições.

A alface foi semeada no dia 13/07/2001, em 500 copos de volume de 50 mL e furados na base. Empregaram-se vermiculita como substrato e solução de Steiner à meia força para produzir as mudas. Foram colocadas cinco sementes por copinho, e, aos 15 dias após a semeadura, efetuou-se o desbaste das mudas, deixando apenas uma por copo.

Aos 35 dias após a semeadura, quando as mudas atingiram o estágio de quatro folhas definitivas, elas foram transplantadas para vasos plásticos de 50 x 15 x 15 cm contendo 10 litros de solução nutritiva (aerada) tampados com placas de isopor revestidas de papel-alumínio e perfuradas para dar suporte aos copos. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com quatro plantas.

Os vasos foram revestidos internamente com sacos plásticos para evitar vazamentos. Utilizaram-se soluções previamente preparadas com fertilizantes

comerciais, as quais foram aeradas continuamente com o uso de ar comprimido.

3.2. Solução nutritiva

As condutividades elétricas das soluções foram resultantes da combinação da solução de Steiner (STEINER, 1984) modificada, em diferentes forças, acrescida de 0,786 g.L⁻¹ de superfosfato simples e 0,5 g.L⁻¹ de carbonato de cálcio (CaCO₃), para tamponar o pH da solução.

A composição mineral dos diferentes tratamentos (diferentes condutividades elétricas) é mostrada nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Composição dos macronutrientes das soluções nutritivas, dosada após o preparo, em função dos tratamentos (condutividades)

Condutividade (dS/m)	Macronutrientes (mmol.L ⁻¹)						
	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P-H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S-SO ₄ ²⁻
0,9	1,73	0,39	1,15	1,54	2,43	0,65	2,99
1,9	8,74	1,64	1,46	5,04	3,51	1,78	5,02
2,9	15,87	3,24	1,73	8,86	4,82	3,35	7,74
3,9	20,97	5,02	2,18	11,69	6,07	5,16	10,18
4,9	23,13	7,26	2,54	15,11	7,28	6,61	13,44

Quadro 2 – Composição dos micronutrientes das soluções nutritivas, dosada após o preparo, em função dos tratamentos (condutividades)

Condutividade (dS/m)	Micronutrientes (mmol.L ⁻¹)					
	B	Cu	Fe	Mn	Na	Zn
0,9	16,24	0,37	3,01	7,51	0,37	0,13
1,9	89,37	0,68	9,95	18,01	1,18	0,23
2,9	177,50	0,99	23,44	30,24	2,02	0,35
3,9	263,41	1,59	39,15	42,61	3,16	0,76
4,9	348,65	1,94	55,77	57,85	3,83	0,83

3.3. Condução do experimento

Imediatamente após o transplante das mudas, foi feita a primeira coleta de amostras da solução nutritiva de todos os vasos. Retiraram-se amostras das mudas, que foram avaliadas quanto ao peso de matéria fresca (MF), peso de matéria seca (MS), características de crescimento e composição mineral (Quadros 3, 4 e 5).

Quadro 3 – Peso de matéria fresca (MF) e peso de matéria seca (MS) de mudas de alface utilizadas no experimento

Característica Avaliada	Parte da Muda			Toda a Muda
	Raiz	Caule	Folha	
Peso de Matéria Fresca (g)	0,130	0,022	0,561	0,712
Peso de Matéria Seca (g)	0,019	0,002	0,048	0,069

Quadro 4 – Diâmetro de caule, comprimento de caule, volume de raiz, número de folhas e área foliar

Raiz	Caule		Folha	
Volume	Diâmetro	Comprimento	Número de Folhas	Área Foliar
....cm ³	mm.....	cm.....	unidade.....	cm ²
0,40	1,88	0,80	10,33	12,92

Quadro 5 – Teor e conteúdo de nutrientes das mudas de alface utilizadas no experimento

Nutriente	Composição Mineral	
	Teor	Conteúdo
	dag/kg.....	mg.....
N-Nitrato	0,561	0,390
N-Orgânico	4,676	3,247
Fósforo	0,413	0,287
Potássio	4,708	3,270
Cálcio	0,367	0,255
Magnésio	1,246	0,865
Enxofre	0,300	0,208
	mg/kg.....	mg.....
Cobre	15,800	1×10^{-3}
Zinco	76,083	5×10^{-3}
Ferro	0,434	3×10^{-5}
Manganês	247,25	$1,7 \times 10^{-2}$
Sódio	3,042	2×10^{-4}
Boro	29,381	2×10^{-3}

Foram coletados, periodicamente, 35 mL de solução nutritiva:

- 1) Semanalmente, a partir do transplantio.
- 2) Na época da colheita, dos vasos onde as plantas estavam sendo colhidas.
- 3) Na renovação da solução. A renovação da solução nutritiva ocorria toda vez que 35% do volume inicial era consumido pelas plantas.

3.4. Caracterização do ambiente

3.4.1. Ambiente interno

3.4.1.1. Dados coletados

Mediram-se diariamente, às 9 e às 21 horas, na altura das plantas, a temperatura, as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa (Figuras 1 e 2).

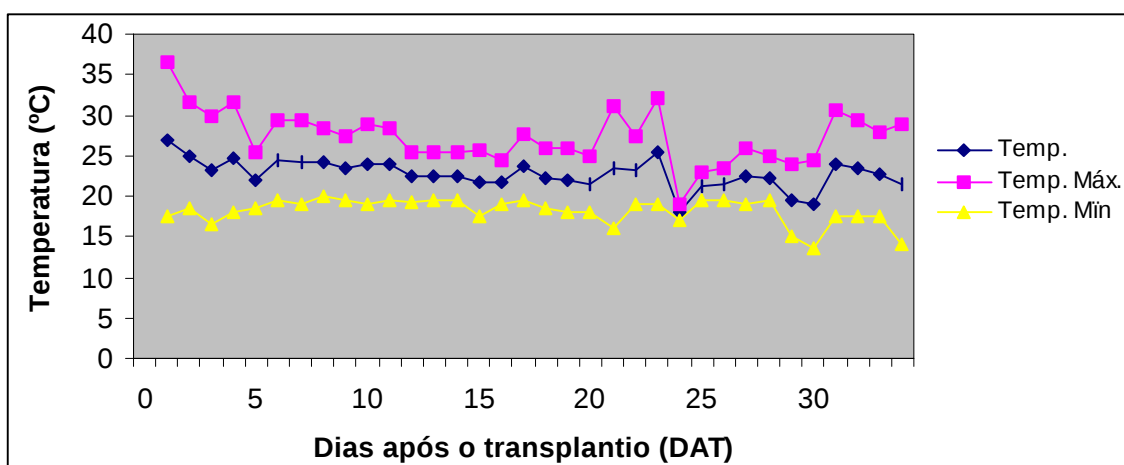


Figura 1 – Temperaturas média, máxima e mínima na altura das plantas durante o período experimental (agosto a setembro de 2001).

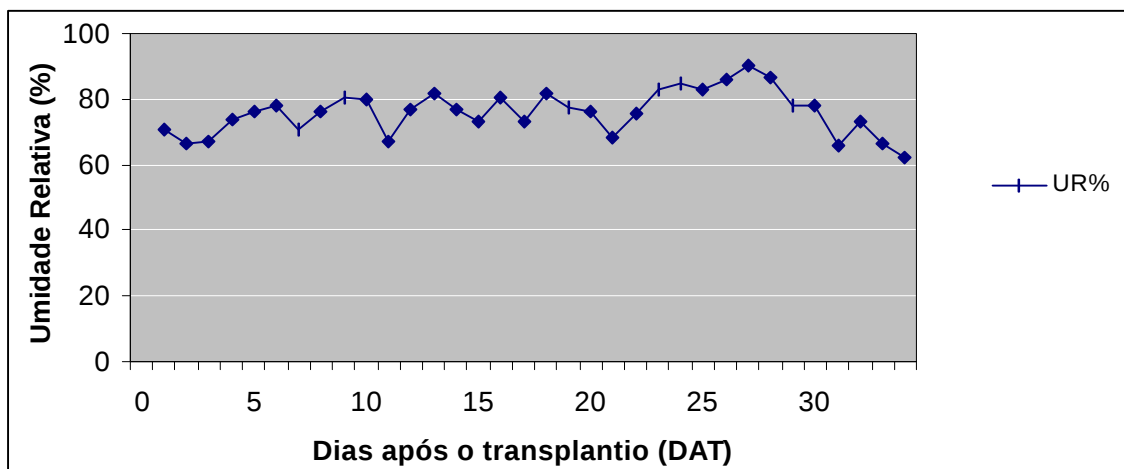


Figura 2 – Umidade relativa na altura das plantas durante o período experimental (agosto a setembro de 2001).

3.4.1.2. Dados calculados

Foram determinadas, por meio de método analítico, a temperatura média e a umidade relativa (Quadro 6).

Quadro 6 – Temperatura e umidade relativa médias durante o período experimental, obtidas analiticamente

Variável	Valor Calculado
Temperatura Média (°C)	21,86
Umidade Relativa (%)	75,97

As variáveis acima (Quadro 6) tiveram seus valores calculados a partir das fórmulas descritas a seguir:

a) Temperatura Média (T_m, °C)

Determinou-se a temperatura média por meio da fórmula (BLISKA JÚNIOR e HONÓRIO, 1999):

$$T_m = \frac{T_9 + 2 \times T_{21} + T_{\max} + T_{\min}}{5}$$

em que:

T_m = temperatura média;

T₉ = temperatura às 9 h;

T₂₁ = temperatura às 21 h;

T_{max} = temperatura máxima; e

T_{min} = temperatura mínima.

b) Umidade relativa (UR, %)

Determinou-se a umidade relativa por meio da fórmula:

$$UR = \frac{e}{e_s} \times 100$$

em que:

e = pressão real de vapor (mmHg); e

e_s = pressão de saturação de vapor à temperatura do ar (mmHg).

3.4.2. Ambiente externo

3.4.2.1. Caracterização geral

A casa de vegetação utilizada estava situada no Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, em área pertencente ao Departamento de Fitotecnia. Viçosa está situada a 20° 45' 00" de latitude sul e 42° 51' 00" de longitude oeste, apresentando uma altitude de 650 m. O clima da região foi classificado pelo sistema de Koeppen como Cwa-mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos; a média anual das temperaturas máximas é de 26,1 °C e das mínimas, 14,0 °C, sendo a pluviosidade anual de 1.340 mm e a umidade relativa média anual, de 80%.

3.4.2.2. Caracterização do ambiente durante o experimento

Foram avaliadas: evaporação acumulada (mm), insolação acumulada (horas), insolação média (horas/dia), pressão média diária (mmHg), temperatura máxima (°C), temperatura média (°C), temperatura mínima (°C) e umidade relativa média diária (%). Tais informações foram coletadas na estação meteorológica localizada no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Quadro 7).

3.5. Características avaliadas

As plantas foram colhidas em cinco períodos (8, 16, 24, 30 e 34 DAT), separado-se folhas, caule e raízes. Nesse material, determinou-se o peso da matéria fresca e da matéria seca das plantas.

Determinaram-se ainda teor de matéria seca, área foliar (por meio de um medidor de área foliar), número de folhas (contagem manual), comprimento do caule (medido do colo até o meristema apical da planta), diâmetro do caule (medido na altura do colo, por meio de um paquímetro) e volume de raiz (medido pela diferença de volume obtida ao se mergulharem as raízes numa proveta com água).

Quadro 7 – Dados climáticos coletados na estação meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, durante o experimento

Variável	Valor Encontrado
Evaporação Acumulada (mm)	117,57
Insolação Acumulada (horas)	234,29
Insolação Média (horas/dia)	6,89
Pressão Média Diária (mmHg)	697,24
Temperatura Máxima (°C)	26,50
Temperatura Média (°C)	18,97
Temperatura Mínima (°C)	13,62
Umidade Relativa Média Diária (%)	74,86

As amostras foram pesadas e secadas em estufa a 70 °C, com ventilação forçada de ar, até peso constante, e moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 malhas por polegada quadrada.

As amostras foram mineralizadas, por via úmida, em ácido sulfúrico concentrado, e o teor de N-orgânico no extrato foi dosado, usando-se o reagente Nessler (JACKSON, 1958), com leitura a 480 nm, em espectrofotômetro.

O teor de nitrato nas amostras de folhas, caules e raízes foi obtido por meio do método do ácido salicílico, com leitura de absorvância da solução básica a 410 nm, em espectrofotômetro (CATALDO et al., 1975).

Realizou-se também a digestão nítrico-perclórica, para posterior dosagem do P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Na; e a digestão via seca (calcinação em mufla a 550 °C até a obtenção de cinzas brancas), para dosar o B. Os elementos foram assim dosados: P por colorimetria, pelo método da vitamina C (BRAGA e DEFELIPO, 1974); K e Na por fotometria de emissão de chama; B por colorimetria, pelo método da azometrina-H (BINGHAM, 1982); e S por turbidimetria (BLANCHAR et al., 1965).

3.6. Avaliações na solução

Ao se consumir aproximadamente um volume de 35% do inicial, o volume era medido e a solução descartada era consumida pelas plantas. O volume da solução descartada foi medido com uma proveta e somado ao final do experimento.

A composição mineral dessa solução foi, então, determinada pela mesma metodologia descrita no item 3.5.3. Avaliaram-se, ainda, a condutividade elétrica e o pH da solução nutritiva, antes e depois de completar o volume da solução.

3.7. Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos às análises de variância e de regressão, cujos dados se ajustaram a diversos modelos (regressão múltipla), escolhendo-se os de melhor ajuste estatístico, significância dos termos e coerência biológica. Utilizou-se o programa estatístico SAEG 5.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção

4.1.1. Matéria fresca

A produção de matéria fresca ajustou-se a um modelo em relação à Condutividade Elétrica inicial (CEi) e linear em relação à idade da planta (Figura 3A).

KOEFENDER (1996), testando três formas de manejo da solução nutritiva na produção de alface, observou, nas condições do seu experimento, que a produção de matéria fresca (MF) de toda a planta teve aumento linear progressivo ao longo do tempo até a colheita final.

BOTRINE (2000), trabalhando com tomate cultivado em hidroponia sob condições de estresse salino, concluiu que a salinidade afetou seriamente o processo de absorção e transporte dos íons, e a MF ajustou-se a modelos quadráticos de regressão nas duas variedades testadas.

A maior produção de matéria fresca observada (Figura 3A) foi de 188,73 g, na CE de 2,9 dS/m, aos 34 dias após o transplântio (DAT), ou seja, na colheita final. Essa maior produção, obtida no tratamento de 2,9 dS/m, é resultado de condições de cultivo mais adequadas às exigências da cultura, portanto a baixa produção nos tratamentos 0,9 e 1,9 dS/m é justificada por haver quantidade de nutrientes abaixo da ideal, enquanto nos tratamentos 3,9

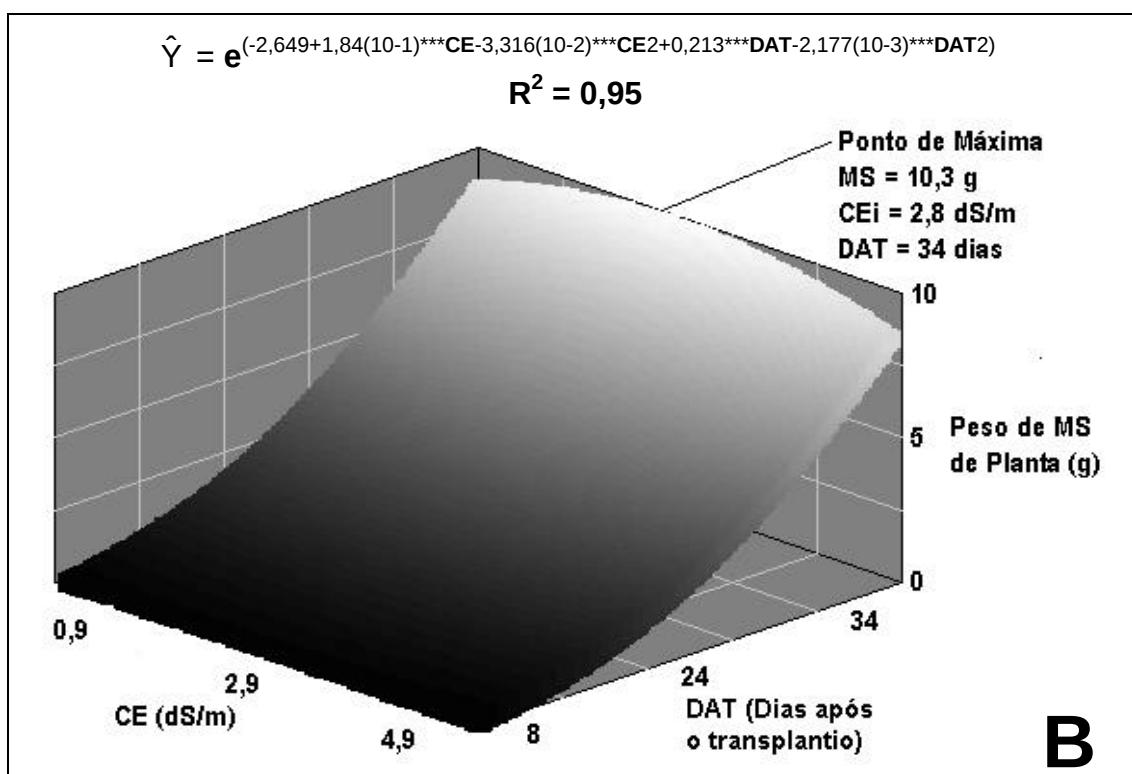
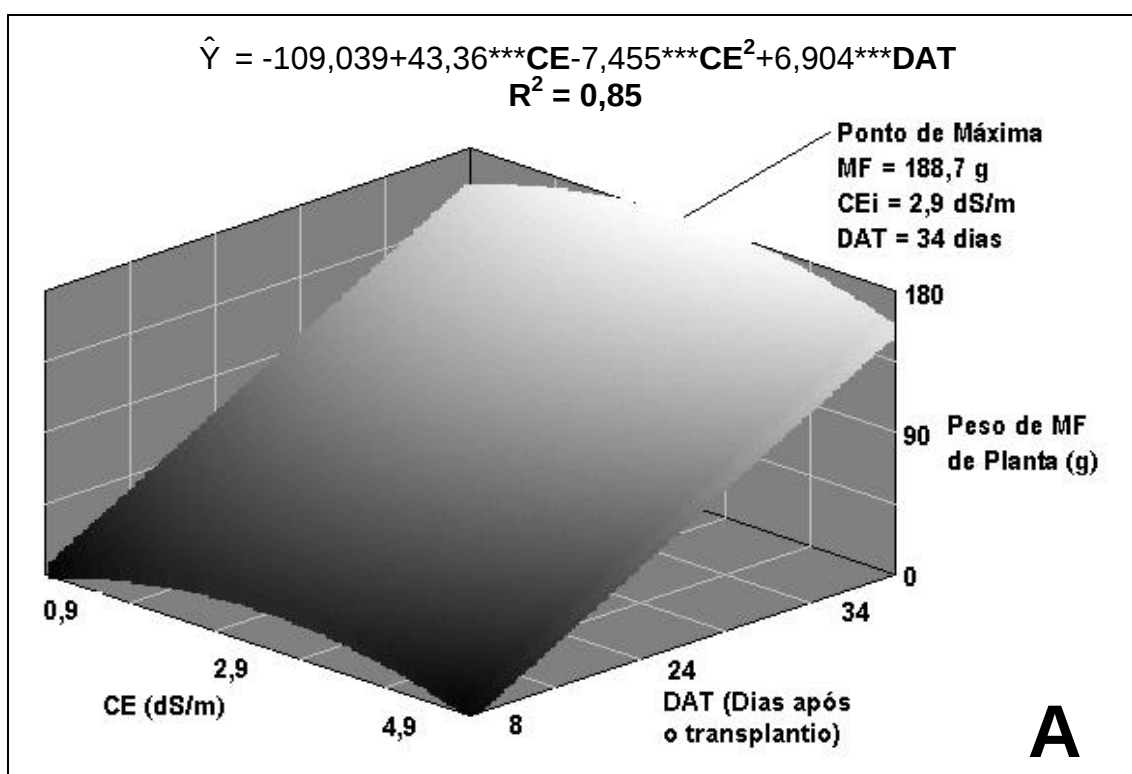


Figura 3 – Pesos de matéria fresca (A) e matéria seca (B) de alface cv. Regina 440 em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e da idade das plantas (em dias após o transplante – DAT).

e 4,9 dS/m a produção decresceu, pois havia excesso de sais na solução. Como se sabe, o consumo de energia no ajuste osmótico ao estresse salino reduz a energia utilizável no crescimento e, assim, influencia a produtividade.

O valor ideal de CE obtido no presente experimento confirma a afirmação de BENOIT e CEUSTERMANS (1989), segundo os quais os valores-limite de 2,5 até 3,0 dS/m são os ideais para a cultura da alface. KOEFENDER (1996) obteve o melhor peso de MF (230,44 g/planta), em solução com 2,7 dS/m de CE.

Alguns autores, entretanto, encontraram respostas diferentes. HUETT (1994), trabalhando com a cultivar Coolguard em diferentes CE (0,4; 1,0; 1,6; 2,4; e 3,6 dS/m), concluíram que a CE que produziu a maior MF por cabeça foi a de 1,6 dS/m. CASTELLANE e ARAÚJO (1995) e MARTINEZ (1997) recomendaram a CE de 2,5 dS/m como a ideal para produção de alface cultivada em hidroponia. Entretanto, BOON et al. (1988) não observaram diferenças significativas em alface, com o aumento da CE de 1,2 até 3,0 dS/m.

A CE não fornece informações sobre as concentrações individuais dos nutrientes em solução. É compreensível, portanto, que resultados diferentes quanto à produção possam ser obtidos em valores iguais de CE. Isso porque proporções variadas entre os nutrientes podem levar a uma mesma CE. Além disso, elementos não essenciais podem acumular-se na solução, contribuindo para o aumento da CE.

A alface Regina 440 cultivada em hidroponia (sistema de subirrigação em argila expandida) produziu em média 191 g/planta no outono, aos 30 DAT, por ocasião da colheita final (DELISTOIANOV, 1997). KOPP (2000), trabalhando com a cultivar Regina no período de inverno em Uruguaiana, RS, obteve produção de 183,65 g/planta, notadamente uma das menos produtivas. SANTOS et al. (2000), trabalhando com essa mesma cultivar no período de inverno em Santa Maria, RS, produziu 184,1 g. Tais resultados indicam que o potencial de produção da cultivar Regina no período de inverno em hidroponia seja em torno desses valores.

4.1.2. Matéria seca

O acúmulo de matéria seca (MS) nas plantas de alface teve uma tendência exponencial de crescimento (Figura 3B). Tal resultado se assemelha aos obtidos por HEINEN (1991), em que a alface cultivar Sitonia apresentou acúmulo de MS ao longo do tempo, bem descrito por meio de uma equação exponencial.

Frence e Thornley (1984), citados por HEINEN (1991), descreveram para alface várias curvas de crescimento com base na MS, as quais tiveram uma relação exponencial. Entretanto, KOEFENDER (1996) obteve aumento linear de matéria seca (MS) em alface, cultivar Verônica, do transplante à colheita. E, ainda, SCHWARZ e KUCHENBUCH (1997) afirmaram que o aumento da CE da solução nutritiva resultou em redução no crescimento da planta e na produtividade do tomateiro, havendo relação linear entre teor de MS dos frutos e CE.

Desde a semeadura até 16 DAT, o crescimento de todas as plantas foi muito reduzido, porém do 16^o dia até o 30 DAT o acúmulo de matéria seca foi constante e bastante elevado, voltando a diminuir o crescimento dos 30 ao 34 DAT.

SILVA (1999), trabalhando em hidroponia com a alface cultivar Regina 440, também observou que inicialmente as plantas apresentaram crescimento lento e, provavelmente, menor necessidade de nutrientes, porém, logo em seguida, o crescimento tornou-se acentuado, permanecendo assim até o final do ciclo.

Segundo LUCCHESI (1987), o crescimento vegetal inicial é lento e, em seguida, com a formação do aparato fotossintético e do sistema radicular, torna-se rápido. Ao final do ciclo vegetativo, as plantas entram em senescência, resultando no decréscimo do acúmulo de matéria seca.

O máximo de matéria seca produzida foi de 10,3 g, obtidos aos 34 DAT e CEi de 2,7 dS/m.

A composição ideal da solução nutritiva visando à maior produção depende de vários fatores. Segundo FURLANI (1995), destacam-se a concentração dos nutrientes, o tipo ou sistema hidropônico, fatores ambientais (luminosidade, temperatura e umidade), a época do ano (duração do período de luz), a idade das plantas, a espécie vegetal e a cultivar em produção.

No momento da colheita, todos os tratamentos de condutividades elétricas apresentaram teores de matéria seca muito próximos, variando de 5,46 até 5,78 dag/kg.

KOEFENDER (1996), testando três formas de manejo da solução nutritiva em alface, observou nas condições do seu experimento que o teor de MS variou de 4,04 até 4,36 dag/kg. Já Roorda van Eysinga e Smile et al. (1971), citados por HEINEN et al. (1991), verificaram que ao final da colheita as porcentagens de matéria seca (MS) de alfaces crescidas em casa de vegetação variaram entre 3,5 e 5,5 dag/kg. Por sua vez, FAQUIN et al. (1996) observaram que em média a alface cultivada em hidroponia é composta por 6,00 dag/kg de matéria seca.

4.2. Características de crescimento

4.2.1. Área foliar

A área foliar (AF) da cultivar testada teve resposta quadrática em função do incremento nos níveis da CE e apresentou relação linear e crescente com o aumento da idade da planta (Figura 4A e Quadro 8). A máxima produção de AF (5.263,86 cm²) foi obtida aos 34 DAT, com a CE de 3,0 dS/m.

SCHWARZ e KUCHENBUCH (1997) constataram que aumentos na CE da solução nutritiva de 1,0 para 6,0 dS/m resultavam em redução na área foliar do tomateiro.

Níveis de salinidade e de área foliar normalmente possuem uma relação inversa. O excesso de sais na solução do solo modifica as atividades metabólicas das células, reduzindo o processo de alongamento celular e, como consequência, a área foliar.

Nas plantas que crescem em substratos salinos, a diminuição da área foliar e da abertura estomatal pode aumentar notadamente a tolerância aos sais (MEIRI e PLAUT, 1985).

Com o aumento da salinidade da solução ocorre perda de água na planta por meio da transpiração. Essa perda, associada aos distúrbios nutricionais provocados pelo meio salino, promove reduções consideráveis na área foliar (MARSCHNER, 1995).

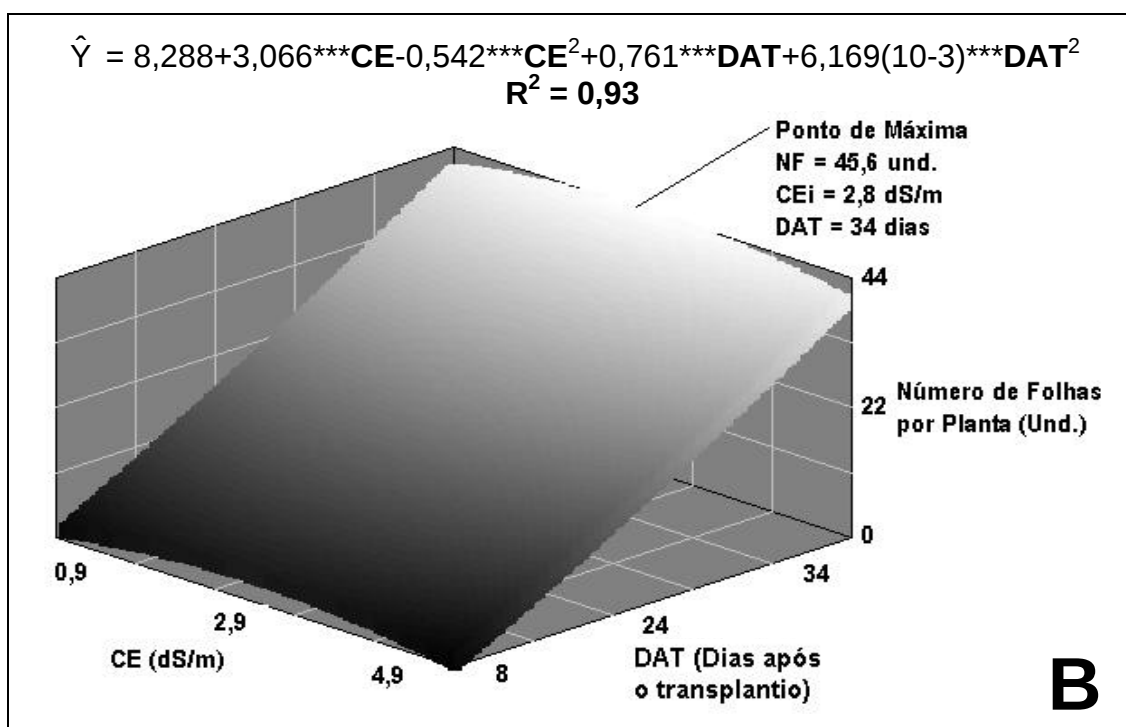
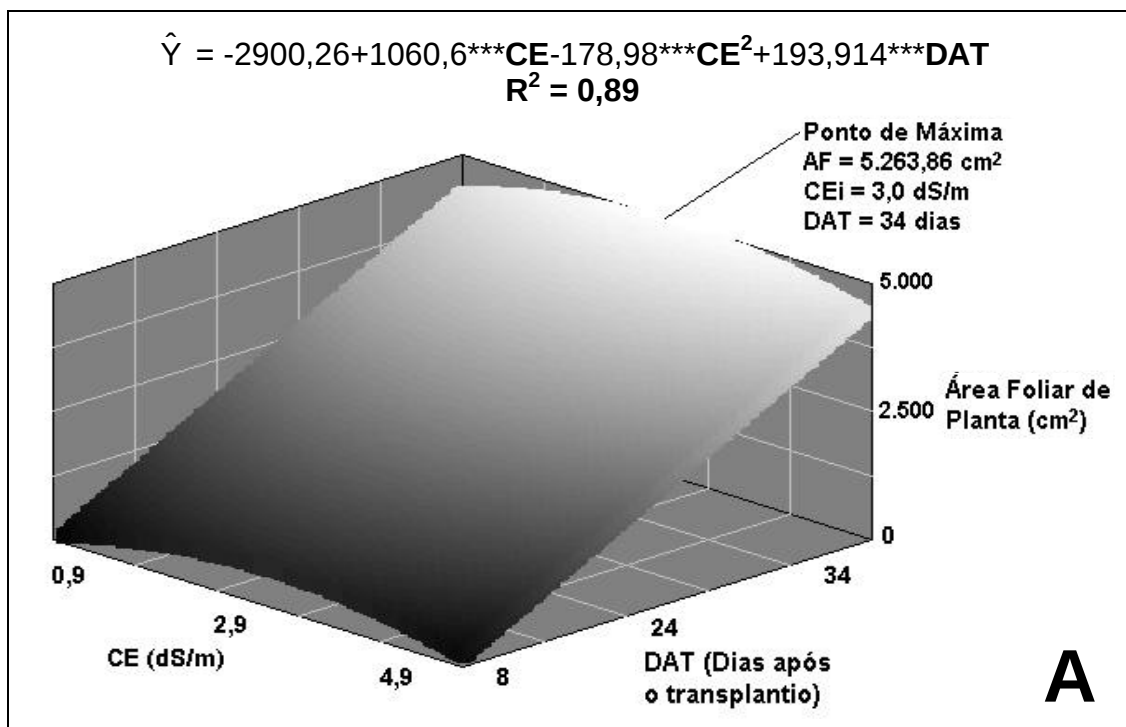


Figura 4 – Área foliar (A) e número de folhas (B) de alface cv. Regina 440 em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e da idade das plantas (em dias após o transplante – DAT).

Quadro 8 – Área foliar, número de folhas, comprimento do caule, diâmetro do caule e volume de raiz de alface colhida aos 34 DAT, influenciada pela condutividade elétrica inicial da solução nutritiva

Característica	Condutividade Elétrica da Solução inicial (dS/m)				
	0,9	1,9	2,9	3,9	4,9
Área foliar (cm ²)	4.519,22	5.049,37	5.261,42	5.120,71	4.628,36
Nº de folhas (Unid.)	43,65	45,12	45,62	45,05	43,42
Comp. do caule (mm)	88,13	101,00	106,95	105,22	95,75
Diâm. do caule (mm)	11,68	12,19	12,27	11,87	11
Volume de raiz (cm ³)	13,64	14,75	15,08	14,47	12,99

4.2.2. Número de folhas

O número médio de folhas (NF) traduziu-se numa relação quadrática, tanto com o passar do tempo quanto com o aumento da CE (Figura 4B e Quadro 8).

A cultivar Regina 440 alcançou o número máximo médio de folhas de 45,6 unidades, obtidas aos 34 DAT, numa CE de 2,9 dS/m. Esse número médio de folhas também foi observado por outros autores (ROSA et al., 1996; TONIOILLI e BARROS, 1996; DELISTOIANOV, 1997).

No momento da colheita, o NF variou muito pouco entre os tratamentos, ficando entre 41 e 45 folhas por planta. DELISTOIANOV (1997), ao estudar a influência da época de plantio da alface cultivar “Regina 440”, também obteve pouca variação no número médio de folhas, atingindo valores entre 27 e 31 folhas por planta. Ele observou, no entanto, grande variação no NF quando trabalhou com diferentes cultivares, encontrando valores médios variáveis de 10 folhas por planta na cultivar Tainá e 29 folhas por planta na cultivar Regina 440, o que indica ser essa característica mais influenciada pela genética.

SILVA (1999) efetuou colheitas em diferentes idades da alface cultivar Regina 440, não verificando influência da correção do pH ou da adição de CaCO₃ no número médio de folhas.

4.2.3. Comprimento do caule

O comprimento médio do caule (CC) das plantas em relação aos valores de CE da solução ajustou-se a um modelo quadrático de crescimento, enquanto em relação à idade das plantas, a um modelo linear (Figura 5A e Quadro 8).

O CC máximo foi de 107,3 mm, aos 34 DAT, na CE da solução de 3,1 dS/m. O maior comprimento do caule indica maior tendência da alface ao pendoamento (DELISTOIANOV, 1997; SEDIYAMA et al., 2000; FERNANDES et al., 2002).

O alongamento exagerado do caule pode ocorrer devido à elevada temperatura e baixa luminosidade do ambiente, conforme demonstrado por SILVA et al. (1994), utilizando tela com 50% de sombreamento.

4.2.4. Diâmetro do caule

O maior diâmetro de caule (DC) foi de 12,29 mm, na CE de 2,5 dS/m, aos 34 DAT.

O DC ajustou-se a um modelo linear e crescente em função do tempo e apresentou ajuste quadrático em relação a aumentos na CE da solução (Figura 5B e Quadro 8).

4.2.5. Volume de raiz

O volume de raiz (VR) teve resposta quadrática em função dos níveis da CE da solução e apresentou ajuste linear crescente em relação ao tempo (Figura 6 e Quadro 8).

O volume máximo de raízes produzidas foi de 15,07 cm³, resultantes de plantas colhidas aos 34 DAT e com CE de 2,7 dS/m.

A elevada condutividade elétrica da solução provoca aumentos no requerimento de carboidratos e na taxa de respiração das raízes, acarretando inibição do seu crescimento (SCHWARZ e GALE, 1981; LARCHER, 2000).

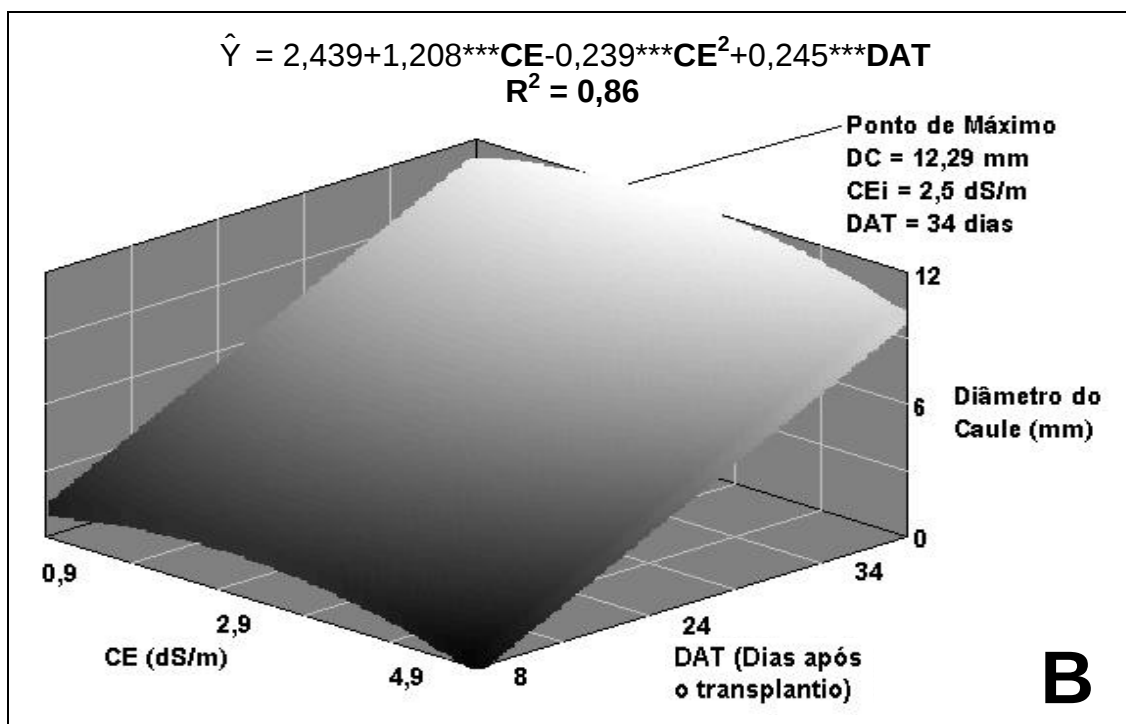
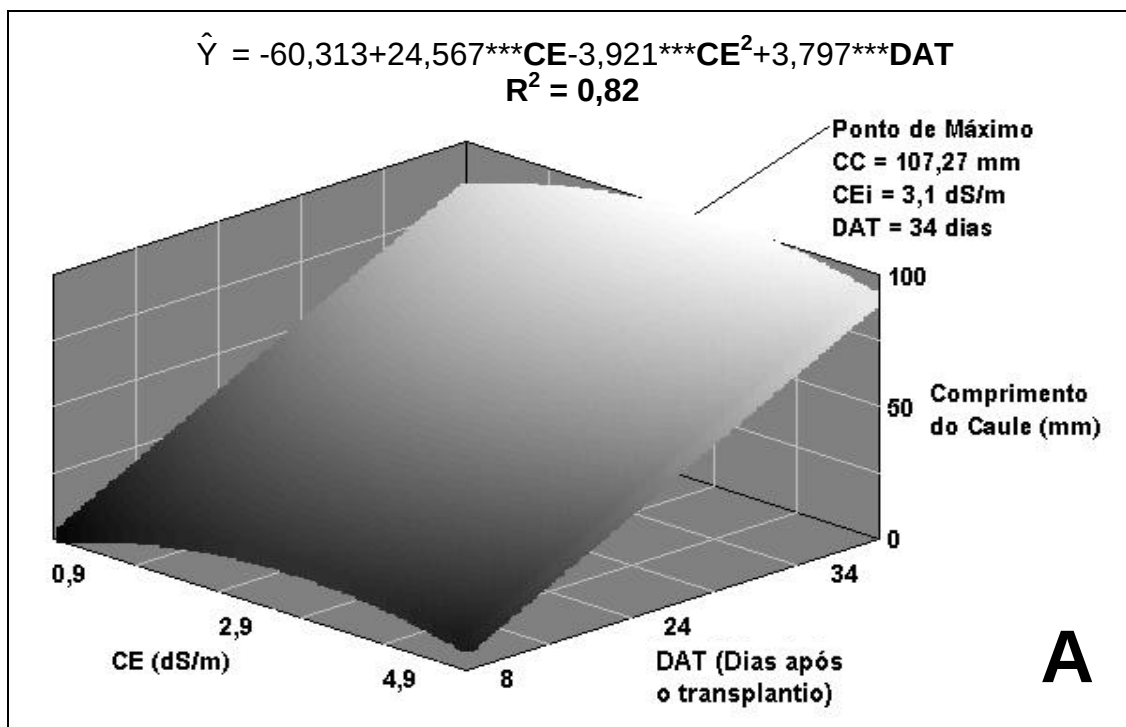


Figura 5 – Comprimento do caule (A) e diâmetro do caule (B) de alface cv. Regina 440 em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e da idade das plantas (em dias após o transplante–DAT).

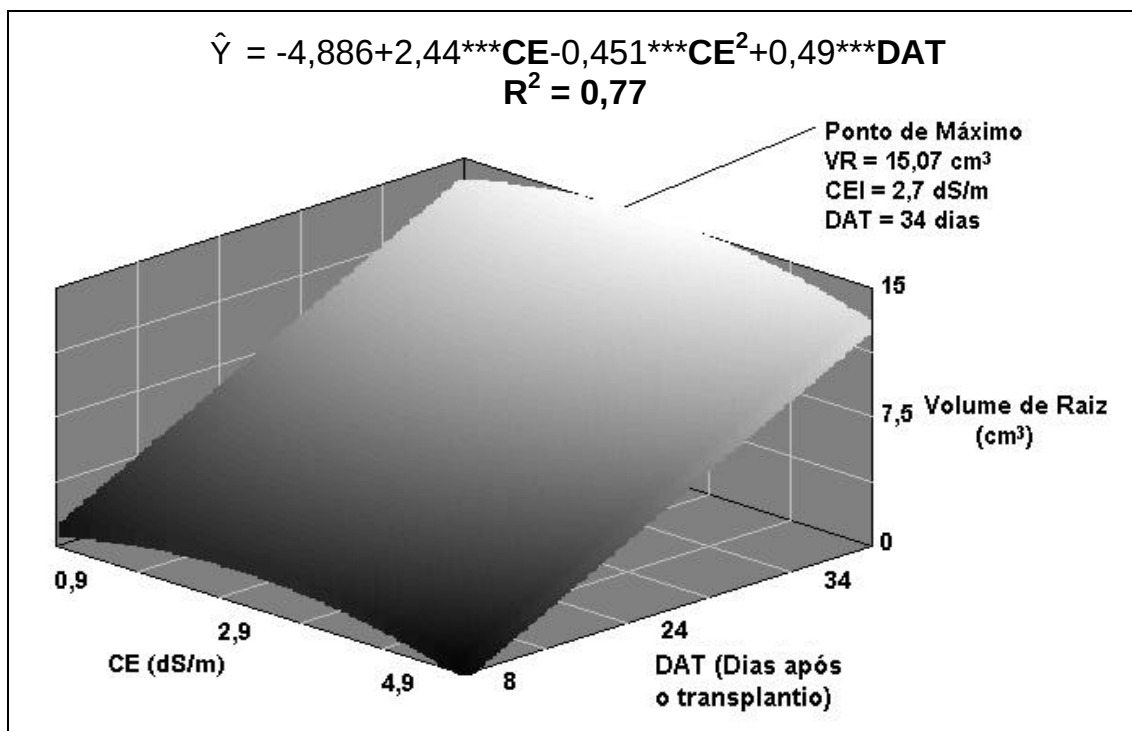


Figura 6 – Volume de raiz de alface cv. Regina 440 em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e da idade das plantas (em dias após o transplante–DAT).

4.3. Teor e conteúdo de nutrientes nas plantas

4.3.1. Macronutrientes

De modo geral, os teores de N-Nitrato, N-Orgânico e N-Total nas folhas de alface variaram pouco em função das CE utilizadas, exceto na CE de 0,9 dS/m, em que se obtiveram valores notadamente baixos (Quadro 9).

No momento da colheita, o teor de N-Nitrato na CE de 0,9 dS/m foi de 0,34 dag/kg, enquanto nas outras condutividades elétricas utilizadas os teores foram aproximadamente o dobro, variando de 0,67 a 0,76 dag/kg. Comercialmente, a solução nutritiva com a CE 0,9 dS/m não é utilizada, pois não fornece nitrogênio (N) para o crescimento adequado da alface.

Considerando que o N é o nutriente que mais contribui para aumentos na CE e tem função essencial no crescimento da planta, nunca se deve deixar a CE da solução atingir valores muito baixos.

Quadro 9 – Teores de N-Nitrato, N-Orgânico e N-Total (dag.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
.....N-Nitrato na Folha (dag.kg^{-1})					
0,9	0,52	0,76	0,62	0,63	0,34
1,9	0,49	0,82	0,72	0,92	0,70
2,9	0,63	0,78	0,68	0,90	0,76
3,9	0,62	0,83	0,74	0,89	0,67
4,9	0,66	0,82	0,72	0,72	0,72
.....N-Orgânico na Folha (dag.kg^{-1})					
0,9	5,19	4,49	4,26	3,91	2,88
1,9	5,32	5,04	4,91	4,89	4,56
2,9	5,52	5,17	4,96	4,97	4,64
3,9	5,67	5,21	4,98	4,80	4,85
4,9	5,95	5,46	4,94	4,83	4,83
.....N-Total na Folha (dag.kg^{-1})					
0,9	5,71	5,25	4,88	4,54	3,22
1,9	5,81	5,86	5,63	5,81	5,26
2,9	6,15	5,95	5,64	5,87	5,40
3,9	6,29	6,04	5,72	5,69	5,52
4,9	6,61	6,28	5,66	5,55	5,55

O teor de N-Orgânico foliar aos 34 DAT foi de 2,88 dag/kg para uma CE de 0,9 dS/m, enquanto nas outras condutividades elétricas utilizadas houve uma variação de 4,56 dag/kg a 4,85 dag/kg (Quadro 9).

Aos 34 DAT, o teor de N-Total nas folhas para a CE de 0,9 dS/m foi de 3,22 dag/kg, enquanto nas outras condutividades elétricas utilizadas as respostas variaram entre 5,26 e 5,55 dag/kg (Quadro 9).

O conteúdo de N nas plantas cultivadas em elevada CE é bastante complexa. Vários estudos indicam que a absorção e acúmulo de N pela parte aérea podem ser aumentados pelo aumento da CE do meio, tal como ocorreu no presente trabalho, enquanto outros apresentam o oposto ou nenhum efeito (MUNS e TERMAAT, 1986).

PERES-ALFOCEA et al. (1993) e AL-HARBI (1995) indicaram que o efeito da salinidade sobre o teor de N parece depender do nível de salinidade, conforme observado neste trabalho.

Existe alta correlação entre nitrogênio e fitormônios, principalmente citocinina e ABA. O nitrogênio desempenha papel fundamental no florescimento e senescência das plantas. É componente essencial de aminoácidos, proteínas, enzimas e hormônios na planta (SILVA Jr. e SOPRANO, 1997).

De forma semelhante ao N, a interação entre a CE e a nutrição de fósforo (P) nas plantas é complexa, sendo dependente da composição e do nível de salinidade da solução nutritiva (GRATTAN e GRIEVE, 1999).

O maior requerimento de P por plantas submetidas à salinidade pode estar relacionado ao transporte e distribuição de carboidratos (GIBSON, 1988). Além disso, o P está envolvido também na síntese de lipídios nas membranas, a qual é vital para a regulação iônica (BIELESKI e FERGUSON, 1983).

Aos 34 DAT, o teor de fósforo nas folhas das plantas do tratamento 0,9 dS/m foi de 0,61 dag/kg, enquanto nas outras condutividades elétricas utilizadas as respostas variaram entre 0,82 e 0,90 dag/kg (Quadro 10).

O teor de potássio (K) nas folhas das plantas, colhidas aos 34 DAT, no tratamento 0,9 dS/m foi de 4,15 dag/kg, enquanto nos outros tratamentos os teores variaram entre 6,13 e 6,73 dag/kg (Quadro 11).

Quadro 10 – Teores de fósforo (dag.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	0,93	0,97	0,86	0,76	0,61
1,9	1,16	1,03	1,02	1,05	0,87
2,9	1,17	1,01	0,97	1,01	0,85
3,9	1,17	0,97	1,02	0,99	0,90
4,9	0,97	1,02	1,05	1,01	0,82

Quadro 11 – Teores de potássio (dag.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	4,42	7,39	5,86	5,23	4,15
1,9	4,44	7,04	6,67	6,73	6,73
2,9	4,35	6,19	6,54	6,27	6,13
3,9	4,21	6,85	6,25	6,98	6,15
4,9	4,54	6,79	6,06	5,96	6,56

Adams (1989b), citado por ADAMS (1994), observou que em tomates houve maior absorção de K, N e P na CE de 4,8 dS/m, em comparação com as outras condutividades elétricas (3,2; 6,6; 7,8; e 9,3 dS/m), indicando tendência quadrática dos dados, apesar de o referido autor não ter feito análise de regressão.

O K aumenta a resistência das plantas à geada, seca e salinidade (BERINGER e TROLLDENIER, 1978; MARSCHNER, 1995).

Dentre as principais funções do K, destacam-se: manutenção dos níveis adequados de água no tecido; melhor desempenho da fotossíntese e do metabolismo; favorecimento de uma arquitetura mais ereta, permitindo melhor interceptação da luz solar (STEINECK e HAEDER, 1978); ativação de cerca de 60 enzimas (MALAVOLTA et al., 1997); plantas bem supridas de potássio, que exigem menores quantidades de água por unidade de matéria seca produzida (MALA VOLTA 1980); e incremento na qualidade do produto – cor, tamanho, resistência ao transporte, manuseio e valor nutritivo (MALA VOLTA, 1980).

Segundo SILVA Jr. e SOPRANO (1997), os sintomas de deficiência de K iniciam-se, no entanto, com um mosqueamento clorótico ao longo das bordas das folhas velhas. Posteriormente, as folhas tornam-se engruvinhadas, ocorrem necrose das pontas e margens foliares e há redução da área foliar, conforme observado no presente trabalho.

Aos 34 DAT, o teor de enxofre (S) das folhas na CEi de 0,9 dS/m foi de 0,14 dag/kg, enquanto nas outras CEi utilizadas as respostas variaram entre 0,20 e 0,22 dag/kg (Quadro 12).

Quadro 12 – Teores de enxofre (dag.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	0,22	0,20	0,19	0,18	0,14
1,9	0,23	0,21	0,23	0,23	0,20
2,9	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21
3,9	0,25	0,22	0,24	0,21	0,22
4,9	0,23	0,22	0,23	0,22	0,21

O cálcio (Ca) tem papel fundamental no cultivo hidropônico, principalmente quando se deseja não só boa nutrição para as plantas, como também obter certo tamponamento do pH da solução nutritiva. Em pH baixo, a

adição de cálcio dificulta a perda de solutos do citoplasma, pois esse íon regula a seletividade na absorção de sais (MARTINEZ, 1997), uma vez que ele faz parte da parede celular e é de fundamental importância para manter a integridade celular e permeabilidade da membrana (MALAVOLTA et al., 1997).

Aos 34 DAT, o teor de cálcio das folhas na CEi de 4,8 dS/m foi de 0,72 dag/kg, enquanto nas outras CEi utilizadas as respostas variaram entre 0,83 e 0,96 dag/kg (Quadro 13). Verifica-se que o teor de Ca na folha de alface diminui com o aumento da salinidade (Quadro 13). Os resultados encontrados neste trabalho confirmam a afirmação de AL-HARBI (1995) de que o teor de Ca na planta diminui com o aumento da salinidade.

Quadro 13 – Teores de cálcio (dag.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	1,00	1,05	1,13	1,20	0,96
1,9	1,07	0,92	1,01	1,06	0,95
2,9	0,99	0,80	0,99	0,92	0,83
3,9	0,99	0,78	0,90	0,87	0,84
4,9	0,76	0,78	0,88	0,82	0,72

STANGHELLINI (2000) relatou que o aumento da salinidade em tomate predispõe a planta à BLOSSOM-END ROT (BER), que é uma desordem associada às baixas concentrações de cálcio nas flores. BOTRINE (2000), trabalhando com tomate no sistema hidropônico, sob condições de estresse salino (2,4; 11,4; 14,1; e 19,7 dS/m), concluiu que o tratamento com o mais alto nível de CE (19,7 dS/m) acumulou os menores teores de Ca nos pecíolos, folhas e frutos, nas duas cultivares estudadas. E, ainda, ADAMS (1994), trabalhando com pepino em hidroponia, observou quedas nos teores de Ca nas folhas de pepino somente na maior CE, não nos níveis intermediários. O total

de Ca absorvido pelas plantas caiu 27 e 66% nas condutividades elétricas de 5,5 e 8,0 dS/m, respectivamente.

O teor de magnésio (Mg) nas folhas, aos 34 DAT, variou entre 0,37 e 0,44 dag/kg (Quadro 14).

Quadro 14 – Teores de magnésio (dag.kg⁻¹) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	0,48	0,38	0,40	0,43	0,37
1,9	0,52	0,37	0,37	0,40	0,40
2,9	0,53	0,39	0,38	0,40	0,40
3,9	0,53	0,39	0,42	0,43	0,44
4,9	0,49	0,42	0,43	0,42	0,42

ADAMS (1994), trabalhando com pepino, observou que baixos níveis de Ca e Mg na solução reduzem a absorção de N, P e K. Esse comportamento também foi observado no presente experimento, uma vez que o tratamento com 0,9 dS/m (menor quantidade de cálcio na solução) foi o que proporcionou os mais baixos teores de N, P e K nas plantas.

Segundo SILVA Jr. e SOPRANO (1997), o suprimento adequado de magnésio à planta aumenta a absorção de fósforo pelas raízes. A deficiência de magnésio inibe a síntese de proteínas.

SAROOSHI e CRESSWELL (1994), trabalhando com plantas de morango (*Fragaria ananassa* D.), observaram que o teor de Mg nas folhas era deficiente sob alta CE, conforme verificado no presente trabalho, enquanto os outros nutrientes se encontravam em teores adequados.

Os teores foliares de N total, P e K observados estavam próximos daqueles considerados adequados na literatura, à exceção dos baixos teores no tratamento com 0,9 dS/m (REUTER e ROBINSON, 1986; JONES Jr., 1991;

MALAVOLTA et al., 1997; SILVA Jr. e SOPRANO, 1997; MARTINEZ et al., 1999). Com base nos teores de referência relatados pelos autores anteriormente descritos, conclui-se que os teores foliares de Ca obtidos a partir do tratamento 4,9 dS/m estavam baixos. E, finalmente, os teores de Mg e S foram adequados em todos os tratamentos.

Apesar de ter sido detectado deficiência mineral por meio da análise foliar, não foi observado qualquer sintoma visual de deficiência.

Os conteúdos de N, P, K, S e Ca correlacionaram-se, segundo o modelo quadrático, com o aumento da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva (Figuras 7A, 7B, 8A, 8B e 9A). Contudo, o conteúdo de Mg apresentou resposta linear e crescente com o incremento dos níveis da CE (Figura 9B).

Os conteúdos de N, K, Mg e S nas plantas de alface aumentaram linearmente em função da matéria seca (MS), enquanto os conteúdos de P e Ca apresentaram resposta quadrática com o aumento da MS.

4.3.2. Micronutrientes

Na colheita final, o teor de cobre (Cu) nas folhas variou entre 3,97 e 9,97 mg/kg (Quadro 15).

NAVARRO PEDREÑO e MATAIX (1996), trabalhando com plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum* M.) sob diferentes condutividades elétricas, verificaram que não houve efeito significativo na concentração de Cu e Mn nas folhas, causado pelos tratamentos. No entanto, a salinidade parece promover uma diminuição nos teores de Fe e Zn e, algumas vezes, de B.

Aos 34 DAT, o teor de zinco (Zn) nas folhas variou entre 25,62 e 61,20 mg/kg (Quadro 16).

Na colheita final (34 DAT), o teor de ferro (Fe) nas folhas variou entre 267,78 e 509,15 mg/kg (Quadro 17).

No momento da colheita final (34 DAT), o teor de sódio (Na) nas folhas variou entre 2,96 e 4,42 mg/kg (Quadro 18).

Íons sódio normalmente competem com o cálcio no processo de absorção e, ou, alteram o nível intracelular do cálcio (LYNCH e LAÜCHLI, 1988; LYNCH et al., 1989). Além disso, o sódio desempenha um papel crucial no aumento da porosidade das membranas (RENGEL, 1992), resultando na

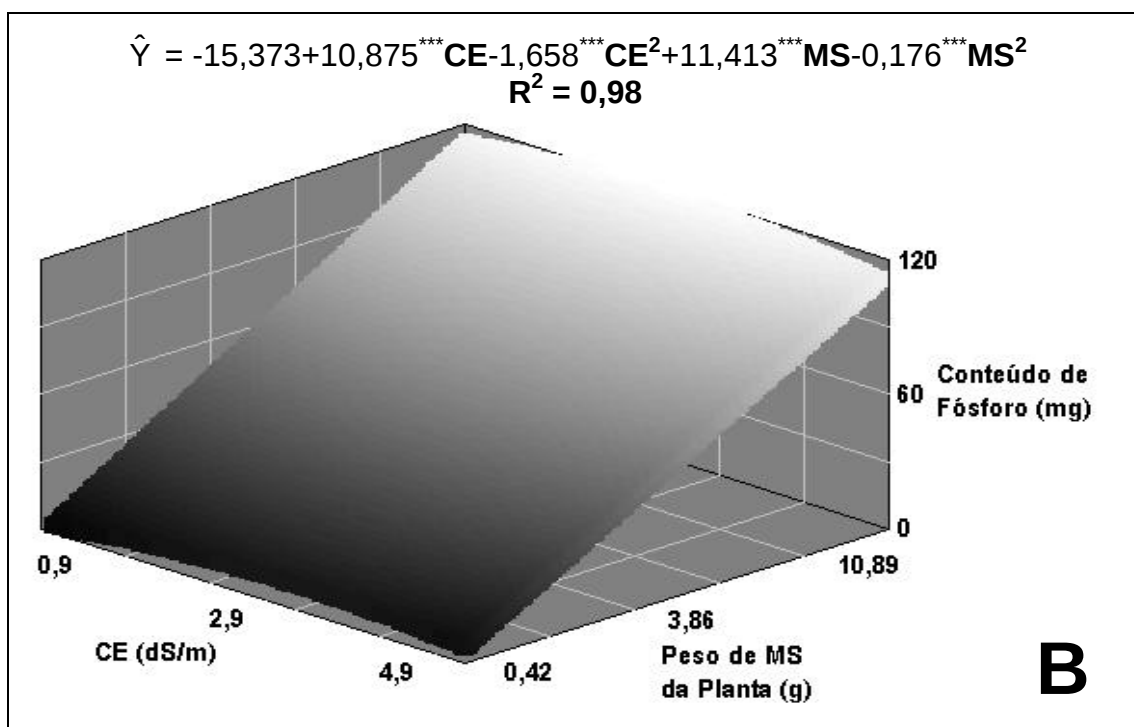
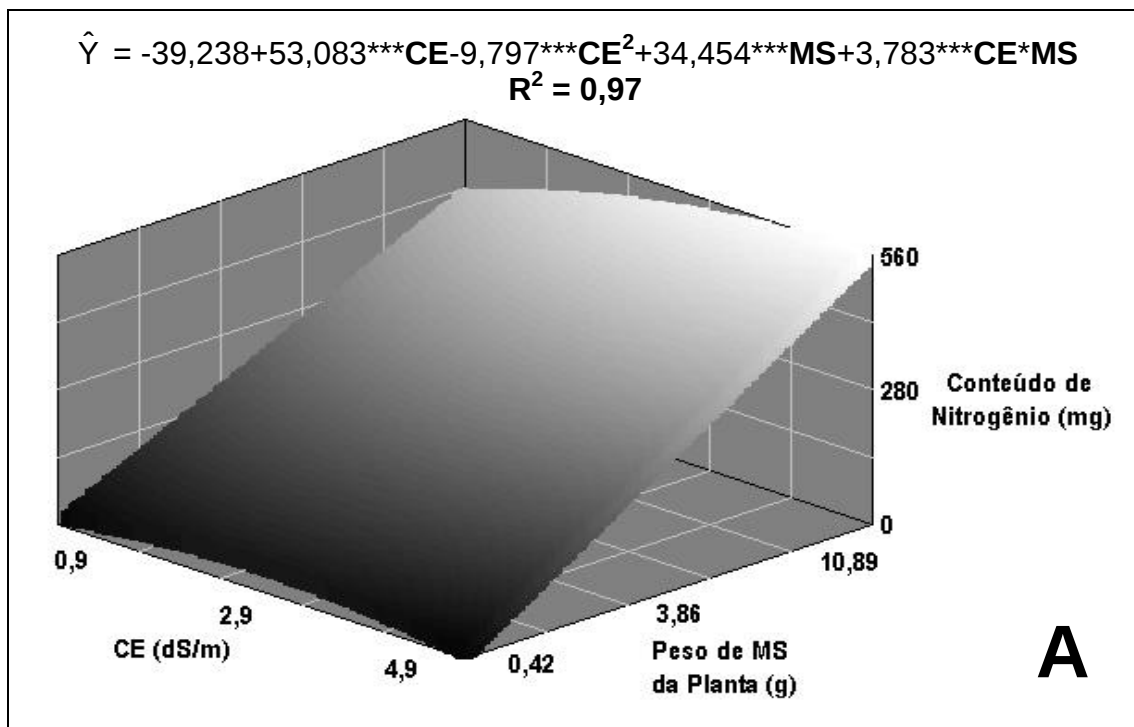


Figura 7 – Conteúdo de nitrogênio (A) e fósforo (B) (mg/planta) na alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do peso de matéria seca da planta (g) acumulada entre 0 e 34 DAT.

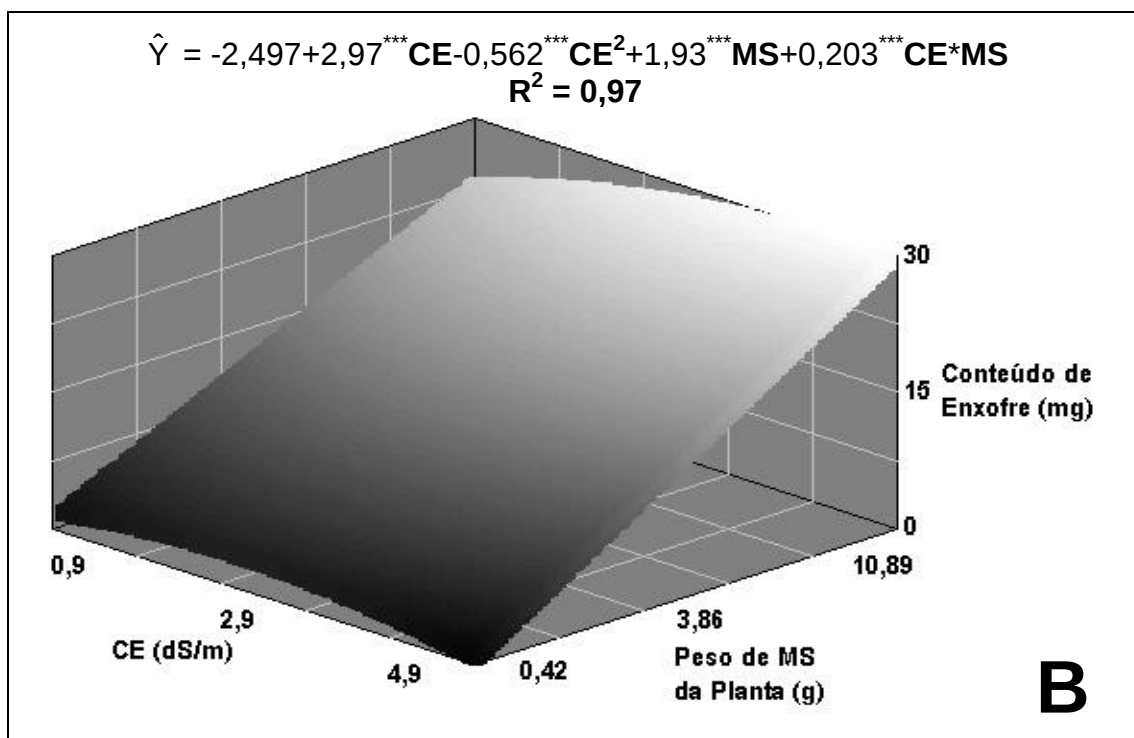
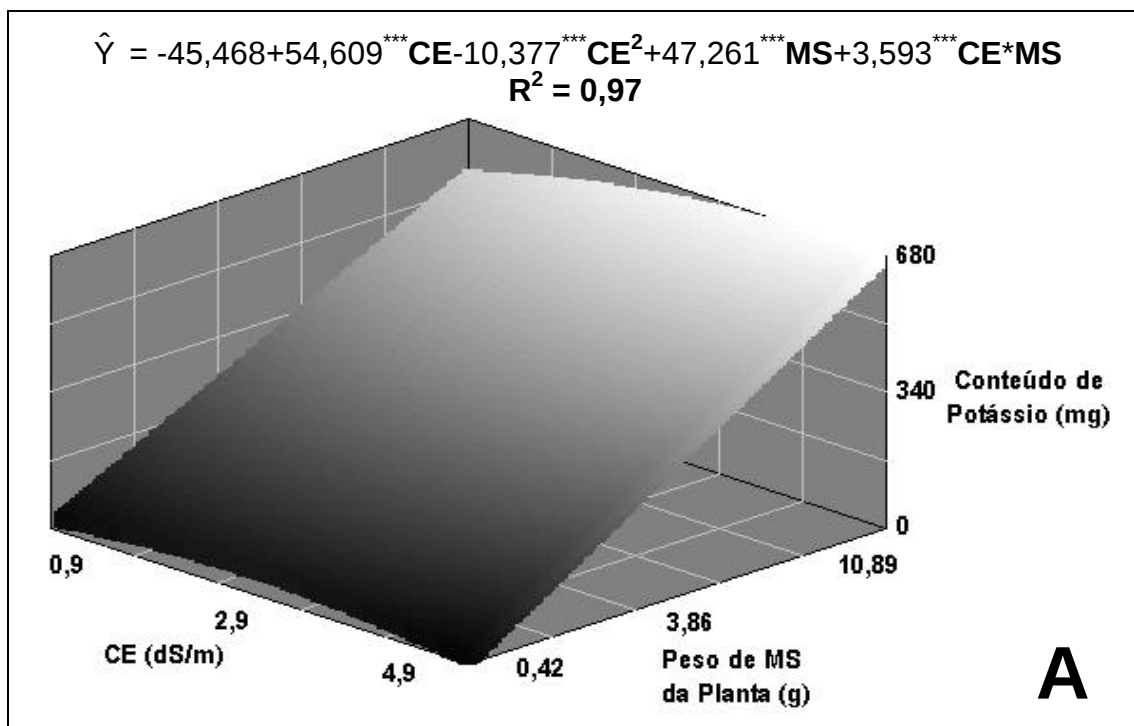


Figura 8 – Conteúdo de potássio (A) e enxofre (B) (mg/planta) na alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do peso de matéria seca da planta (g) acumulada entre 0 e 34 DAT.

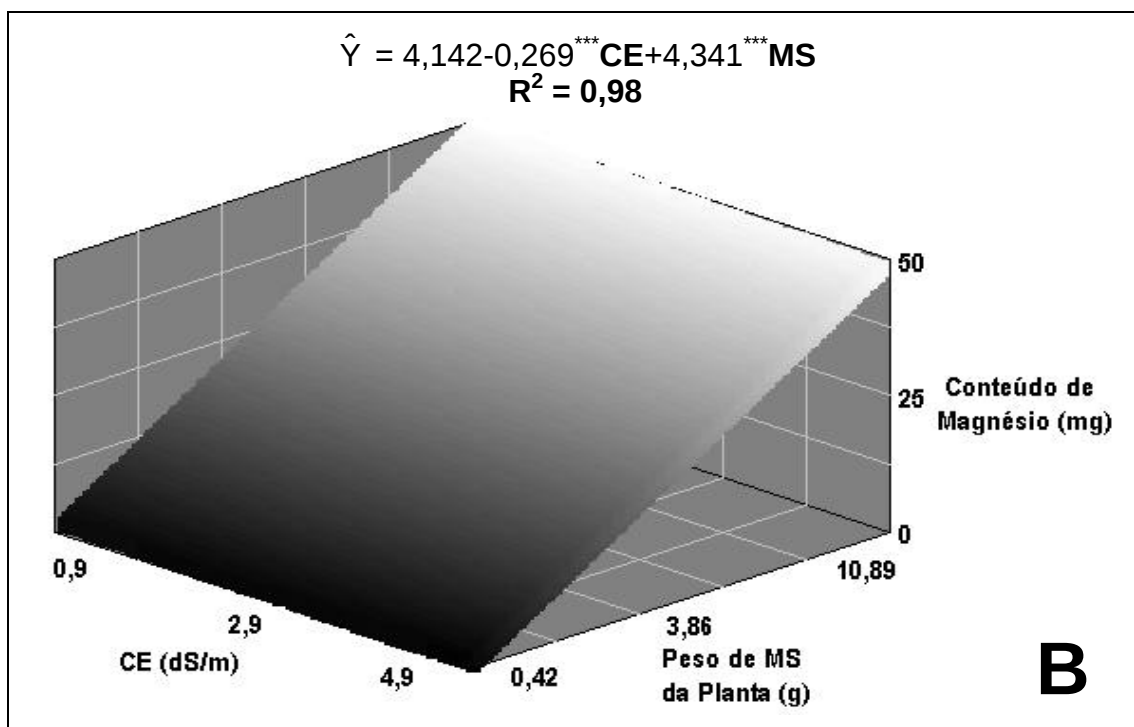
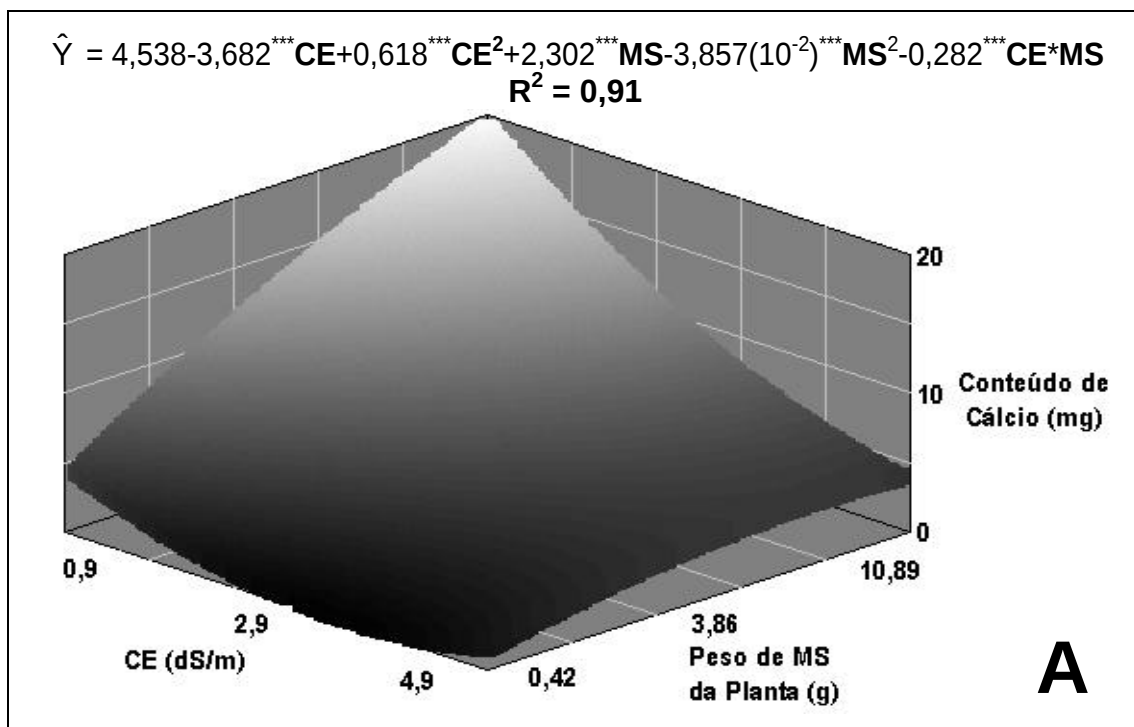


Figura 9 – Conteúdo de cálcio (A) e magnésio (B) (mg/planta) na alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do peso de matéria seca da planta (g) acumulada entre 0 e 34 DAT.

Quadro 15 – Teores de cobre (mg.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	12,28	7,02	7,53	6,53	3,97
1,9	11,95	8,85	7,80	9,32	7,45
2,9	12,90	10,28	13,22	9,83	8,03
3,9	14,72	11,23	11,73	11,65	9,65
4,9	11,88	12,53	13,70	12,37	9,97

Quadro 16 – Teores de zinco (mg.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	47,47	39,37	33,87	39,05	25,62
1,9	50,87	50,75	56,71	58,33	54,22
2,9	49,83	47,75	60,88	57,22	51,98
3,9	63,85	52,08	68,47	71,55	61,20
4,9	53,00	60,28	67,82	65,32	60,60

Quadro 17 – Teores de ferro (mg.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	535,18	257,37	341,27	387,83	267,78
1,9	525,70	324,25	361,27	334,90	368,98
2,9	523,57	370,75	489,87	423,08	342,30
3,9	520,90	385,87	553,32	461,22	509,15
4,9	461,23	431,50	492,68	371,07	386,72

Quadro 18 – Teores de sódio (mg.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	2,79	4,79	4,17	3,54	2,96
1,9	2,88	4,58	4,42	4,63	4,38
2,9	2,75	4,25	4,38	4,21	4,25
3,9	2,67	4,63	4,30	4,58	4,17
4,9	2,88	4,63	4,00	4,00	4,42

sua despolarização (CACHORRO et al., 1994). Assim, uma quantidade suficiente de cálcio deve estar presente no meio externo de crescimento para manter a estabilidade das membranas, prevenir o vazamento do soluto para o citoplasma e regular a seletividade da absorção de íons (ASHRAF e O'LEARS, 1997).

No momento da colheita final (34 DAT), o teor de manganês (Mn) nas folhas variou entre 157,3 e 267,57 mg/kg (Quadro 19).

Quadro 19 – Teores de manganês (mg.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	152,75	108,98	144,88	182,67	157,30
1,9	155,62	109,22	146,27	156,42	201,33
2,9	176,23	180,70	232,70	204,47	201,72
3,9	280,55	201,22	273,02	283,67	267,57
4,9	182,95	220,08	260,82	256,85	267,28

Na colheita final, o teor de boro (B) nas folhas variou entre 28,17 e 57,39 mg/kg (Quadro 20).

Quadro 20 – Teores de boro (mg.kg^{-1}) na matéria seca de folhas de alface cv. Regina 440, influenciados pela condutividade elétrica da solução inicial e pela idade das plantas

CEi (dS/m)	Dias após o Transplântio (DAT)				
	8	16	24	30	34
0,9	34,19	59,43	25,73	45,51	28,17
1,9	32,80	83,24	33,85	57,56	42,95
2,9	31,52	79,56	34,62	37,21	48,96
3,9	33,01	64,17	39,27	40,08	57,39
4,9	36,52	76,39	49,11	50,39	45,29

O boro é um dos nutrientes que requer mais cuidados para se trabalhar, pois a faixa de concentração entre deficiência e toxidez é muito estreita. A disponibilidade de B decresce com o aumento do pH (MARSCHNER, 1995).

Os teores de Cu, Zn, Fe, Mn, Na e B nas folhas de alface ficaram próximos àqueles considerados adequados pela literatura (REUTER e ROBINSON, 1986; JONES Jr., 1991; SILVA Jr. e SOPRANO, 1997; MALAVOLTA et al., 1997; MARTINEZ et al., 1999). Portanto, com base nos teores de referência relatados pelos autores anteriormente descritos, conclui-se que os teores foliares dos micronutrientes foram considerados adequados em todos os tratamentos.

Os conteúdos de Cu, Zn, Fe e Na ajustaram-se ao modelo quadrático, em função do aumento da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva (Figuras 10 e 11). No entanto, os conteúdos de Mn e B ajustaram-se a um modelo linear e crescente com a elevação nos níveis da CE (Figura 12).

Já os conteúdos de Zn, Mn, Na e B nas plantas de alface aumentaram linearmente com o incremento da matéria seca (MS), enquanto os conteúdos de Cu e Fe ajustaram-se ao modelo quadrático, com aumentos da MS.

4.4. Composição mineral da solução

4.4.1. Macronutrientes

Durante a condução do experimento, não foi observado sintoma visual de deficiência em nenhum dos elementos minerais. É importante ressaltar que, para se adaptar aos diferentes tratamentos (CEi), as plantas utilizam mecanismos de regulação de absorção (MARSCHNER, 1995).

a) Nitrogênio

A concentração de nitrogênio (N) na solução diminuiu com a evolução do ciclo da cultura. Sabe-se que o N é um dos elementos mais sujeitos a diferenças entre a redução das quantidades em solução e as quantidades absorvidas pelas plantas (HEINEN et al., 1991). Segundo esses mesmos autores, a causa mais provável é a ocorrência da desnitrificação e, ou, imobilização na solução nutritiva.

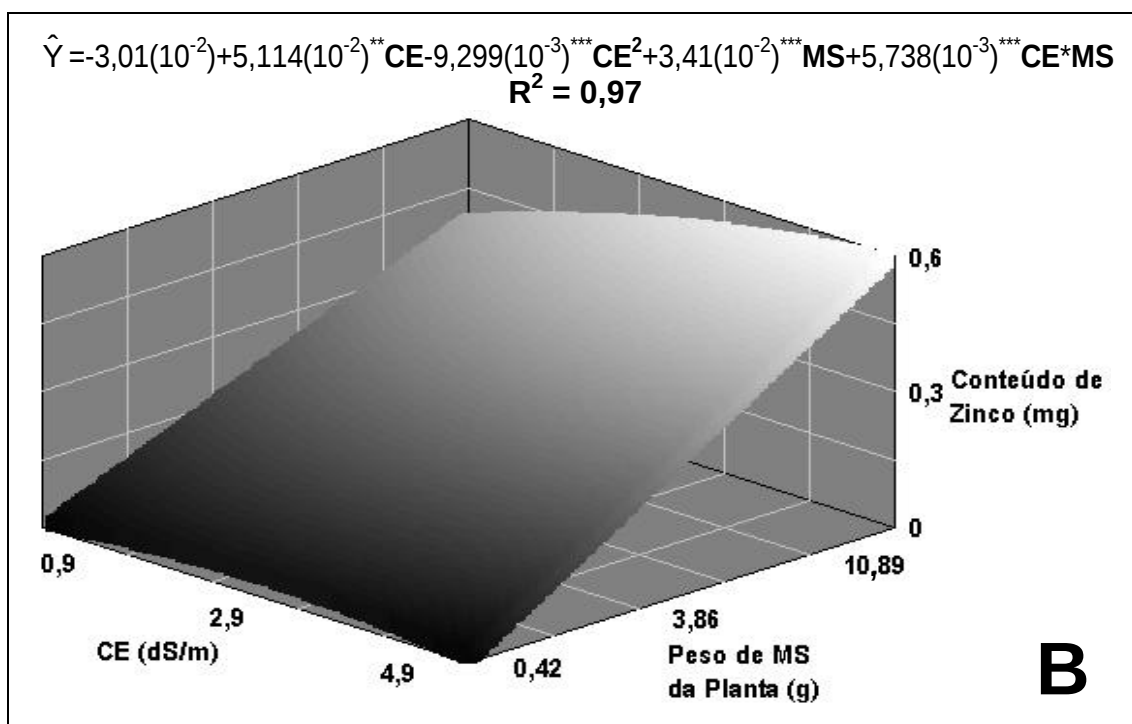
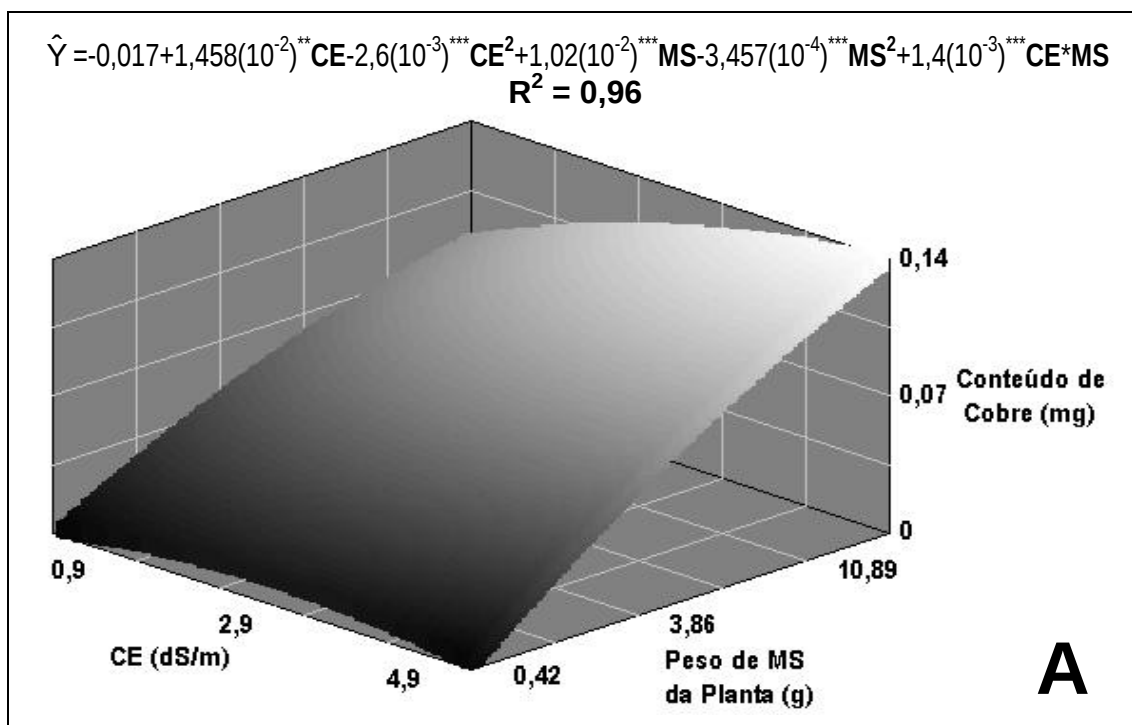


Figura 10 – Conteúdo de cobre (A) e zinco (B) (mg/planta) na alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do peso de matéria seca da planta (g) acumulada entre 0 e 34 DAT.

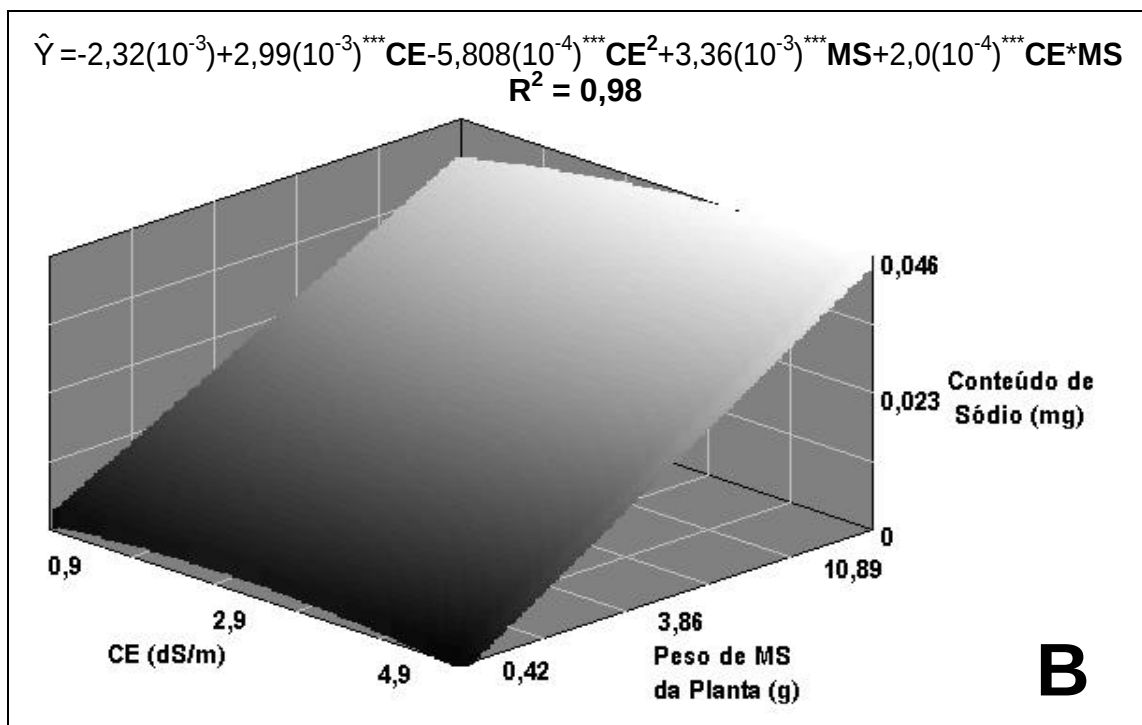
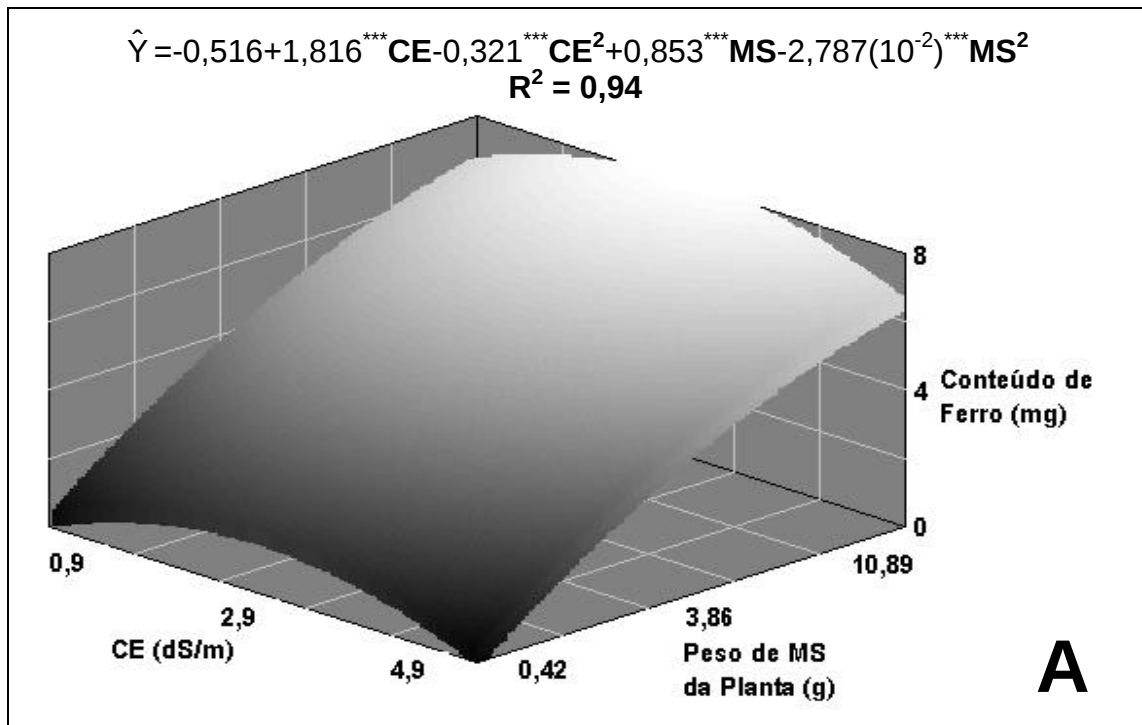


Figura 11 – Conteúdo de ferro (A) e sódio (B) (mg/planta) na alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do peso de matéria seca da planta (g) acumulada entre 0 e 34 DAT.

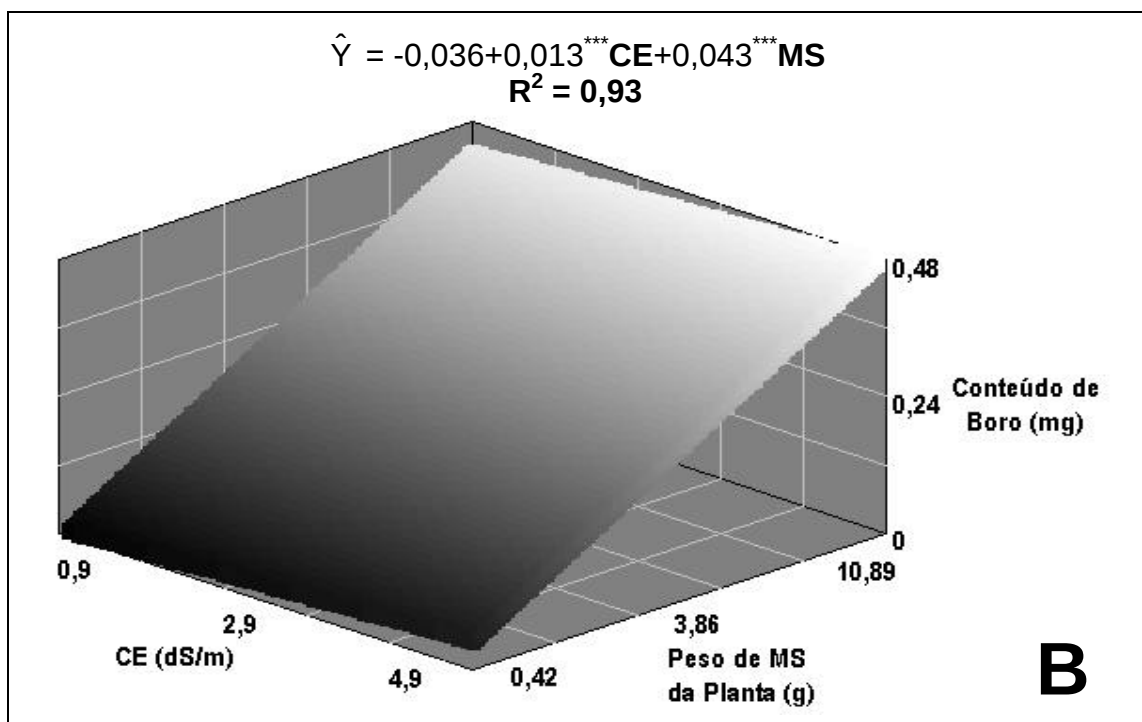
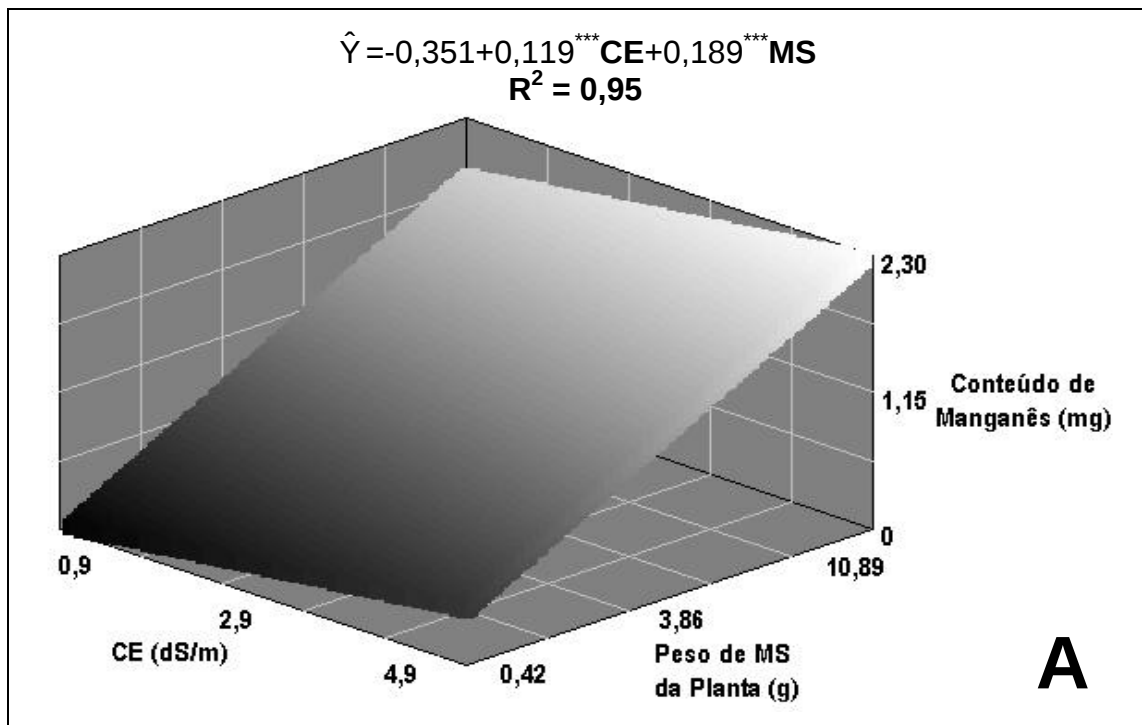
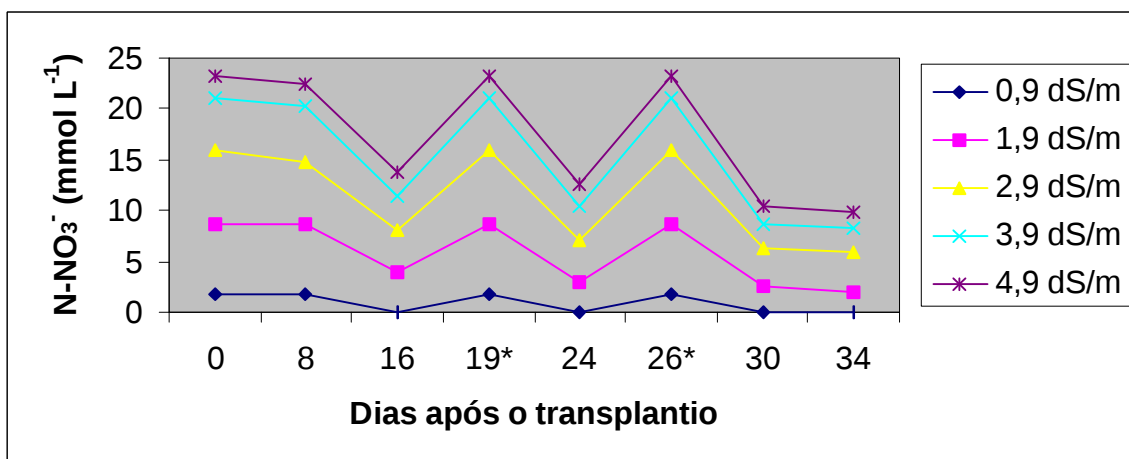


Figura 12 – Conteúdo de manganês (A) e boro (B) (mg/planta) na alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do peso de matéria seca da planta (g) acumulada entre 0 e 34 DAT.

a.1) Nitrato (N-NO_3^-)

A concentração de nitrato manteve-se relativamente estável até 8 DAT, em todos os tratamentos (Figura 13), provavelmente devido à baixa exigência da cultura nos primeiros 8 DAT.



* Dias em que houve renovação total da solução

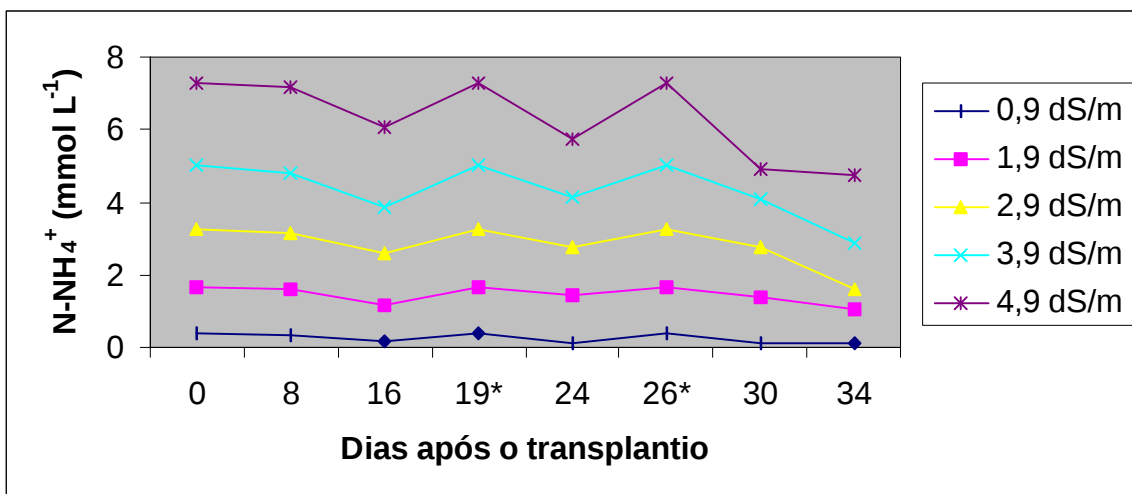
Figura 13 – Concentrações de nitrato em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

Com o aumento no tamanho e exigência nutricional da alface, houve, a partir de 8 DAT, uma queda rápida no teor de nitrato, que persistiu mesmo após as duas renovações totais efetuadas.

No final do ciclo (dos 30 aos 34 DAT), a redução no teor de nitrato voltou a ser mais lenta e no tratamento de 0,9 dS/m, chegou a zero.

a.2) Amônio (N-NH_4^+)

As concentrações de amônio nas soluções nutritivas reduziram-se até o 16º dia após o transplante (DAT) (Figura 14). No 19 e 26º DAT houve renovação total das soluções, ressaltando-se que as concentrações de amônio após essas renovações caíram mais bruscamente, principalmente depois da segunda renovação até a colheita final. Essa queda mais acentuada do meio para o final do ciclo pode ser atribuída ao maior tamanho das plantas e, por consequência, à sua maior capacidade de extração.



* Dias em que houve renovação total da solução

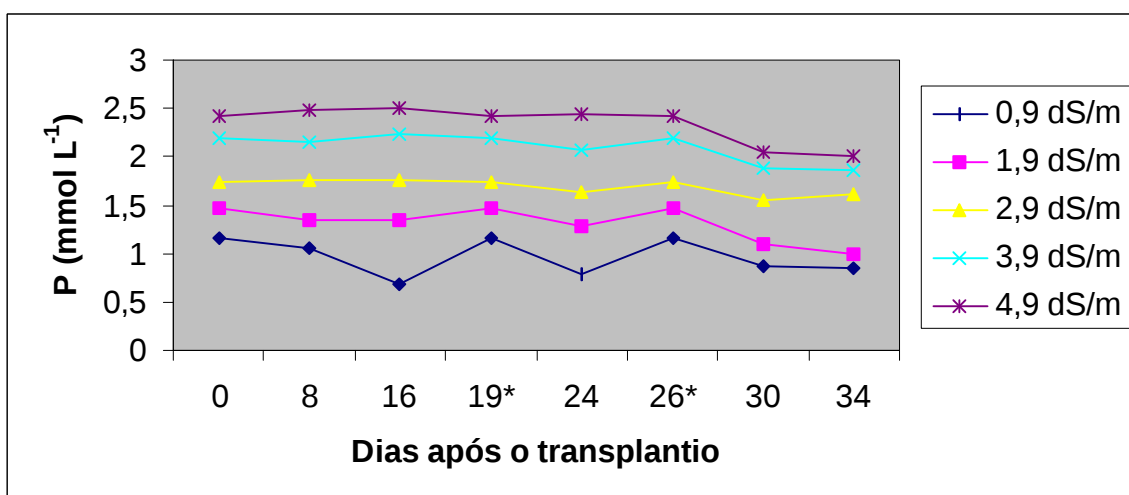
Figura 14 – Concentrações de amônio em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

b) Fósforo

A concentração de fósforo (P) reduziu-se ao longo do ciclo de maneira relativamente estável (Figura 15). A única exceção foi o tratamento com 0,9 dS/m, que teve quedas mais acentuadas.

O acréscimo em todos os vasos, antes do início do experimento, de 0,786 g.L⁻¹ de superfosfato simples pode ter contribuído para redução pouco acentuada do fósforo e enxofre na maioria dos tratamentos (exceto na condutividade elétrica de 0,9 dS/m sobre a concentração de fósforo e nas de 3,9 e 4,9 dS/m sobre a concentração de enxofre). Isso pode ter ocorrido pelo fato de o tratamento com 0,9 dS/m possuir o menor conteúdo de P por volume de solução, e, portanto, para fornecer a quantidade de P exigida pela alface haveria maior depleção relativa. No entanto, em cultivos comerciais que utilizam soluções menos concentradas deverão ser feitas mais reposições desse nutriente.

Somente no final do ciclo (30 a 34 DAT) as reduções nos teores de P em todas as soluções se estabilizaram (Figura 15).



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 15 – Concentrações de fósforo em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

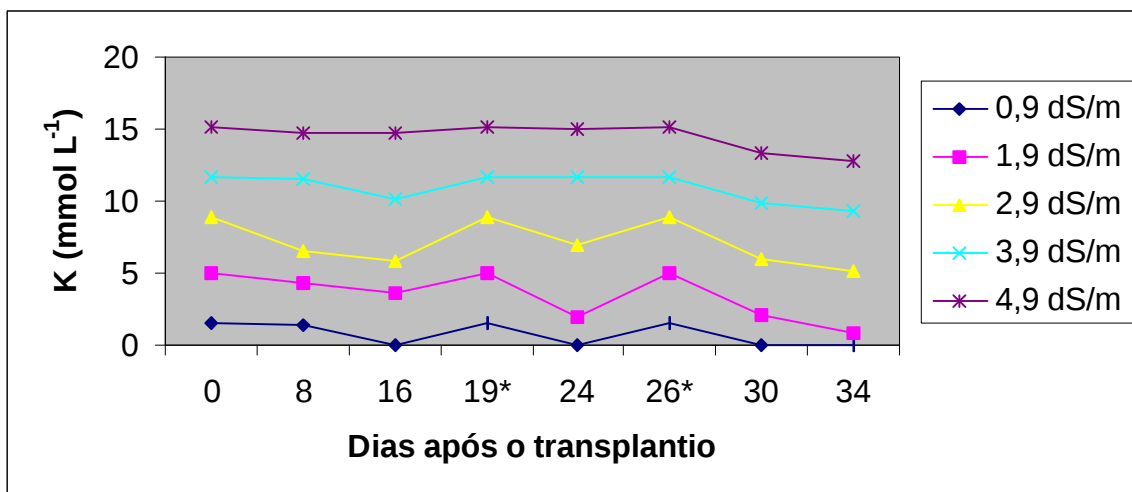
c) Potássio

A concentração de potássio (K) teve redução mais acentuada nos três primeiros tratamentos (0,9; 1,9; e 2,9 dS/m). A concentração de K no tratamento com 0,9 dS/m chegou a zero por diversas vezes durante o ciclo, enquanto na CE de 1,9 dS/m somente na colheita final (34 DAT) houve quase que exaustão total do K (Figura 16).

Nos tratamentos de 3,9 e 4,9 dS/m, a redução na concentração de K foi lenta em razão, possivelmente, do elevado conteúdo existente, tendo esses tratamentos tido resposta semelhante durante todo o ciclo.

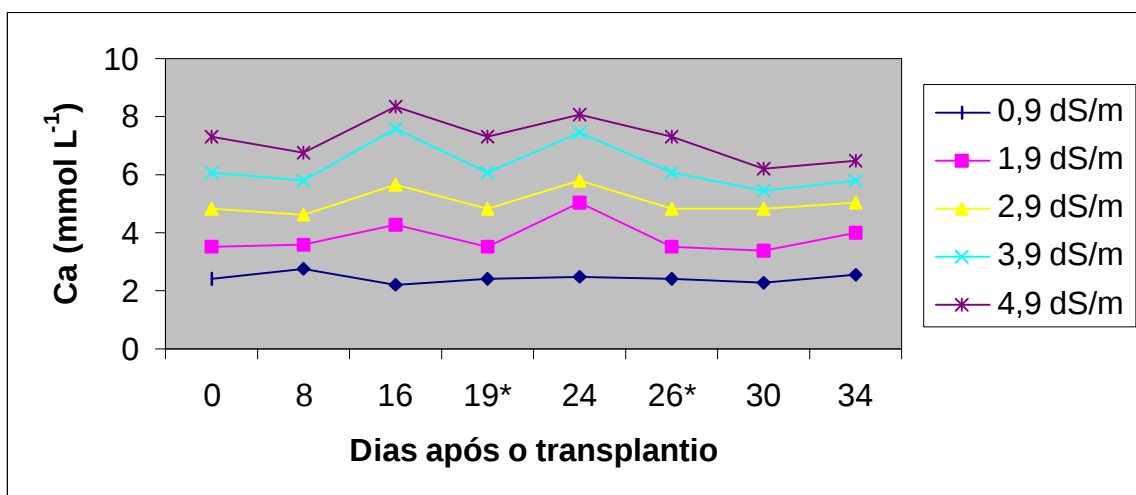
d) Cálcio

No período de 24 a 34 dias após o transplante houve diminuição nos teores de cálcio (Ca) da solução, nos tratamentos com 1,9 a 4,9 dS/m (Figura 17). Entretanto, nos outros períodos foram observados aumentos nos teores de Ca das soluções. Tais aumentos podem ser justificados pela presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) precipitado nos vasos e em equilíbrio com a solução.



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 16 – Concentrações de potássio em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

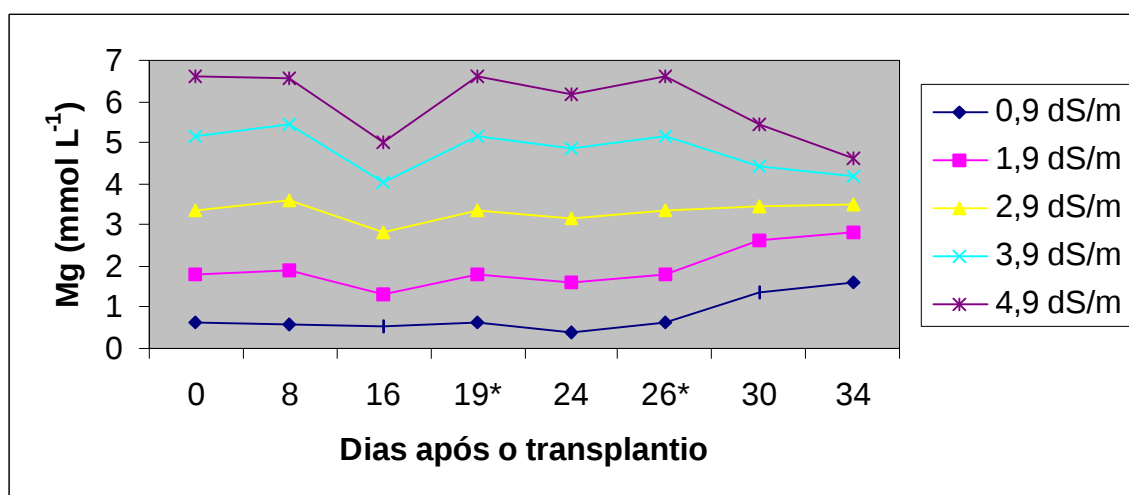


* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 17 – Concentrações de cálcio em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

e) Magnésio

Nos primeiros 26 dias após o transplante, o teor de magnésio (Mg) na solução foi semelhante nos tratamentos com 1,9 até 4,9 dS/m, caracterizando-se por redução mais acentuada no período de 8 a 16 DAT (Figura 18). No entanto, no tratamento 0,9 dS/m não houve queda no teor de Mg na solução durante todo o ciclo da cultura.



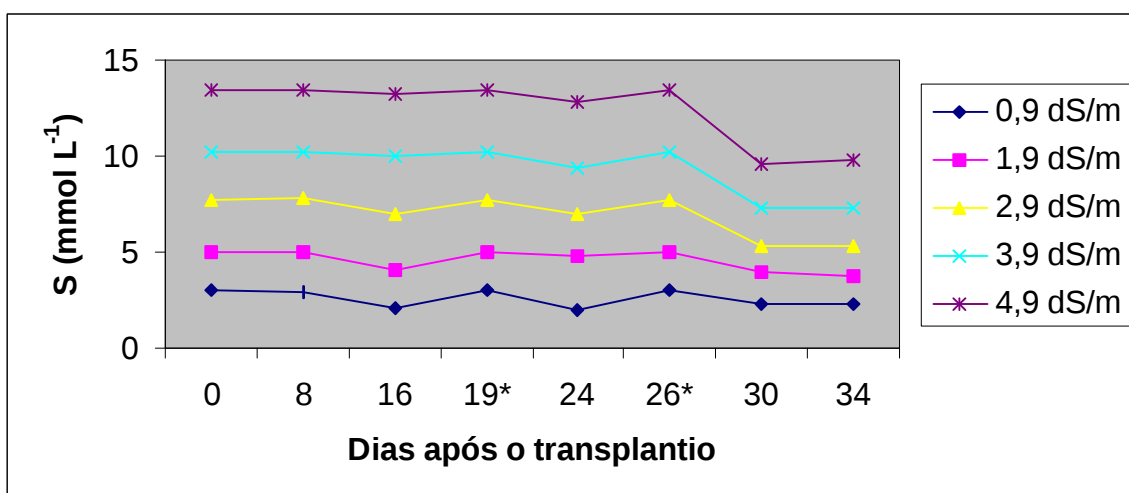
* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 18 – Concentrações de magnésio em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

Após a segunda troca de solução (26 DAT) houve resposta diferenciada de acordo com o tratamento. Nos tratamentos 0,9 dS/m e 1,9 dS/m ocorreu incremento no teor de Mg, enquanto com 2,9 dS/m a estabilidade no teor de Mg foi mantida e ainda, com 3,9 dS/m e 4,9 dS/m, houve redução da concentração.

f) Enxofre

Em todos os tratamentos, a concentração de enxofre (S) foi estável, havendo poucas variações até os 26 DAT, havendo, posteriormente, redução nos teores até os 30 DAT, resultado da maior exigência das plantas. A partir dos 30 DAT, o teor de S novamente se estabilizou, provavelmente pela diminuição da exigência nutricional da planta (Figura 19).



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 19 – Concentrações de enxofre em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

4.4.2. Micronutrientes

No experimento não foram observados sintomas visuais de deficiência em nenhum dos micronutrientes.

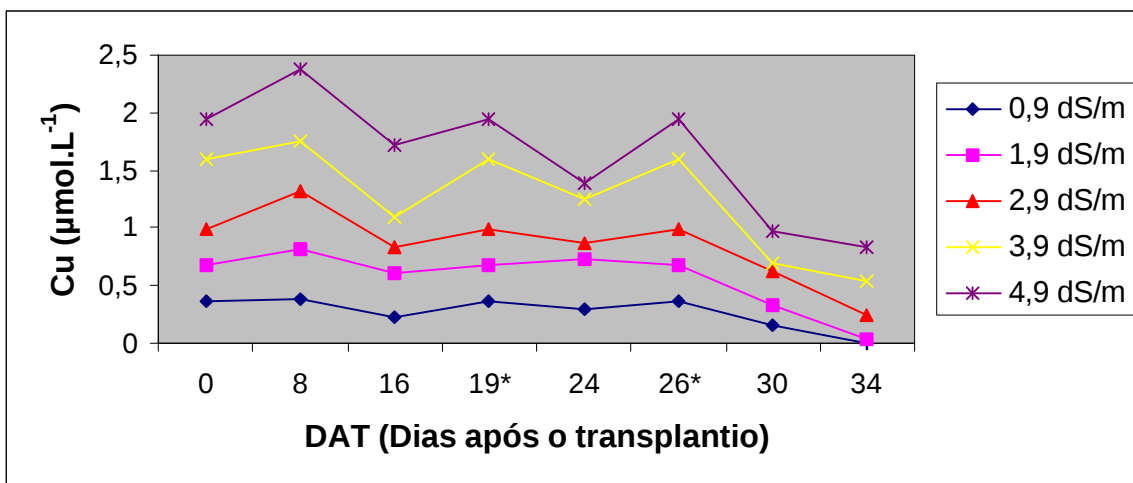
a) Cobre, ferro e manganês

As concentrações de cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn) variaram de maneira parecida, em que no período de 0 a 8 DAT os tratamentos com 0,9 até 2,9 dS/m se mantiveram relativamente estáveis, enquanto nos tratamentos com 3,9 e 4,9 dS/m houve aumentos (Figuras 20, 21 e 22).

Após o 8^o DAT até a colheita final houve maior consumo destes nutrientes da solução, entretanto somente a concentração de Cu reduziu-se de maneira mais acentuada.

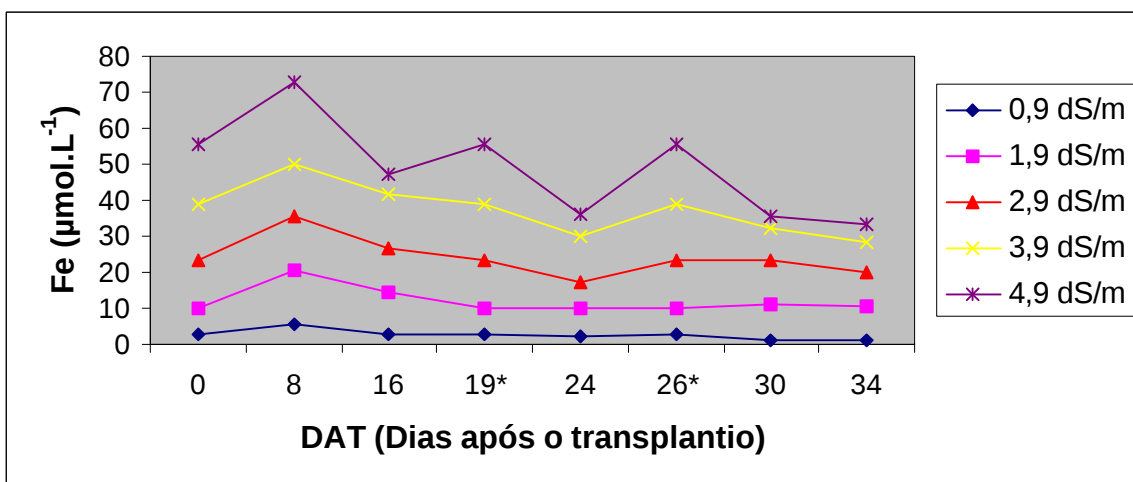
b) Sódio e boro

As concentrações de sódio (Na) e boro (B) tiveram respostas parecidas ao longo do tempo, uma vez que até o 8^o DAT e entre o 30 e 34^o DAT as concentrações destes nutrientes permaneceram estáveis (Figuras 23 e 24). Contudo, do 8 até o 30^o DAT a redução na concentração de Na deu-se de forma mais acentuada do que a de B.



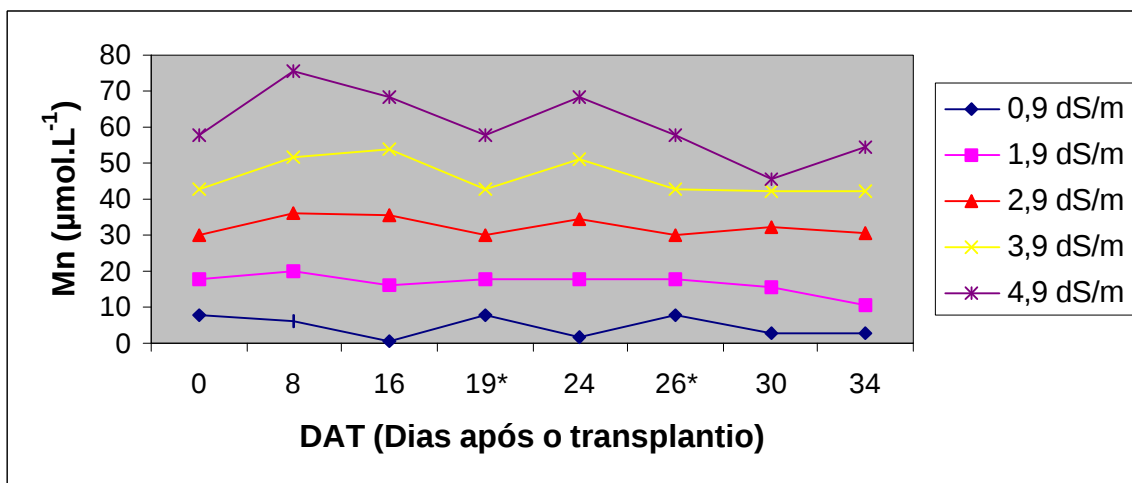
* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 20 – Concentrações de cobre em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).



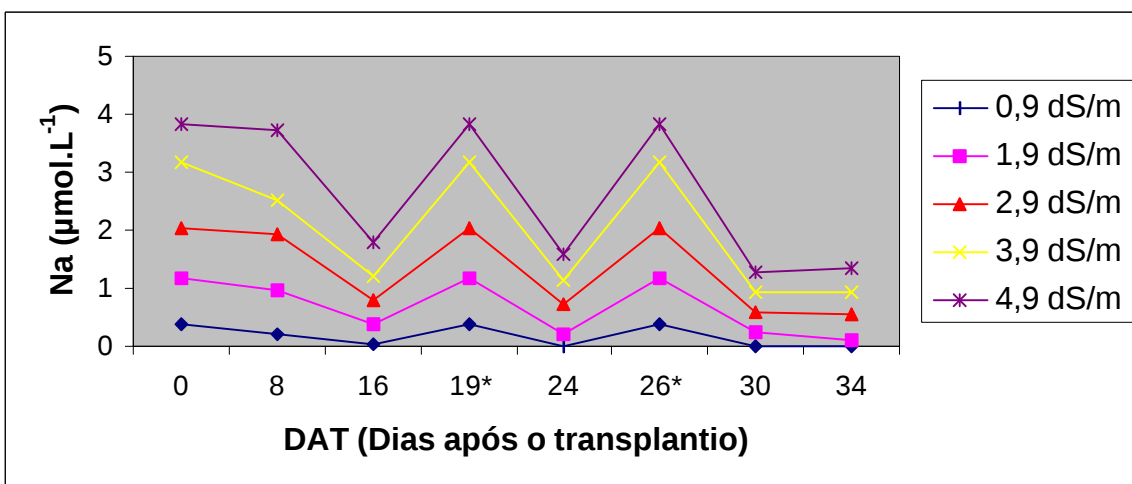
* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 21 – Concentrações de ferro em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).



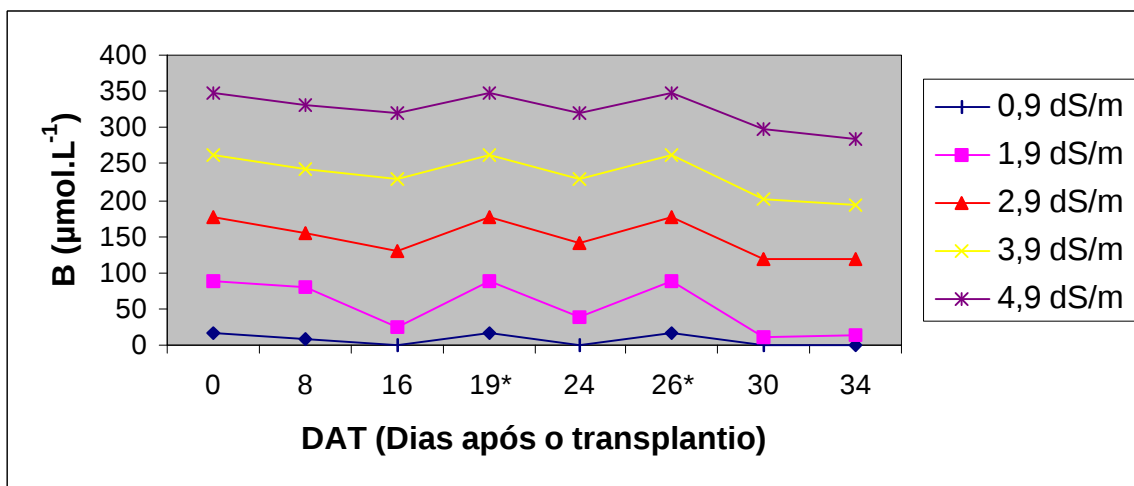
* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 22 – Concentrações de manganês em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 23 – Concentrações de sódio em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

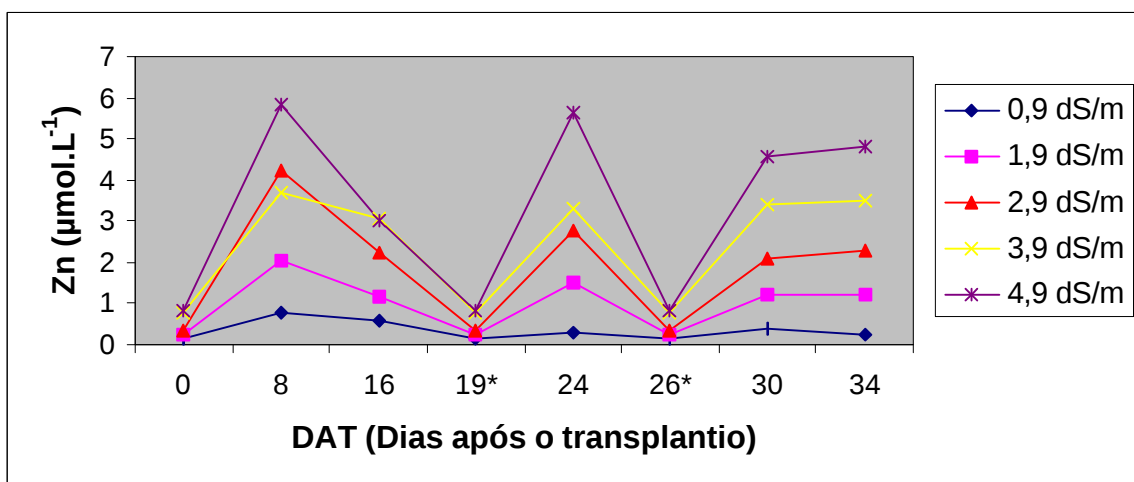


* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 24 – Concentrações de boro em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

c) Zinco

A concentração de zinco (Zn) aumentou muito ao longo do tempo (Figura 25).



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 25 – Concentrações de zinco em soluções nutritivas com diferentes CE, em função do tempo (DAT).

A concentração de Zn teve seus valores reduzidos entre o 8 e o 16^o DAT, devido à maior absorção pelas plantas nessa fase. Porém, nos outros períodos, observou-se grande aumento na concentração deste micronutriente, o qual atingiu valores bem maiores do que aqueles fornecidos à solução. LONDERO (2000) e KOEFENDER (1996) também tiveram problemas com alguns micronutrientes, ressaltando-se que alguns deles apresentaram valores superiores aos adicionados à solução durante o cultivo. Segundo esses mesmos autores, tal fato pode ser explicado por contaminações da solução ou, ainda, por erros analíticos.

4.5. Consumo de solução, pH e condutividade elétrica

4.5.1. Consumo de solução nutritiva

O consumo de solução nutritiva pelas plantas de alface em geral mostrou tendência de ser menor nos tratamentos com 0,9 e 4,9 dS/m (Figura 26). Entre o 22 e o 30^o DAT houve maior consumo de solução. Tais resultados são semelhantes aos de SILVA (1999), que, trabalhando com alface cultivar Regina 440 em hidroponia, observou estar o consumo máximo de solução entre o 22 e o 26^o DAT.

O aumento da área foliar das plantas, no período do 22 ao 26^o DAT, contribuiu bastante para a elevação no consumo de solução. No entanto, não foi observado aumento acentuado da temperatura ou mesmo redução da umidade relativa (Figuras 1 e 2), o que certamente poderia afetar o consumo de solução.

O volume total de solução absorvido pelas plantas ao longo do tempo alcançou o valor máximo de 3,17 litros por planta, na condutividade elétrica (CE) de 2,6 dS/m, na colheita final (34 DAT).

Constatou-se que o volume total consumido ajustou-se bem ao modelo quadrático de crescimento em função dos níveis crescentes de CE. Entretanto, o consumo de solução nutritiva traduziu-se em um modelo linear e crescente ao longo do tempo (Figura 26).

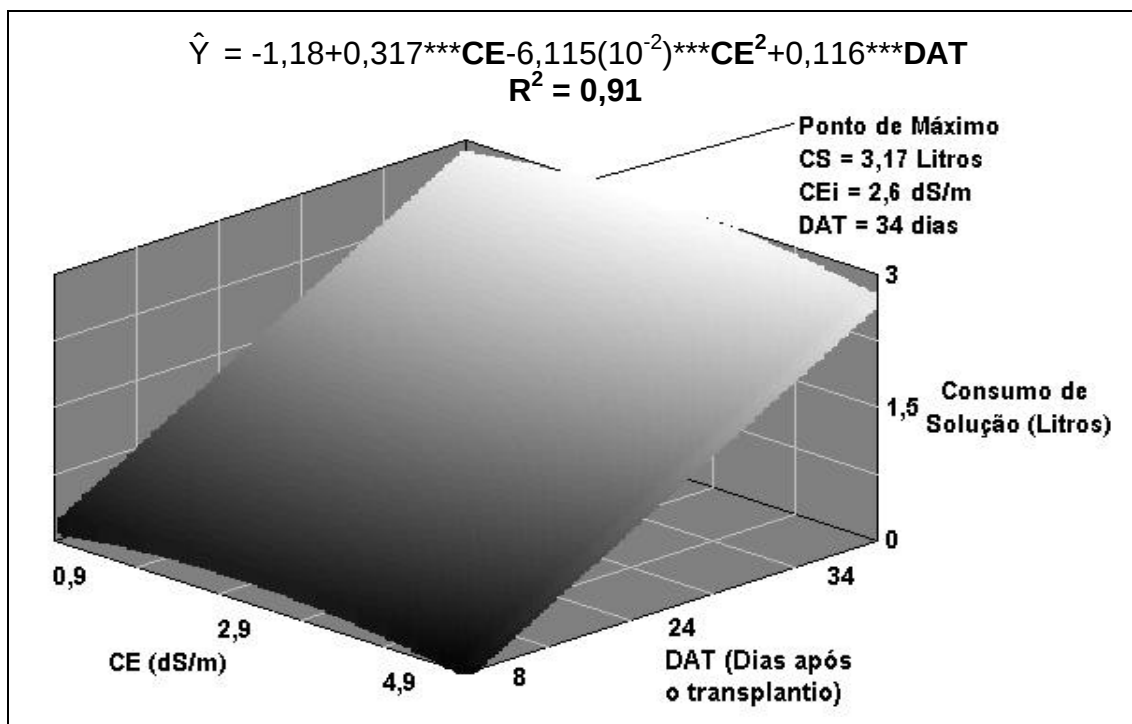


Figura 26 – Consumo de solução por planta (litros) pela alface cv. Regina 440, em função da condutividade elétrica (dS/m) da solução nutritiva e do tempo após o transplântio (DAT).

A alta concentração de sais reduz o potencial osmótico da solução, deixando a água cada vez menos disponível para as plantas. Com pouca disponibilidade de água, as plantas não se desenvolvem satisfatoriamente, resultando em reduções significativas da produção (LARCHER, 2000; HO e ADAMS, 1995).

STANGHELLINI (2000) afirmou que a alta CE da solução nutritiva diminui a absorção de água pelo tomateiro e, ainda, que esse efeito é notado na CE da solução nutritiva acima de 2,0 dS/m.

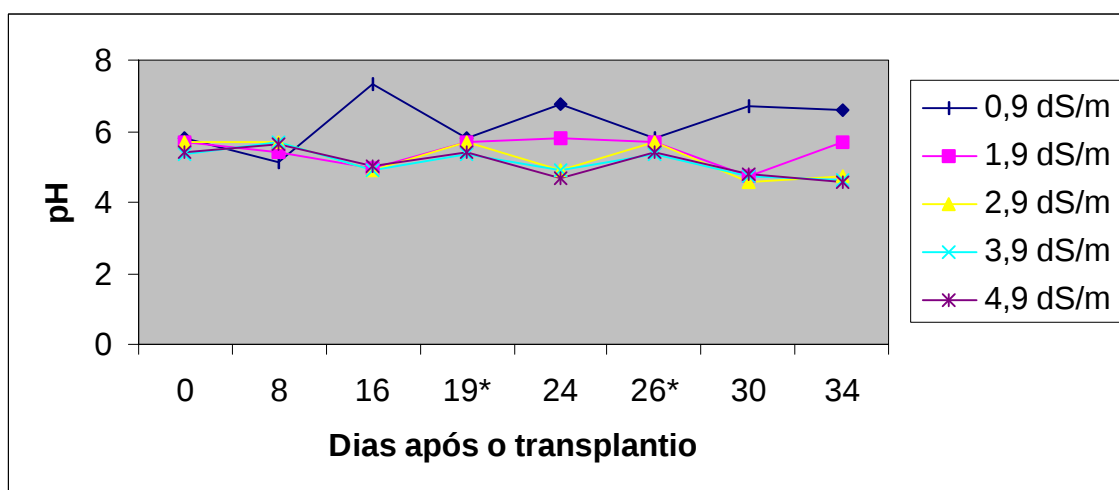
De acordo com AL-HARBI (1994), que trabalhou com pepino (*Cucumis sativus* L.) em diferentes condutividades elétricas (2,5 e 8,5 dS/m), a salinidade afeta a disponibilidade de água, devido ao decréscimo no potencial osmótico da solução nutritiva, reduzindo o fluxo de água para o interior da raiz.

CHRÉTIEN e GOSSELIN (2000) reportaram que a salinidade afeta o tamanho do fruto pela redução do conteúdo de água mais que pela diminuição no acúmulo de matéria seca.

4.5.2. pH

O pH da solução nutritiva nos tratamentos com 1,9; 2,9; 3,9; e 4,9 dS/m reduziu-se gradualmente até o 16^o DAT, variando de 6 para aproximadamente 5. Provavelmente, a diminuição observada deve-se à capacidade que a alface tem em absorver preferencialmente maiores proporções de cátions (amônio, potássio, cálcio, magnésio etc.), em relação aos ânions. A maior absorção de cátions resulta em liberação de H^+ no meio, causando redução no pH. Esses resultados concordam com os observados por CLARK (1982).

O único tratamento que teve diminuição um pouco mais acentuada do pH nos primeiros 8 DAT foi a CE de 0,9 dS/m, pois o pouco conteúdo de $N-NH_4^+$ foi rapidamente consumido pela planta (Figura 27).



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 27 – Valores de pH nas diferentes soluções nutritivas, em função do tempo após o transplante e a condutividade elétrica.

Após o 8^o DAT, a única fonte de nitrogênio no tratamento com 0,9 dS/m era a nítrica, havendo, então, aumento no valor do pH para $\pm 7,5$. Isso é justificado pelo fato de a alface passar a absorver maiores quantidades de $N-NO_3^-$ e, assim, liberar OH^- e, ou, HCO_3^- , acidificando o meio (MARSCHNER,

1995). Tal mudança não ocorreu nos demais tratamentos, pois o conteúdo de N-NH_4^+ na solução era maior.

Ao efetuar as duas renovações totais das soluções (19 e 26 DAT), observou-se que o pH diminuiu nos tratamentos com 2,9 a 4,9 dS/m, possivelmente pelo maior conteúdo de cátions.

Após a primeira renovação (19 DAT), o tratamento com 0,9 dS/m continuou tendo a tendência de aumento de pH, já que a planta mais velha e com maior capacidade de extração consumiu todo o N-NH_4^+ existente (Figura 27) e passou a consumir a fonte nítrica. No entanto, os tratamentos com 2,9; 3,9; e 4,9 dS/m tinham uma grande quantidade de N-NH_4^+ na solução e, portanto, por absorver maior proporção de nitrogênio na forma amoniacal, ocorreu redução do pH. Já o tratamento 1,9 dS/m passou a ter um comportamento mais equilibrado na relação entre os teores de $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$.

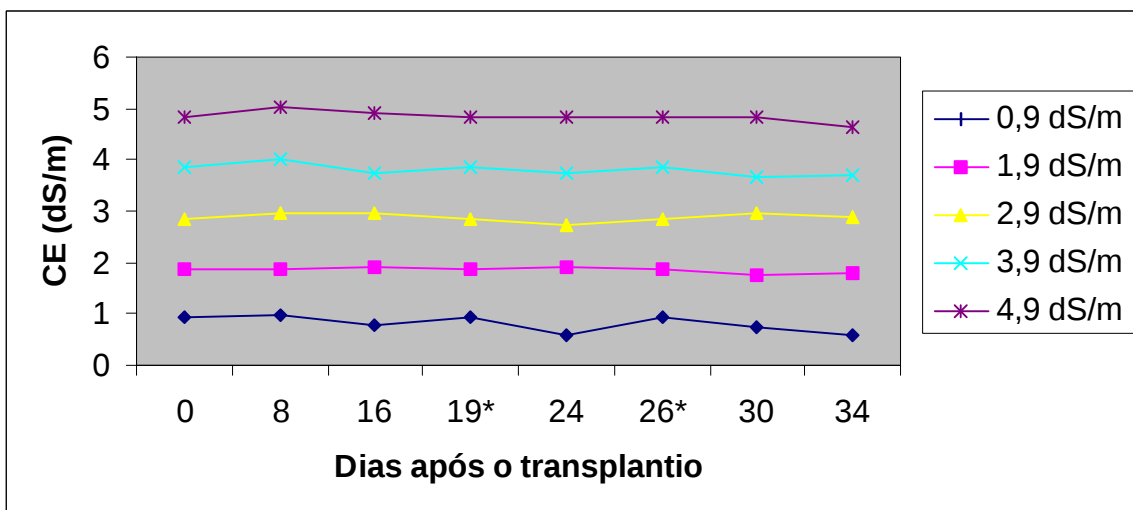
Da segunda renovação (26 DAT) até os 30 DAT ocorreu diminuição de pH nos tratamentos com 1,9 a 4,9 dS/m, enquanto no tratamento 0,9 dS/m houve aumento. E ainda, no período de 30 a 34 DAT, o pH aumentou nos tratamentos com 0,9 a 2,9 dS/m e diminuiu nos com 3,9 e 4,9 dS/m.

4.5.3. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) com 0,9 dS/m apresentou maior variação, pois tinha as menores quantidades de nutrientes na solução (Figura 28). Entretanto, nos primeiros 8 DAT o tratamento 0,9 dS/m manteve-se praticamente constante, já que as plantas tinham pequena capacidade de absorção.

A partir do 8 DAT, a capacidade de absorção de nutrientes pela alfaca aumentou bastante e começou a provocar redução nos teores dos nutrientes da solução e, por consequência, diminuição na CE.

Durante o experimento houve pouca variação da CE nos tratamentos com 1,9 a 4,9 dS/m. Sabe-se que a CE tem correlação linear com as concentrações de nutrientes na solução (RESH, 1987), e, portanto, a pouca variação ocorrida no período pode ser atribuída à elevada quantidade de nutrientes nessas soluções.



* Dias em que houve renovação total da solução

Figura 28 – Condutividade elétrica nas diferentes soluções nutritivas, em função do tempo e da condutividade elétrica.

A CE é um dos aspectos mais importantes que devem ser observados para que o meio hidropônico se torne adequado ao crescimento das plantas. A CE muito alta, ou muito baixa, pode ser limitante para o bom andamento do cultivo hidropônico, como observaram SCHWARZ e KUCHENBUCH (1997), trabalhando com tomates.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar o crescimento da alface em hidroponia e monitorar as concentrações dos nutrientes nas soluções nutritivas e nas plantas de alface, influenciadas pelo aumento nos níveis da condutividade elétrica ao longo do ciclo de cultivo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do DFT, em Viçosa, MG, em vasos contendo 10 litros de solução nutritiva aerada.

Os tratamentos testados foram soluções de diferentes condutividades elétricas (0,9; 1,9; 2,9; 3,9; e 4,9 dS/m) e épocas de colheita em dias após o transplântio (8, 16, 24, 30 e 34 dias).

Avaliaram-se as seguintes características: pesos de matéria fresca (MF) e de matéria seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), volume de raízes (VR), consumo de água pelas plantas, pH, condutividade elétrica (CE) da solução e concentrações de macro e micronutrientes na solução nutritiva e nas plantas de alface, durante o ciclo da cultura.

Observou-se que:

As CE 2,9 e 2,8 proporcionaram os melhores resultados, em termos de produção (MF e MS). E, ainda, os melhores resultados das características de crescimento (AF, NF, CC, DC e VR) foram obtidos com condutividades elétricas, que variaram entre 2,5 e 3,1 dS/m.

Aos 34 dias após o transplante, obtiveram-se os melhores resultados de produção e crescimento.

Com relação à produção e às características de crescimento estudadas, foram obtidas respostas quadráticas, à medida que se aumentava a CE das soluções. O peso de MF, AF, CC, DC e VR ajustou-se a modelos lineares de regressão, enquanto o peso da MS e NF, aos modelos quadráticos em função do aumento da idade da planta.

Os conteúdos de N, P, K, Ca, S, Cu, Fe, Zn e Na se ajustaram bem ao modelo quadrático, enquanto os conteúdos de Mg, Mn e B nas plantas, a um modelo linear com o incremento dos níveis de CE na solução nutritiva.

O consumo de solução nutritiva ajustou-se de maneira linear e crescente em relação ao aumento do tempo de cultivo e quadrático em relação ao aumento dos níveis da CE.

O tratamento 1,9 dS/m mostrou ser o mais equilibrado, em relação às alterações de pH.

O tratamento que teve as maiores variações na CE foi o com 0,9 dS/m, enquanto nos outros tratamentos as variações foram menores.

CAPÍTULO 2

CRITÉRIOS PARA REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES À SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO DE ALFACE, BASEADOS EM MODELOS PREDITIVOS

1. INTRODUÇÃO

Para a manutenção do meio nutritivo propício ao desenvolvimento das plantas em hidroponia é necessário um controle contínuo, tanto pela adição de nutrientes quanto pela renovação completa da solução nutritiva. O controle pode ser estimado pela observação visual da planta, bem como por análises químicas da solução, realizadas periodicamente (HOAGLAND e ARNON, 1950).

O objetivo do controle da solução nutritiva não é apenas manter a composição química do sistema hidropônico, mas também proporcionar às plantas, em cada estágio de seu crescimento, quantidades e proporções adequadas dos nutrientes.

Análises periódicas da solução nutritiva permitem a reposição dos nutrientes com pequena possibilidade de erro, ressaltando-se que, nesse caso, suplementam-se os nutrientes na proporção exata em que foram consumidos (MARTINEZ, 1999). Contudo, esse método tem a desvantagem de ser caro e nem sempre viável.

Atualmente, no Brasil, a reposição da solução nutritiva em hidroponia comercial é feita baseada apenas na condutividade elétrica (CE). Entretanto, esse critério leva ao desbalanço da solução, tornando-se necessárias trocas mais freqüentes. A CE é uma medida de concentração total dos íons dissolvidos na solução nutritiva, portanto os nutrientes, quando fornecidos em proporções iguais às da solução inicial, podem levar a acúmulos e desbalanços.

Monitoramento e reposição mais eficientes da solução nutritiva, além de melhorarem a nutrição da planta, economizar água, nutrientes, energia e mão-de-obra, reduzem o impacto no ambiente.

Estimar a absorção mineral em um curto prazo (menos que um dia) ainda é um desafio para a hidroponia. O que existe atualmente são receitas empíricas, como a manutenção ou renovação da solução nutritiva baseada na produção de matéria seca da planta, depleção máxima, condutividade elétrica, curva de absorção dos nutrientes, adições constantes, taxa de influxo de nutrientes e adição programada. Ou, ainda, receitas que, apesar de terem rigor científico, são de difícil utilização pelo produtor, devido ao elevado custo, ficando, assim, restritas a centros de pesquisa. Como exemplos, têm-se monitoramento de íons individuais na solução e monitoramento automático da solução nutritiva para sistema recirculante.

GOZALEZ-REAL (1996) afirmou que, em breve, a criação de modelos matemáticos capazes de prever a dinâmica de absorção dos nutrientes em solução nutritiva facilitará o manejo por parte do produtor.

O objetivo deste trabalho é desenvolver metodologia eficiente e simples, para a manutenção de solução nutritiva durante o cultivo de alface, visando à economia de água, nutrientes e energia, com base em modelos estatísticos ajustados às características de crescimento e, ou, absorção de nutrientes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Técnicas de manejo da solução nutritiva

A composição ou formulação ideal da solução nutritiva é aquela que atende às exigências nutricionais da espécie ou variedade cultivada, em todas as fases do seu ciclo.

Estudos da nutrição mineral de hortaliças cultivadas em hidroponia são essenciais para a determinação das exigências nutricionais de cada espécie (FAQUIN e FURLANI, 1999). O estabelecimento das concentrações e proporções dos nutrientes, tanto para a formulação da solução nutritiva básica quanto para a solução de reposição, é fundamental para o bom desenvolvimento da cultura.

Durante o desenvolvimento do cultivo hidropônico comercial, os sistemas de manejo foram evoluindo. Inicialmente, procurava-se renovar periodicamente a solução nutritiva, entretanto essa prática ocasionava desperdícios e poluição ambiental. Posteriormente, o manejo da solução foi feito pela adição de sais, proporcional ao volume de água consumida pelas plantas, usando como critério os valores de evapotranspiração. Essa prática provocava aumentos nas concentrações de nutrientes extraídos em menores quantidades e poderá levar à deficiência dos nutrientes extraídos em maiores quantidades (FURLANI et al., 1999). Embora fácil de usar na prática, esse

critério foi substituído pelo controle da concentração salina mediante o monitoramento com condutivímetro.

Novas técnicas de manejo da solução nutritiva continuam sendo estudadas, sempre objetivando a redução dos gastos com mão-de-obra e do desperdício de fertilizantes e água, protegendo, dessa maneira, também o meio ambiente (SILVA, 1999; BERRY, 1996).

A solução nutritiva pode ser monitorada com base na produção de matéria seca da planta, utilizando, para tanto, a curva de crescimento e a taxa de crescimento relativo, escolhendo-se, dessa maneira, o intervalo de troca (RESH, 1987).

De acordo com ASHER e EDWARDS (1983), o intervalo de troca da solução nutritiva pode ser determinado com base na depleção máxima, segundo a equação:

$$T = \frac{D}{100} \times \frac{V}{R} \times \frac{C}{U}$$

em que:

D=depleção máxima admitida (%);

R=peso de matéria fresca da raiz/vaso ou planta (g);

U=taxa de absorção por unidade de peso de raiz na concentração C ($\mu\text{mol.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ na matéria fresca);

V=volume da solução/vaso ou planta (L); e

C=concentração inicial de um íon na solução ($\mu\text{mol / L}$).

ASHER e EDWARDS (1983) citaram valores de depleção máxima de apenas 5 ou 10% e taxas (V/R) de 0,1; 0,5; e 2,5 (L/g).

Outra maneira de se monitorar a solução nutritiva é com base na condutividade elétrica e curvas de absorção de nutrientes. De qualquer modo, segundo RESH (1987), de forma geral não se deve utilizar a solução nutritiva por um período maior do que dois ou três meses sem efetuar a troca completa da solução. Quando não se efetuaram análises semanais, a utilização da solução nunca deve ser maior do que duas ou três semanas.

A solução nutritiva pode ser manejada por meio de adições constantes dos nutrientes. Segundo RESH (1987), a concentração total de nutrientes em uma solução nutritiva deve estar entre 1.000 e 1.500 mg/L de sais, de forma

que a pressão osmótica favoreça a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Em geral, valores menores (1,5 a 2,5 dS/m) são preferidos para pepino, enquanto valores maiores (2,5 a 3,5 dS/m) são melhores para tomate.

Em alguns casos, é possível adicionar parte da formulação entre uma e outra troca, porém isso é apenas uma aproximação, e pode-se cometer grave erro ao produzir concentrações excessivas nas soluções de alguns nutrientes que as plantas absorvem somente em pequenas quantidades.

WILLUMSEM (1984) estudou os efeitos da variação na composição química da solução recirculante para o cultivo de alface. A condutividade elétrica e o volume de cada solução foram medidos e ajustados, diariamente, pela adição de água desmineralizada, de acordo com a expectativa de absorção pelas plantas.

O monitoramento da solução nutritiva pode ser feito baseado no influxo de íons. A taxa média de influxo de nutrientes está relacionada com a concentração dos nutrientes na matéria seca, portanto a quantidade e época de adição de nutrientes para manutenção na solução podem ser calculadas a partir de dados de análise de plantas.

Por ser um método que propõe o fornecimento dos nutrientes necessários com base na produção de matéria seca, nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas apresenta a vantagem de dificilmente provocar salinização da solução.

O monitoramento do “status” nutricional com base em análise de tecidos das plantas é um processo trabalhoso e demorado, não sendo possível realizá-lo com a rapidez necessária para garantir o rápido crescimento das plantas. A análise da seiva de caule e de folhas descrita por SMITH (1988) tem sido considerada um método apropriado para diagnose de deficiência nutricional, fornecendo informações para ajustes do programa de fertilização.

Segundo ASHER e BLAMEY (1987), a solução nutritiva pode ser monitorada com base na adição programada de nutrientes, em que o suprimento de cada nutriente é dividido entre uma série de adições, cuja frequência e quantidade são determinadas por curvas de crescimento. As adições necessitam ser pequenas e freqüentes o suficiente para prevenir o estresse. Com o rápido crescimento das plantas, as adições podem ser

requeridas de forma mais freqüente, como a cada dois dias; em outros casos, aplicações menos freqüentes podem ser satisfatórias.

Pode-se também fazer o monitoramento de íons individuais da solução nutritiva, em que a água e os nutrientes são adicionados na solução para repor perdas por transpiração e nutrientes absorvidos pelas plantas.

O controle de íons individuais é obtido pela análise química da solução nutritiva a cada duas ou três semanas. Entretanto, a concentração de nutrientes na solução pode ser modificada em função da hora do dia, estágio de crescimento e temperatura da solução (BAILEY et al., 1988). Além disso, o fornecimento de íons como sódio e cloreto pela água pode contribuir para aumentar a condutividade elétrica, e a concentração de íons essenciais pode diminuir se a condutividade for mantida num valor fixo.

Existe também o monitoramento automático da solução nutritiva em sistemas recirculantes, que consistem na mudança de sistemas abertos para sistemas fechados. Sistema fechado é aquele em que há reciclagem da solução drenada. Em muitos casos, os nutrientes são supridos em excesso para prevenir limitação nutricional às plantas. A solução drenada contém cerca de 20 a 40% dos fertilizantes aplicados e, usualmente, não é reciclada, sendo descartada no solo ou nos rios (MORARD, 1997). A perda desses efluentes tem dois tipos de efeitos indesejáveis:

- a) Corresponde a uma perda, estimada para a cultura de tomate de 2.800 m³ de água e 2,5 toneladas de sais e 1.700 kg/ha/ano de nitrato (MORARD, 1997).
- b) O custo do “input” requerido para a cultura é aumentado e, por conseguinte, a solução nutritiva, não utilizada. Nesse caso, na cultura do tomate em substrato de lã-de-rocha isso representa perda de 4,30 francos franceses por m²/ano.

A solução nutritiva recirculante pode ser monitorada por meio da condutividade elétrica, já que o sucesso do cultivo usando a recirculação da solução nutritiva é conseguido se as relações entre nutrientes forem mantidas em igual proporção do influxo líquido pelas plantas e capacidade de manter o balanço entre cátions e ânions, havendo, por conseqüência, o controle do pH.

BÖHME (1997) comparou os sistemas aberto e fechado de circulação da solução nutritiva sobre a produção de pepino, não constatando diferença na

produção deste. No sistema fechado, entretanto, foi necessária menor quantidade de água e nutrientes, e observou-se, também, alta concentração de cálcio, sódio, cloreto e sulfato na água drenada.

Segundo SAROOSHI e CRESSWELL (1994), para a produção de morango na Austrália, utilizando o sistema circulante, a solução tem sido manejada de duas formas. Na primeira, a água e nutrientes removidos pela cultura ou perdidos por evaporação são adicionados a cada dia para manter constante a condutividade elétrica, e a solução nutritiva é trocada a cada 6 – 8 semanas. Na segunda, nenhum ajustamento diário é feito, e a troca é realizada quando a solução nutritiva atinge certa depleção.

A radiação solar pode ser utilizada como base para o monitoramento da solução nutritiva. Sabe-se que a concentração da solução nutritiva em cultivo hidropônico tem grande influência sobre o crescimento, a produção e a qualidade das plantas. De acordo com ROH e LEE (1996), a concentração da solução pode ser alterada de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta e fatores climáticos. Esses autores relataram que a concentração da solução, bem como a quantidade de irrigação, pode variar de acordo com a radiação solar. Resultados semelhantes também foram obtidos por BRUN et al. (1993) ao testarem diferentes formas de manejo da solução para cultivo de rosas em lâ-de-rocha, verificando que variações na radiação solar e umidade relativa tiveram grande influência na CE da solução drenada.

ROH e LEE (1996) desenvolveram um sistema de irrigação monitorado por computador, o qual pode controlar a concentração da solução nutritiva com base na radiação solar diária e estágio de desenvolvimento de plantas de melão. Esses autores apresentaram dados de correlação entre a radiação solar medida durante uma hora na parte da manhã e a radiação solar diária, indicando que a radiação solar diária pode ser predita pela avaliação desta apenas durante uma hora na parte da manhã. O horário a ser escolhido para essa avaliação é variável, de acordo com os meses do ano.

A solução nutritiva também pode ser monitorada automaticamente, visando à sua aplicação em pesquisas. O princípio básico desse sistema é ser capaz de preparar automaticamente várias soluções nutritivas para trabalhos de pesquisa em nutrição de plantas (CLAASSENS e WALT, 1997). Isso é feito pela diluição da solução-estoque em uma taxa específica, como é, em geral,

feito manualmente, fornecendo uma grande variedade de soluções (tratamentos) às plantas, com precisão suficiente para a maioria dos trabalhos de pesquisa. Todas as diluições e o abastecimento seriam feitos por meio de dosadores em série, os quais são controlados por um controlador lógico programável (PLC).

Outra maneira de monitorar a solução nutritiva seria por meio de um método que estimasse a absorção dos elementos minerais, por meio de equações. Segundo GONZÁLEZ-REAL (1996), haverá em um futuro próximo modelos matemáticos capazes de estimar a absorção de nutrientes, facilitando muito o manejo da solução nutritiva em hidroponia.

2.2. Modelos

Segundo ADDISCOTT (1993), modelo pode ser definido como a representação de um fenômeno real, embora seja uma representação simplificada, e pelo qual se pode fazer previsões.

Os modelos possibilitaram que os aspectos mais importantes do fenômeno sejam identificados, estudados e reproduzidos e, se isso for bem feito, possibilita que sejam feitas previsões que auxiliam tomadas de decisão (ADDISCOTT, 1993).

Embora não exista uma diferença clara entre modelos matemáticos e modelos de simulação, a princípio modelos matemáticos são representações matemáticas de um fenômeno, e modelos de simulação são algoritmos que englobam um ou mais modelos matemáticos e que representam fenômenos mais complexos.

Atualmente, os modelos constituem importante ferramenta de pesquisa e de administração em diversas áreas da ciência.

Na agricultura, o uso de modelos complexos só foi possível devido ao avanço da informática, pois só então programas de computadores mais sofisticados foram desenvolvidos, programas esses capazes de integrar as partes de determinado sistema.

A modelagem agricultura destina-se aos mais diversos objetivos, estudando desde a aptidão do uso da terra (CAMARA et al., 1986) até modelos que analisam a taxa de crescimento vegetal (GREENWOOD et al., 1986).

No cultivo em ambiente protegido, o uso de modelos destinados ao manejo do ambiente e da irrigação tornou-se uma prática comum (ANDRIOLO, 2000). Segundo esse mesmo autor, o número elevado de variáveis envolvidas na produção a campo faz com que o manejo dos fatores que controlam o crescimento e rendimento das culturas seja muito limitado. Já, na produção em ambiente protegido, os fatores ambientais podem ser ajustados às plantas para crescer e produzir em condições de “conforto vegetal”, portanto as possibilidades de manejo das culturas são, por isso, muito maiores e, com os avanços recentes da tecnologia, a maior parte dos fatores de produção pode ser manejada ou controlada.

Um modelo de produção em ambiente protegido deve levar em consideração fatores como manejo da radiação solar, temperatura, umidade do ar e do solo, CO_2 e a nutrição mineral das plantas. Em se tratando de hidroponia, este último item se torna extremamente importante.

2.2.1. Modelo como um critério de reposição de solução nutritiva

RESH (1987) apresentou uma forma de ajuste de soluções nutritivas com base nas relações entre sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, concentração de cada elemento com base na MS e idade de crescimento das plantas. Contudo, a operacionalização do método não é tão simples, exigindo consultas a tabelas, além da resolução de vários e complexos cálculos.

Uma maneira de simplificar esse método seria por meio do uso de um programa de computador, porém, dessa maneira, seu uso ficaria restrito a uma pequena porcentagem dos produtores. Outra maneira de atingir a maioria dos produtores seria pela criação de modelos (baseados na condutividade elétrica, concentração de cada elemento e curva de crescimento das plantas) capazes de prever a quantidade de nutrientes a ser reposta em dado momento.

Em cultivos hidropônicos, o uso de modelos que melhorem a reposição dos nutrientes da solução nutritiva seria ferramenta de grande importância para o produtor em razão, principalmente, do caráter científico das previsões, da simplicidade de operacionalização do método e da obtenção das respostas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi a criação de modelos visando estimar as quantidades de nutrientes a serem repostas na solução nutritiva durante o ciclo de cultivo da alface.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Considerações gerais

O experimento seguiu os procedimentos descritos no capítulo 1.

3.2. Análise estatística

3.2.1. Modelos matemáticos (equações preditivas)

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, à análise de regressão.

Como os fatores têm cinco níveis, poder-se-iam testar modelos completos até o 3º grau. Porém, com os modelos completos do 2º grau foram obtidas respostas satisfatórias.

Os parâmetros de regressão de um modelo do 2º grau são:

Nome	Coeficiente	SQ	QM	F
Constante	β_0	-	-	-
X_1	$\beta_1 \cdot X_1$	-	-	-
Quadrado de X_1	$\beta_2 \cdot X_1^2$	-	-	-
X_2	$\beta_3 \cdot X_2$	-	-	-
Quadrado de X_2	$\beta_4 \cdot X_2^2$	-	-	-
$X_1 \cdot X_2$	$\beta_5 \cdot X_1 \cdot X_2$	-	-	-
R^2				
R^2 Ajustado				

Efetuiu-se a análise de variância da regressão, em que:

Fonte de Variação (FV)	GL	SQ	QM	F
Devido à Regressão		-	-	-
Independente		-	-	

Com os valores de F (significância) e R^2 (grau de precisão), obteve-se a confirmação sobre a adequação do modelo de regressão ao fenômeno estudado. Com os parâmetros de regressão escolhidos, geraram-se as equações de superfície de resposta.

Exemplo de modelo do 2º grau:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_1^2 + b_4.X_2^2 + b_5.X_1.X_2 \quad (R^2 = \%)$$

Modelos foram gerados para predizerem a quantidade de determinado nutriente (ex.: N, P, K, S etc.) que foi extraído da solução, bem como modelos para predizerem a quantidade de determinado nutriente (ex.: N, P, K, S etc.) presente nos tecidos da planta.

A quantidade do nutriente (mg por planta) está em função de:

- 1) Produção de matéria seca (g) e condutividade elétrica inicial (dS/m).
- 2) Produção de matéria fresca (g) e condutividade elétrica inicial (dS/m).
- 3) Consumo de solução (litros) e condutividade elétrica inicial (dS/m).

3.2.2. Modelos matemáticos (conversões de variáveis)

Os dados coletados foram submetidos às análises de variância e de regressão simples, sendo, posteriormente, ajustados a diversos modelos:

a) Conversão em condutividade elétrica (dS/cm), a partir de:

- 1) Potencial osmótico (atm.).
- 2) Concentração (mg/L).
- 3) Concentração (mmol).

b) Conversão em matéria seca de planta (g), a partir de:

- 1) Matéria fresca de planta (g).
- 2) Consumo de solução nutritiva (litro).
- 3) Área foliar (cm²).

- 4) Diâmetro do caule (mm).
- 5) Matéria seca da folha (g).
- 6) Matéria seca do caule (g).
- 7) Matéria seca da raiz (g).
- 8) Matéria seca da parte aérea (g).
- 9) Matéria fresca da folha (g).
- 10) Matéria fresca do caule (g).
- 11) Matéria fresca da raiz (g).
- 12) Matéria fresca da parte aérea (g).
- 13) Número de folhas (und.).
- 14) Comprimento do caule (cm).
- 15) Volume das raízes (cm³).

c) Conversão em matéria fresca de planta (g), a partir de:

- 1) Matéria seca de planta (g).
- 2) Consumo de solução (litro).
- 3) Área foliar (cm²).
- 4) Diâmetro do caule (mm).
- 5) Matéria seca da folha (g).
- 6) Matéria seca do caule (g).
- 7) Matéria seca da raiz (g).
- 8) Matéria seca da parte aérea (g).
- 9) Matéria fresca da folha (g).
- 10) Matéria fresca do caule (g).
- 11) Matéria fresca da raiz (g).
- 12) Matéria fresca da parte aérea (g).
- 13) Número de folhas (und.).
- 14) Comprimento do caule (cm).
- 15) Volume das raízes (cm³).

d) Conversão em consumo de solução por planta (litro), a partir de:

- 1) Matéria fresca de planta (g).
- 2) Matéria seca de planta (g).
- 3) Área foliar (cm²).

- 4) Diâmetro do caule (mm).
- 5) Matéria seca da folha (g).
- 6) Matéria seca do caule (g).
- 7) Matéria seca da raiz (g).
- 8) Matéria seca da parte aérea (g).
- 9) Matéria fresca da folha (g).
- 10) Matéria fresca do caule (g).
- 11) Matéria fresca da raiz (g).
- 12) Matéria fresca da parte aérea (g).
- 13) Número de folhas (und.).
- 14) Comprimento do caule (cm).
- 15) Volume das raízes (cm³).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Modelos preditivos do conteúdo de nutrientes baseados na absorção pelas plantas

A pressuposição básica do método é de que, conhecendo-se a condutividade elétrica inicial (CEi) da solução nutritiva, é possível estimar, por meio de modelos matemáticos, o conteúdo de nutrientes consumidos pela planta na solução, com base apenas no peso da matéria fresca (PMF), peso da matéria seca (PMS) ou consumo de solução (CS) por planta (Quadros 1, 2 e 3).

4.1.1. Estimativa da absorção de nutrientes pelas plantas

A quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas pode ser estudada com base nos modelos matemáticos (Quadros 1, 2 e 3).

O conteúdo dos nutrientes absorvidos pelas plantas pode ser interpretado como a quantidade de nutrientes a serem repostos pelo produtor à solução nutritiva.

A diferença entre os conteúdos dos elementos minerais na planta desde a primeira mistura de solução nutritiva até o momento da reposição indicará a quantidade dos elementos a ser adicionada para recompor seus valores originais.

Para maior facilidade de entendimento, descreve-se, a seguir, um fluxograma com todas as etapas do processo.

Quadro 1 – Conteúdo dos nutrientes nas plantas, em função da CEi da solução (dS/m) e do peso da matéria fresca (g)

Consumo (mg/planta)	Modelo Preditivo	R ²
Nitrogênio (N)	$\hat{Y} = -44,869 + 11,858^{***}X + 2,502^{***}Z$	0,97
Fósforo (P)	$\hat{Y} = -1,849 + 1,129^*X + 0,382^{***}Z + 6,239^{***}Z^2(10^{-4})$	0,99
Potássio (K)	$\hat{Y} = -47,550 + 8,890^{***}X + 3,147^{***}Z$	0,96
Cálcio (Ca)	$\hat{Y} = 6,761 - 5,228^{***}X + 0,877^{***}X^2 + 9,581(10^{-2})^{***}Z - 1,424(10^{-2})^{***}XZ$	0,83
Magnésio (Mg)	$\hat{Y} = 5,507 - 0,355^{ns}X + 0,140^{***}Z + 4,398(10^{-4})^{***}Z^2$	0,97
Enxofre (S)	$\hat{Y} = -1,065 + 0,566^{***}X + 8,523(10^{-2})^{***}Z + 2,535(10^{-4})^{***}Z^2$	0,99
Cobre (Cu)	$\hat{Y} = -0,018 + 5,493(10^{-3})^{***}X + 5,703(10^{-4})^{***}Z$	0,96
Ferro (Fe)	$\hat{Y} = 0,571 + 1,023^{***}X - 0,185^{***}X^2 + 2,959(10^{-2})^{***}Z$	0,95
Manganês (Mn)	$\hat{Y} = -0,399 + 0,114^{***}X + 1,001(10^{-2})^{***}Z$	0,91
Zinco (Zn)	$\hat{Y} = -0,044 + 2,142(10^{-2})^{***}X + 2,042^{***}Z(10^{-3}) + 3,542(10^{-6})^{***}Z^2$	0,98
Boro (B)	$\hat{Y} = -9,797(10^{-3}) + 1,178(10^{-2})^{***}X + 9,853^{***}Z(10^{-4}) + 6,218(10^{-6})^{***}Z^2$	0,92
Sódio (Na)	$\hat{Y} = -2,088(10^{-4}) + 4,357(10^{-4})^{***}X + 1,316(10^{-4})^{***}Z + 3,873(10^{-7})^{***}Z^2$	0,98

X e Z são condutividade elétrica (dS/m) e peso médio de matéria fresca (g) de planta, respectivamente.

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 2 – Conteúdo dos nutrientes nas plantas, em função da CEi da solução (dS/m) e do peso da matéria seca (g)

	Consumo (mg/planta)	Modelo Preditivo	R ²
	Nitrogênio (N)	$\hat{Y} = -39,238 + 53,083^{***}X - 9,797^{***}X^2 + 34,454^{***}Z + 3,783^{***}X*Z$	0,97
	Fósforo (P)	$\hat{Y} = -15,373 + 10,875^{***}X - 1,658^{***}X^2 + 11,413^{***}Z - 0,176^{***}Z^2$	0,98
	Potássio (K)	$\hat{Y} = -45,468 + 54,609^{***}X - 10,377^{***}X^2 + 47,261^{***}Z + 3,593^{***}X*Z$	0,97
	Cálcio (Ca)	$\hat{Y} = 4,538 - 3,682^{***}X + 0,618^{***}X^2 + 2,302^{***}Z - 3,857(10^{-2})^{***}Z^2 - 0,282^{***}X*Z$	0,91
	Magnésio (Mg)	$\hat{Y} = 4,142 - 0,269^{***}X + 4,341^{***}Z$	0,98
	Enxofre (S)	$\hat{Y} = -2,497 + 2,970^{***}X - 0,562^{***}X^2 + 1,93^{***}Z + 0,203^{***}X*Z$	0,97
g	Cobre (Cu)	$\hat{Y} = -0,017 + 1,458(10^{-2})^{**}X - 2,603(10^{-3})^{***}X^2 + 1,02(10^{-2})^{***}Z - 3,457(10^{-4})^{***}Z^2 + 1,4(10^{-3})^{***}X*Z$	0,96
	Ferro (Fe)	$\hat{Y} = -0,516 + 1,816^{***}X - 0,321^{***}X^2 + 0,853^{***}Z - 2,787(10^{-2})^{***}Z^2$	0,94
	Manganês (Mn)	$\hat{Y} = -0,351 + 0,119^{***}X + 0,189^{***}Z$	0,95
	Zinco (Zn)	$\hat{Y} = -3,01(10^{-2}) + 5,114(10^{-2})^{**}X - 9,299(10^{-3})^{***}X^2 + 3,41(10^{-2})^{***}Z + 5,738(10^{-3})^{***}X*Z$	0,97
	Boro (B)	$\hat{Y} = -0,036 + 1,252(10^{-2})^{***}X + 0,043^{***}Z$	0,93
	Sódio (Na)	$\hat{Y} = -2,32(10^{-3}) + 2,99(10^{-3})^{***}X - 5,808(10^{-4})^{***}X^2 + 3,36(10^{-3})^{***}Z + 2,0(10^{-4})^{***}X*Z$	0,98

X e Z são condutividade elétrica (dS/m) e peso médio de matéria seca (g) de planta, respectivamente.

ns, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

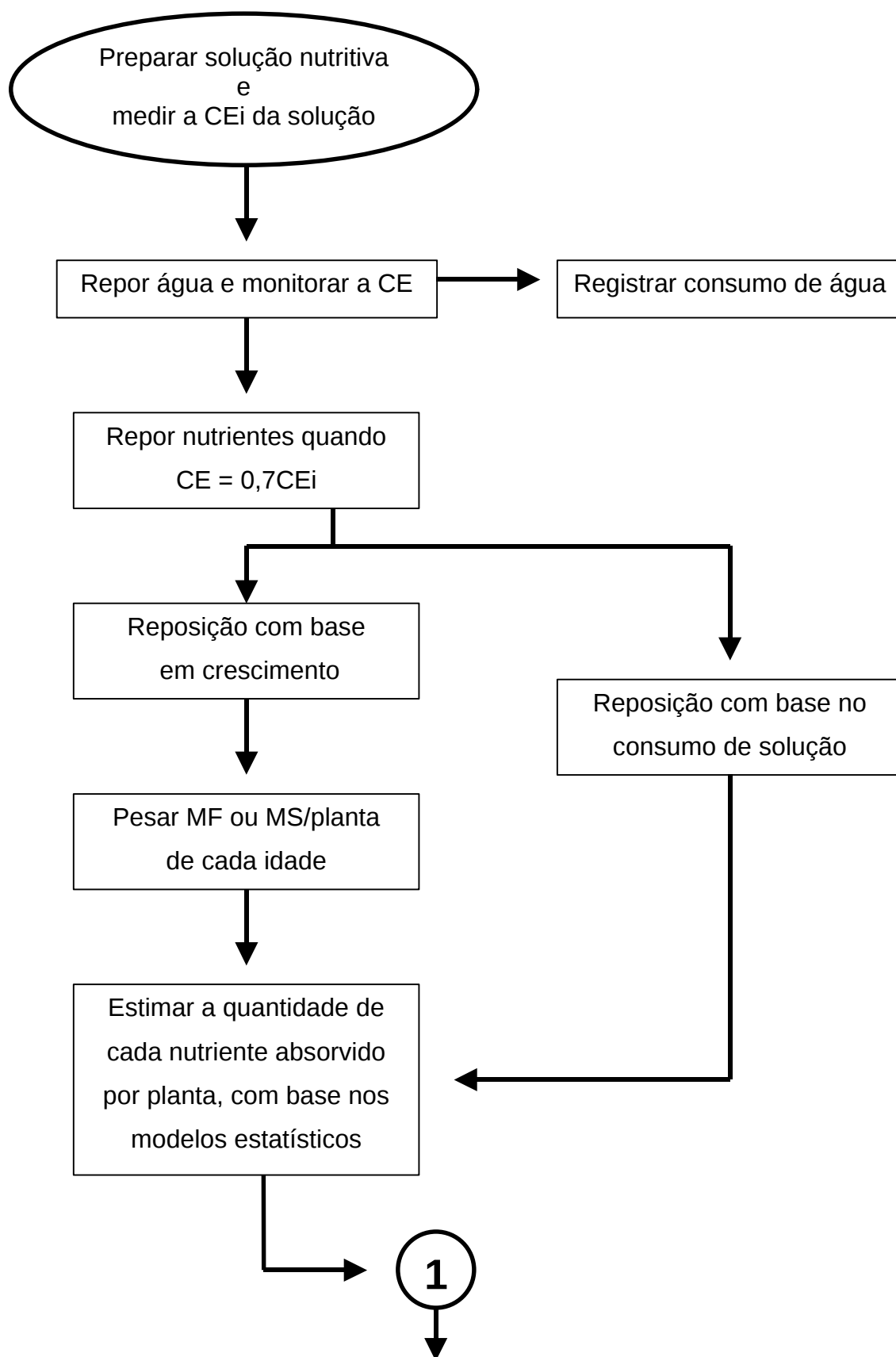
Quadro 3 – Conteúdo dos nutrientes nas plantas, em função da CEi da solução (dS/m) e do consumo da solução por planta (litros)

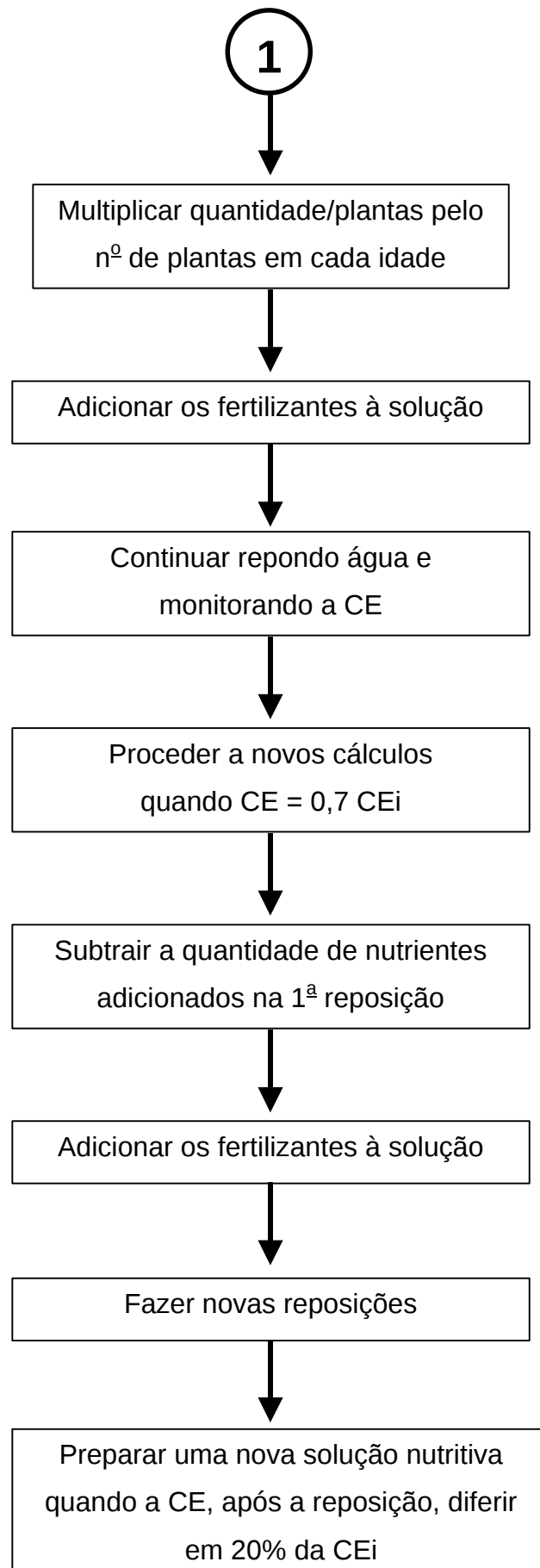
	Consumo (mg/planta)	Modelo Preditivo	R ²
	Nitrogênio (N)	$\hat{Y} = -80,129 + 52,868^{***} X - 10,101^{***} X^2 + 109,194^{***} Z + 14,532^{***} XZ$	0,96
	Fósforo (P)	$\hat{Y} = -15,205 + 8,356^{ns} X - 1,572^{ns} X^2 + 25,778^{***} Z + 1,914^{***} XZ$	0,98
	Potássio (K)	$\hat{Y} = -33,038 + 18,692^{***} X + 65,356^{***} Z + 34,098^{***} Z^2$	0,96
	Cálcio (Ca)	$\hat{Y} = 3,151 - 3,292^{***} X + 0,611^{***} X^2 + 6,027^{***} Z - 0,902^{***} XZ$	0,92
	Magnésio (Mg)	$\hat{Y} = -1,174 + 0,206^{***} X + 14,217^{***} Z$	0,95
	Enxofre (S)	$\hat{Y} = -5,240 + 3,551^{***} X - 0,448^{***} X^2 + 3,805^{***} Z + 1,238^{***} Z^2$	0,97
18	Cobre (Cu)	$\hat{Y} = -0,015 + 1,061(10^{-2})^{*} X - 2,166(10^{-3})^{***} X^2 + 1,898(10^{-2})^{***} Z + 5,446(10^{-3})^{***} XZ$	0,97
	Ferro (Fe)	$\hat{Y} = -0,606 + 1,741^{***} X - 0,296^{***} X^2 + 1,783^{***} Z$	0,94
	Manganês (Mn)	$\hat{Y} = -0,439 + 0,143^{***} X + 0,343^{***} Z + 7,493(10^{-2})^{***} Z^2$	0,93
	Zinco (Zn)	$\hat{Y} = -0,068 + 4,680(10^{-2})^{**} X - 9,377(10^{-3})^{***} X^2 + 0,107^{***} Z + 0,022^{***} XZ$	0,97
	Boro (B)	$\hat{Y} = -0,087 + 1,720(10^{-2})^{***} X + 0,140^{***} Z$	0,88
	Sódio (Na)	$\hat{Y} = -1,968(10^{-3}) + 1,072(10^{-3})^{***} X + 4,989(10^{-3})^{***} Z + 2,183(10^{-3})^{***} Z^2$	0,97

X e Z são condutividade elétrica (dS/m) e consumo de solução nutritiva por planta (litros), respectivamente.

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Fluxograma proposto para reposição de nutrientes na solução nutritiva utilizando modelos estatísticos, baseados no crescimento da planta ou consumo de solução.





Para a execução do método é necessário conhecer a condutividade elétrica inicial da solução (dS/m), o peso da matéria fresca da planta (g), o peso da matéria seca da planta (g) e o consumo de solução por planta (litros).

a) Medida da condutividade elétrica inicial da solução

A CEi da solução pode ser medida diretamente na solução, por meio de um condutivímetro. Ainda, indiretamente, pode-se, por meio de equações, converter o potencial osmótico (atmosferas), a concentração da solução (mg/L) e a concentração molar da solução (mmol) em CE da solução (dS/m) (Quadro 4).

Quadro 4 – Equações para conversão do potencial osmótico (atm), da concentração da solução (mg/L) e da concentração molar da solução (mmol) em CE da solução (dS/m)

Equações de Conversão	R ²
$\hat{Y} = -0,059 + 2,944^{***} \text{ POS}$	0,96
$\hat{Y} = -0,132 + 2,552(10^{-3})^{ns} \text{ CS}$	0,96
$\hat{Y} = -0,059 + 7,065(10^{-2})^{***} \text{ CMS}$	0,96

POS, CS e CMS são potencial osmótico (atm), concentração da solução (mg/L) e concentração molar da solução (mmol), respectivamente.

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

b) Medida do peso de matéria fresca

A média do peso da matéria fresca das plantas (MMF) é feita após a coleta de uma amostra representativa das plantas e posterior pesagem em balança.

Pode-se, no entanto, determinar a MMF das plantas indiretamente, por meio de equações que convertam diversas variáveis (matéria seca de planta (g), consumo de solução (litro), área foliar (cm²), diâmetro do caule (mm), matéria seca da folha (g), matéria seca do caule (g), matéria seca da raiz (g), matéria seca da parte aérea (g), matéria fresca da folha (g), matéria fresca da parte aérea (g), número de folhas (und.), comprimento do caule (mm), volume

das raízes (cm^3), matéria fresca do caule (g) e matéria fresca da raiz (g)) em peso médio de matéria fresca (g) (Quadro 5).

c) Medida do peso de matéria seca

A média do peso da matéria seca das plantas (MMS) é feita após a coleta de uma amostra representativa delas, secagem do material e posterior pesagem.

Pode-se, no entanto, determinar a MMS das plantas indiretamente, por meio de equações que convertam diversas variáveis (matéria fresca de planta (g), consumo de solução (litro), área foliar (cm^2), diâmetro do caule (mm), matéria seca da folha (g), matéria seca do caule (g), matéria seca da raiz (g), matéria seca da parte aérea (g), matéria fresca da folha (g), matéria fresca da parte aérea (g), número de folhas (und.), comprimento do caule (mm), volume das raízes (cm^3), matéria fresca do caule (g) e matéria fresca da raiz (g)) em peso médio de matéria seca (g) (Quadro 6).

Devido à diferença entre as necessidades das plantas nas diversas etapas do seu crescimento, o grau de depleção é diferente para cada elemento.

A adição de fertilizantes deveria elevar os elementos individualmente ao seu nível ótimo para cada época.

Segundo os trabalhos de STEINER (1980), os sais podem ser adicionados à solução nutritiva durante o cultivo, utilizando-se a CE como medida do “status” nutricional da solução. Isso indica que as adições de íons deveriam ser feitas o mais próximo possível da relação que é utilizada pelas plantas.

As plantas selecionam os nutrientes que precisam ser absorvidos, partindo dos nutrientes que existem na solução. Portanto, os íons deveriam ser repostos nas mesmas relações em que são consumidos pelas plantas.

É possível manejar a solução nutritiva, adequando-a para cada cultivo e considerando o estágio de desenvolvimento da planta. Se ocorrerem pequenas alterações na composição da solução nutritiva, as mesmas plantas podem selecionar os íons numa relação diferente, favorável ao seu crescimento e desenvolvimento (STEINER, 1980).

Uma leitura de CE pode indicar o nível ótimo dos nutrientes na solução, e os modelos preditivos indicam os níveis prováveis de cada nutriente a qualquer idade da planta. Com essas informações, ainda que não se tenham

Quadro 5 – Equações para conversão de diversas variáveis em peso médio de matéria fresca (g)

Equações de Conversão	R ²
$\hat{Y} = -3,14394 + 26,6059^{***}(\text{MSP}) - 0,747264^{***}(\text{MSP})^2$	0,96
$\hat{Y} = -8,62128 + 60,3595^{***}(\text{CS})$	0,97
$\hat{Y} = -2,2059 + 0,0361581^*(\text{AF})$	0,99
$\hat{Y} = -16,0987 - 5,93614^{***}(\text{DC}) + 1,89754^{***}(\text{DC})^2$	0,97
$\hat{Y} = 0,944646 + 0,942240^{***}(\text{NF})$	0,95
$\hat{Y} = -4,44472 + 1,78194^{***}(\text{CC})$	0,97
$\hat{Y} = -22,7949 + 13,7681^{***}(\text{VR})$	0,97
$\hat{Y} = -2,8001 + 31,8437^{***}(\text{MSF}) - 0,987029^{***}(\text{MSF})^2$	0,96
$\hat{Y} = 17,6636 + 251,132^{***}(\text{MSC}) - 86,0754^{***}(\text{MSC})^2$	0,92
$\hat{Y} = -23,4147 + 336,981^{***}(\text{MSR}) - 112,443^{***}(\text{MSR})^2$	0,94
$\hat{Y} = -1,26051 + 28,8674^{***}(\text{MSPA}) - 0,886377^{***}(\text{MSPA})^2$	0,96
$\hat{Y} = -3,12524 + 1,24733^{***}(\text{MFF})$	0,99
$\hat{Y} = 16,0762 + 10,3176^{***}(\text{MFC}) - 0,128831^{***}(\text{MFC})^2$	0,98
$\hat{Y} = -14,3066 + 18,4516^{***}(\text{MFR})$	0,96
$\hat{Y} = 1,05676 + 1,05462^{***}(\text{MFPA})$	0,99

MSP (matéria seca de planta, g), **CS** (consumo de solução, litro), **AF** (área foliar, cm²), **DC** (diâmetro do caule, mm), **NF** (número de folhas, und.), **CC** (comprimento do caule, mm), **VR** (volume de raízes, cm³), **MSF** (matéria seca da folha, g), **MSC** (matéria seca do caule, g), **MSR** (matéria seca da raiz, g), **MSPA** (matéria seca da parte aérea, g), **MFF** (matéria fresca da folha, g), **MFC** (matéria fresca do caule, g), **MFR** (matéria fresca da raiz, g) e **MFPA** (matéria fresca da parte aérea, g).

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 6 – Equações para conversão de diversas variáveis em peso médio de matéria seca (g)

Equações de Conversão	R ²
$\hat{Y} = -0,29 + 0,053^*(\text{MFP})$	0,94
$\hat{Y} = 0,230 + 1,314^{***}(\text{CS}) + 0,531^{***}(\text{CS})^2$	0,98
$\hat{Y} = 0,341 + 9,455(10^{-4})^{***}(\text{AF}) + 1,68(10^{-7})^{***}(\text{AF})^2$	0,95
$\hat{Y} = 4,112 - 1,57^{***}(\text{DC}) + 0,17^{***}(\text{DC})^2$	0,93
$\hat{Y} = 0,765 - 0,179^{***}(\text{NF}) + 8,493(10^{-3})^{***}(\text{NF})^2$	0,97
$\hat{Y} = -0,612 + 0,095^{***}(\text{CC})$	0,94
$\hat{Y} = -1,611 + 0,739^{***}(\text{VR})$	0,95
$\hat{Y} = -0,103 + 1,271^{***}(\text{MSF})$	0,99
$\hat{Y} = 0,762 + 10,759^{***}(\text{MSC}) - 2,342^{***}(\text{MSC})^2$	0,99
$\hat{Y} = -0,876 + 13,036^{***}(\text{MSR}) - 1,048^{***}(\text{MSR})^2$	0,99
$\hat{Y} = 0,068 + 1,09^{***}(\text{MSPA})$	0,99
$\hat{Y} = -0,414 + 0,065^{***}(\text{MFF})$	0,92
$\hat{Y} = 1,104 + 0,346^{***}(\text{MFC})$	0,95
$\hat{Y} = -1,109 + 0,982^{***}(\text{MFR})$	0,92
$\hat{Y} = -0,231 + 0,056^*(\text{MFPA})$	0,94

MFP (matéria fresca de planta, g), **CS** (consumo de solução, litro), **AF** (área foliar, cm²), **DC** (diâmetro do caule, mm), **NF** (número de folhas, und.), **CC** (comprimento do caule, mm), **VR** (volume de raízes, cm³), **MSF** (matéria seca da folha, g), **MSC** (matéria seca do caule, g), **MSR** (matéria seca da raiz, g), **MSPA** (matéria seca da parte aérea, g), **MFF** (matéria fresca da folha, g), **MFC** (matéria fresca do caule, g), **MFR** (matéria fresca da raiz, g) e **MFPA** (matéria fresca da parte aérea, g).

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

feito análises laboratoriais nas plantas, poder-se-iam utilizá-las para determinar as quantidades de cada elemento a serem repostas na solução. Os ajustes podem ser feitos na solução nutritiva em qualquer estação e estágio de crescimento da planta.

d) Medida do consumo de solução

Deve-se repor água toda vez que 30% do volume inicial for consumido, bem como anotar o volume repostado. O consumo de solução (CS) por planta é medido por meio do somatório de todos os volumes repostos dividido pelo número de plantas no cultivo.

Pode-se, no entanto, determinar o CS por planta indiretamente, por meio de equações que convertam diversas variáveis (matéria fresca de planta (g), matéria seca de planta (g), área foliar (cm²), diâmetro do caule (mm), matéria seca da folha (g), matéria seca do caule (g), matéria seca da raiz (g), matéria seca da parte aérea (g), matéria fresca da folha (g), matéria fresca da parte aérea (g), número de folhas (und.), comprimento do caule (mm), volume das raízes (cm³), matéria fresca do caule (g) e matéria fresca da raiz (g)) em consumo de solução por planta (litros) (Quadro 7).

4.2. Modelos preditivos do conteúdo de nutrientes baseados na depleção dos nutrientes da solução

O conteúdo dos nutrientes exauridos da solução (não somente pelas plantas) pode ser interpretado como a quantidade de nutrientes a serem repostos pelo produtor à solução nutritiva, restabelecendo-se a solução nutritiva inicial.

4.2.1. Estimativa dos nutrientes extraídos da solução

A pressuposição básica do método é de que, conhecendo-se a condutividade elétrica inicial (CEi) da solução nutritiva, é possível estimar, por meio de equações, o conteúdo de nutrientes extraídos da solução, com base apenas no peso da matéria fresca (PMF), peso da matéria seca (PMS) ou consumo de solução (CS) por planta (Quadros 8, 9 e 10). Para utilização desses modelos, basta seguir os procedimentos descritos no item 4.1 deste capítulo, tomando-se o cuidado de substituir os modelos dos Quadros 1, 2 e 3 pelos dos Quadros 8, 9 e 10.

Quadro 7 – Equações para conversão de diversas variáveis em consumo de solução por planta (litros)

Equações de Conversão	R ²
$\hat{Y}=0,091+0,019^{***}(\text{MFP})-1,49649(10^{-5})^{***}(\text{MFP})^2$	0,98
$\hat{Y}=0,043+0,473^{***}(\text{MSP})-0,015^{***}(\text{MSP})^2$	0,98
$\hat{Y}=0,141+5,862(10^{-4})^{\text{ns}}(\text{AF})$	0,98
$\hat{Y}=-2,376+0,455^{***}(\text{DC})$	0,95
$\hat{Y}=-1,911+0,112^{***}(\text{NF})$	0,96
$\hat{Y}=0,106+0,029^{***}(\text{CC})$	0,95
$\hat{Y}=-0,194+0,223^{***}(\text{VR})$	0,96
$\hat{Y}=0,048+0,57^{***}(\text{MSF})-0,021^{***}(\text{MSF})^2$	0,98
$\hat{Y}=0,411+4,34^{***}(\text{MSC})-1,551^{***}(\text{MSC})^2$	0,96
$\hat{Y}=-0,317+5,966^{***}(\text{MSR})-2,197^{***}(\text{MSR})^2$	0,98
$\hat{Y}=0,077+0,513^{***}(\text{MSPA})-0,018^{***}(\text{MSPA})^2$	0,98
$\hat{Y}=0,134+0,201^{***}(\text{MFF})$	0,97
$\hat{Y}=0,658+0,102^{***}(\text{MFC})$	0,91
$\hat{Y}=-0,312+0,413^{***}(\text{MFR})-8,59935(10^{-3})^{***}(\text{MFR})^2$	0,94
$\hat{Y}=0,202+0,017^{***}(\text{MFPA})$	0,97

MFP (matéria fresca de planta, g), **MSP** (matéria seca de planta, g), **AF** (área foliar, cm²), **DC** (diâmetro do caule, mm), **NF** (número de folhas, und.), **CC** (comprimento do caule, mm), **VR** (volume de raízes, cm³), **MSF** (matéria seca da folha, g), **MSC** (matéria seca do caule, g), **MSR** (matéria seca da raiz, g), **MSPA** (matéria seca da parte aérea, g), **MFF** (matéria fresca da folha, g), **MFC** (matéria fresca do caule, g), **MFR** (matéria fresca da raiz, g) e **MFPA** (matéria fresca da parte aérea, g).

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 8 – Conteúdo dos nutrientes extraídos da solução, em função da CEi da solução (S/cm) e do peso da matéria fresca (g)

Consumo (mg/planta)	Modelo Preditivo	R ²
Nitrogênio (N)	$\hat{Y} = -78,356 + 41,847^{***}X + 1,918^{***}Z - 1,429(10^{-2})^{***}Z^2 + 2,185^{***}XZ$	0,98
Fósforo (P)	$\hat{Y} = 26,231 - 21,375^{***}X + 4,308^{***}X^2 + 1,342^{***}Z - 2,345(10^{-3})^{***}Z^2 - 6,284(10^{-2})^{***}XZ$	0,98
Potássio (K)	$\hat{Y} = -366,959 + 379,845^{***}X - 71,166^{***}X^2 + 4,804^{***}Z$	0,97
Cálcio (Ca)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Magnésio (Mg)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Enxofre (S)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Cobre (Cu)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Ferro (Fe)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Manganês (Mn)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Zinco (Zn)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Boro (B)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Sódio (Na)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-

X e **Z** são condutividade elétrica (S/cm) e peso médio de matéria fresca (g) de planta, respectivamente.

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 9 – Conteúdo dos nutrientes extraídos da solução, em função da CEi da solução (S/cm) e do peso da matéria seca (g)

Consumo (mg/planta)	Modelo Preditivo	R ²
Nitrogênio (N)	$\hat{Y} = -188,259 + 75,709^{***} X + 88,886^{***} Z - 8,966^{***} Z^2 + 38,351^{***} XZ$	0,98
Fósforo (P)	$\hat{Y} = 11,816 - 3,998^{***} X + 28,368^{***} Z - 1,365^{***} Z^2$	0,98
Potássio (K)	$\hat{Y} = -530,272 + 535,753^{***} X - 108,549^{***} X^2 + 133,928^{***} Z - 6,229^{***} Z^2 + 9,633^{***} XZ$	0,93
Cálcio (Ca)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Magnésio (Mg)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Enxofre (S)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Cobre (Cu)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Ferro (Fe)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Manganês (Mn)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Zinco (Zn)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Boro (B)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Sódio (Na)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-

X e **Z** são condutividade elétrica (S/cm) e peso médio de matéria seca (g) de planta, respectivamente.

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 10 – Conteúdo dos nutrientes extraídos da solução, em função da CEi da solução (S/cm) e do consumo da solução por planta (litros)

Consumo (mg/planta)	Modelo Preditivo	R ²
Nitrogênio (N)	$\hat{Y} = -101,163 + 24,478^{***} X + 135,373^{***} Z - 53,604^{***} Z^2 + 134,651^{***} XZ$	0,99
Fósforo (P)	$\hat{Y} = 5,137 - 3,590^{***} X + 70,946^{***} Z - 7,852^{***} Z^2$	0,99
Potássio (K)	$\hat{Y} = -478,479 + 510,757^{***} X - 105,10^{***} X^2 + 205,869^{***} Z + 33,125^{***} XZ$	0,96
Cálcio (Ca)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Magnésio (Mg)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Enxofre (S)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Cobre (Cu)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Ferro (Fe)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Manganês (Mn)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Zinco (Zn)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Boro (B)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-
Sódio (Na)	NENHUM MODELO PODE SER AJUSTADO	-

X e **Z** são condutividade elétrica (S/cm) e consumo de solução nutritiva por planta (litros), respectivamente.

^{ns}, *, ** e *** não-significativo e significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Com exceção do N, P e K, não houve ajuste significativo de nenhum modelo para os demais nutrientes anteriormente descritos.

Segundo WILLUMSEN (1984), o total de nutrientes extraídos da solução é mais difícil de se determinar do que o total de nutrientes extraídos pelas plantas. O total de nutrientes extraído de uma solução inclui a absorção por algas, outros microrganismos e possíveis precipitações. Além disso, as determinações do total extraído da solução podem variar muito de acordo com o local e o momento da coleta, em comparação com as determinações da absorção pelas plantas.

Neste capítulo há uma distinção entre o total de nutrientes extraídos da solução e o total de nutrientes consumidos pelas plantas. Alguns autores criaram fatores para relacioná-los, contudo tais fatores mostraram-se imprecisos, principalmente devido à sua grande variação.

WILLUMSEN (1980) esclareceu que o consumo total de nutrientes absorvidos pela planta nunca será igual à redução deles na solução. HEINEN et al. (1991), estudando as relações entre a redução da quantidade de nutrientes em solução e a absorção pelas plantas, observaram que, para nitrogênio, fósforo e potássio, desapareceram quantidades 1,2-2; 1-1,5; e 1,1-1,7 vezes maiores, respectivamente, da solução do que foram absorvidas pelas plantas. No presente trabalho, verificou-se na CE de 2,9 dS/m que, para nitrogênio, fósforo e potássio, desapareceram quantidades 2,3-3,3; 1,5-2,1; e 0,23-3,2 vezes maiores, respectivamente, da solução do que foram absorvidas pelas plantas.

Essa diferença pode ser explicada pela imobilização de nutrientes por microrganismos presentes na solução, pela precipitação de sais, pela desnitrificação e por problemas analíticos. Provavelmente esses problemas tenham afetado a determinação de alguns nutrientes na solução nutritiva, principalmente aqueles nutrientes que se encontravam em menor concentração.

4.3. Comparações entre os modelos preditivos

4.3.1. Absorção pela planta X extraído da solução

No presente trabalho só foi possível gerar modelos para estimar a depleção de N, P e K da solução, enquanto para os outros nutrientes nenhum modelo pôde ser ajustado (Quadros 8, 9 e 10). Para estimar a absorção de íons pelas plantas foi possível estimar modelos para todos os nutrientes (Quadros 1, 2 e 3).

Utilizando tanto a análise dos tecidos das plantas quanto a da solução nutritiva, pode-se comparar e relacionar a absorção fisiológica das plantas para, dessa forma, efetuar um balanço dos diversos elementos minerais da solução nutritiva. É possível, portanto, controlar as trocas das soluções nutritivas, uma vez que é conhecida a relação entre as flutuações que ocorrem nos nutrientes dos tecidos das plantas e na solução.

A solução nutritiva deverá ser ajustada antes que ocorra algum sintoma de deficiência nos tecidos das plantas, evitando prejuízos e, dessa forma, aumentando a produção, de maneira a proporcionar aos vegetais desenvolvimento satisfatório.

Uma vantagem da análise de tecido sobre a análise da solução nutritiva é que o primeiro indica o que foi, ou está sendo, consumido pelas plantas, enquanto o segundo fornece somente a disponibilidade de nutrientes para a planta. A absorção dos nutrientes essenciais pelas plantas em dado momento depende das condições do meio, da solução nutritiva, dos fatores ambientais ou mesmo das plantas. Por exemplo, se o meio não é inerte e reage com a solução nutritiva, os íons podem ficar retidos pelas partículas e não ser utilizados pelas plantas.

Por meio da análise de tecido, podem-se medir os efeitos dos fatores já indicados na absorção de nutrientes.

4.3.2. Tipo de variável para compor o modelo (MF X MS X consumo de solução)

Ao se manejar a solução, o ideal é determinar os nutrientes a serem repostos, baseados em mais de um tipo de modelo, pois, dessa maneira, as possibilidades de erros serão minimizadas.

Na prática, entretanto, observou-se que alguns dados, utilizados para compor o modelo, são mais fáceis de serem obtidos que outros. Por exemplo, o modelo baseado na (CE e MF) mostrou-se operacionalmente mais simples de ser medido do que os modelos baseados na (CE e MS) e (CE e consumo de solução).

Os modelos baseados na (CE e consumo de solução), apesar de serem de fácil aplicação, têm o inconveniente de se ter que anotar o consumo médio das plantas ao longo do tempo. No entanto, o modelo baseado na (CE e MS) é operacionalmente o pior dos três, uma vez que há necessidade de secar as plantas, exigindo estufa e 72 horas para secagem do material (portanto, ao contrário da MF e consumo de solução, as respostas com MS não são imediatas).

4.4. Comparações dos modelos preditivos com outros métodos

A quantidade de nutrientes dissolvidos em uma solução nutritiva pode ser medida indiretamente pela condutividade elétrica (CE), mensurada por meio de um condutivímetro.

As plantas possuem mecanismos capazes de adaptá-las às diferentes quantidades de nutrientes no meio, produzindo satisfatoriamente em uma faixa de CE da solução nutritiva. O manejo hoje empregado em hidroponia visa à manutenção dessa faixa.

Para manter a CE dentro da faixa adequada, o produtor normalmente repõe o total de solução consumida e monitora a quantidade de íons, repondo os nutrientes quando necessário. Ao incrementar o nível total de sais é aumentada rapidamente a CE.

Como a variação da CE dá idéia do total de nutrientes consumidos e não do total individual de cada nutriente, ao se fazer a reposição estão sendo

acrescentadas diferentes proporções de nutrientes em relação às proporções do que foi consumido pelas plantas.

O atual manejo de reposição resulta em desbalanços e, muitas vezes, em acúmulo de quantidades tóxicas de alguns nutrientes e deficiência de outros, diminuindo a vida útil da solução.

O novo manejo aqui proposto baseia-se na possibilidade de estimar, individualmente, a quantidade de nutriente a ser repostada à solução, em qualquer momento do ciclo.

O trabalho de STEINER (1980) sobre as soluções nutritivas indica que, no cultivo hidropônico, se as proporções da absorção de nutrientes são conhecidas, os íons podem ser adicionados à solução nessas mesmas proporções.

Estimando o consumo individual dos nutrientes (sem a necessidade de análises laboratoriais), o produtor poderá, de maneira bastante aproximada, determinar a quantidade de cada nutriente a ser repostada e, assim, adicionar os sais de maneira que a solução atual fique praticamente igual à do início do cultivo, aumentando, sobremaneira, a vida útil da solução.

A combinação do conhecimento do total de nutrientes extraídos da solução e o conhecimento do total absorvido pelas plantas parecem ser a melhor base para compor uma solução de reposição (WILLUMSEN, 1984).

O manejo da solução por meio de modelos matemáticos tem a vantagem de ser um critério racional, de respostas rápidas, de simples operação e de baixo custo. Contribui, assim, para a redução no uso de água, nutrientes e mão-de-obra, além da diminuição da poluição ambiental.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi a criação de modelos matemáticos capazes de estimar o conteúdo individual dos nutrientes exauridos da solução nutritiva ou, ainda, absorvidos pela alface durante o ciclo.

Para tanto, conduziu-se um experimento em casa de vegetação no DFT/UFV, em Viçosa, MG, em que as plantas de alface cultivar Regina 440 foram cultivadas em soluções com diferentes níveis de condutividade elétrica (CE) e colhidas ao longo do tempo.

Os tratamentos foram cultivo de alface em hidroponia sob diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva (0,9; 1,9; 2,9; 3,9; e 4,9 dS/m) e colheita em diferentes épocas após o transplântio (8; 16; 24; 30; e 34 dias).

Foram feitas coletas periódicas de solução nutritiva, bem como das alfaces, para análise dos teores de macro e micronutrientes. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, à análise de regressão, obtendo-se respostas satisfatórias com os modelos completos do 2º grau.

Concluiu-se que:

É possível a utilização de modelos matemáticos como um método para reposição dos nutrientes na solução nutritiva.

Os conteúdos dos nutrientes absorvidos pelas plantas ou extraídos da solução foram em função da CE e do peso da matéria fresca, CE e peso da matéria seca e CE e consumo de solução.

O fluxograma mostrando como efetuar a reposição é:

1º Passo: medir a condutividade elétrica inicial da solução.

2º Passo: determinar a característica agronômica relativa ao modelo utilizado (peso médio de matéria fresca, peso médio de matéria seca e consumo de solução por planta).

3º Passo: estimar a quantidade dos nutrientes por planta necessários à reposição.

4º Passo: multiplicar a quantidade anteriormente estimada (passo 3) pelo número total de plantas do sistema.

5º Passo: selecionar um adubo que contenha a quantidade de nutriente anteriormente determinada (passo 4) e adicioná-la à solução.

RESUMO E CONCLUSÕES FINAIS

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar o crescimento da alface cultivar Regina 440 em hidroponia e monitorar as concentrações dos nutrientes na solução nutritiva e nas plantas de alface, bem como criar modelos matemáticos capazes de estimar o conteúdo individual dos nutrientes exauridos da solução nutritiva ou, ainda, absorvidos pela alface durante o ciclo de cultivo. Para tanto, conduziu-se um experimento em casa de vegetação no DFT/UFV, em Viçosa, MG, em vasos contendo 10 litros de solução nutritiva aerada.

Os tratamentos foram cultivo de alface em hidroponia sob diferentes condutividades elétricas iniciais da solução nutritiva (0,9; 1,9; 2,9; 3,9; e 4,9 dS/m) e colheita em diferentes dias após o transplântio (8; 16; 24; 30; e 34 dias).

Avaliaram-se as seguintes características: pesos de matéria fresca (MF) e de matéria seca (MS), área foliar (AF), número de folhas (NF), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), volume de raízes (VR), consumo de água pelas plantas, pH, condutividade elétrica (CE) da solução e concentrações de macro e micronutrientes na solução nutritiva e nas plantas de alface, durante o ciclo da cultura. Tais dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, à análise de regressão, obtendo-se respostas satisfatórias com os modelos completos do 2^o grau.

Concluiu-se que:

Condutividades elétricas compreendidas entre 2,5 e 3 dS/m permitem, nas condições em que foi realizado o experimento, melhor crescimento e produção da alface.

Os conteúdos de N, P, K, Ca, S, Cu, Fe, Zn e Na das plantas responderam, de forma quadrática, aos aumentos da condutividade elétrica inicial da solução nutritiva, enquanto os de Mg, Mn e B apresentaram resposta linear.

O consumo de solução nutritiva responde, de forma quadrática, aos aumentos da condutividade elétrica inicial e, de forma linear, ao ciclo de cultivo da alface.

É possível utilizar modelos matemáticos para repor os nutrientes consumidos da solução nutritiva, dada a sua facilidade de uso, notadamente aqueles baseados na condutividade elétrica inicial e na produção de matéria fresca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, n. 361, p. 254-257, 1994.

ADDISCOTT, T. M. Simulation modeling and soil behaviour. **Geoderma**, v. 60, p. 15-40, 1993.

AGRIANUAL 2001. São Paulo: FNP, 2001. p.150-152.

AL-HARBI, A. R. Effect of manipulating solution salinity on growth of cucumber *Cucumis sativus* L. grown in NFT. **Acta Horticulturae**, v. 361, p. 267-272, 1994.

AL-HARBI, A. R. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 7, p. 1403-1416, 1995.

ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 26-33, 2000. Suplemento julho.

ASHER, C. J.; BLAMEY, F. P. Experimental control of plant nutrient status using programmed nutrient addition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 9-16, p.1371-1380, 1987.

ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G. Modern solution culture techniques. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 94-119.

ASHRAF, M.; O'LEARY, J. W. Responses of a salt-tolerant and a salt-sensitive line of sunflower to varying sodium/calcium ratios in saline sand culture. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 2/3, p. 361-377, 1997.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (FAO, Irrigação e Drenagem, 29).

BAILEY, B. J.; HAGGETT, B. G. D.; HUNTER, A.; ALBERT, W. J.; SVANBERG, L. R. Monitoring nutrient film solutions using ion-selective electrodes. **J. Agric. Eng. Res.** v. 40, p. 129-142, 1988.

BARRY, C. **Nutrients**: the handbook to hydroponic nutrient solutions. Narrabeen, Australia: Casper, 1996. 55 p.

BENOIT, F. High-technology glasshouse vegetable growing in Belgium. **Soilless Culture**, v. 3, p. 21-29, 1987.

BENOIT, F.; CEUSTERMANS, N. Recommendations for the commercial production of butterhead lettuce in NFT. **Soilless Culture**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 1989.

BERINGER, H.; TROLLDENIER, G. Influence of K nutrition on response to environmental stress. In: **POTASSIUM research-review and trends**. Berna: International Potash Institute, 1978. p. 49-54.

BERRY, W. L. The evolution of hidroponics. In: CONFERENCE, 17., 1996, San Jose. **Proceedings...** San Jose: Hydroponic Society of America, 1996. p. 87-95.

BIELESKI, R. L.; FERGUSON, I. B. Physiology and metabolism of phosphate and its compounds. In: LAÜCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 422-449. (Encyclopedia of Physiology. New Series, v.15a).

BINGHAN, F. T. Boron. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 431-447. (Serie Agronomy, 9).

BLANCHARD, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sugar in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Soil Science Society America Proceedings**, v. 29, n. 1, p. 71-72, 1965.

BLISKA JÚNIOR, A.; HONÓRIO, S. L. Local de instalação e construção de estufas para cultivo de hortaliças. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 11-14, set./dez. 1999.

BÖHME, M. Influence of closed systems on the development of cucumber. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOILLESS CULTURE, 9., 1996, Jersey. **Proceedings...** Wageningen: ISOSC, 1997. p. 75-87.

BOON, J. van der; STEENHUIZEN, J. W.; STEINGROWER, E. Effect of EC, and Cl and NH_4^+ concentration of nutrient solutions on nitrate accumulation in lettuce. In: SYMPOSIUM ON THE FERTILIZATION OF VEGETABLES UNDER PROTECTED CULTIVATION, 1987, Naaldwijk. **Acta Horticulturae**, v. 222, p. 35-41, 1988.

BOTRINE, L.; DI PAOLA, M. L.; GRAIFENBERG, A. Potassium affects sodium content in tomato plants grown in hidroponic cultivation under saline-sodic stress. **HortScience**, v. 35, n. 7, p. 1220-1222, 2000.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solos e plantas. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

BRUN, R.; PARIS, B.; HAMMELIN, I. Fertigation management of rose plants grown in greenhouse on rockwool. **Adv. Hort. Sci.**, v. 7, p. 145-148, 1993.

CACHORRO, P.; OTIZ, A.; CERDÁ, A. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. **Plant and Soil**, v. 159, n. 2, p. 205-212, jan. 1994.

CAMARA, A. S.; MANO, A. P.; GRAÇA MARTINHO, M.; PAULA MARQUES, M.; NUNES, J. F.; LOPES, T.C.; CABELEIRA, A. An economic-ecological model for regional land-use planning. **Ecological Modelling**, v. 31, p. 293-302, 1986.

CANOVAS MARTINEZ, F. Cultivos sin suelo. In: **Curso internacional sobre agrotecnia del cultivo en invernaderos**. Almeria: FIAPA, 1991. p. 261-314.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo**: hidroponia. Jaboticabal, SP: FUNEP, 1995. 43 p.

CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHARDER, M.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71-81, 1975.

CHRÉTIEN, S.; GOSSELIN, A. High electrical conductivity and radiation-based water management improve fruit quality of greenhouse tomatoes grown in rockwool. **HortScience**, v. 35, n. 4, p. 627-631, jul. 2000.

CLAASSENS, A. S.; WALT, R. Van der an automated system to supply differential nutrient solutions for research puposes; tecnical and test data. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 9., 1996, Jersey. **Proceedings...** Wageningen: ISOSC, 1997. p. 129-136.

CLARK, R. B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, v. 5, p. 1031-1038, 1982.

DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono.** Viçosa. MG: UFV, Impr. Univ., 1997. 76 f. (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 99-104, set./dez. 1999.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia.** Lavras, MG: UFLA, 1996. 50 p.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, M. C. M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 195-200, jun. 2002.

FURLANI, P. R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia – NFT.** Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1995. 18 p. (Documentos IAC, 55).

FURLANI, P. R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L. C. P.; FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 90-98, set./dez. 1999.

GIBSON, T. S. Carbohydrate metabolism and phosphorus/salinity interactions in wheat (*Triticumaestivum* L.). **Plant and Soil**, v. 111, p. 25-35, 1988.

GONZÁLEZ-REAL, M. M. **Manejo integrado del sistema de clima-planta-sustrato.** In: CURSO TALLER INTERNACIONAL DE HIDROPONÍA. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 1996. p. 25-29.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 78, p. 127-157, 1999.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review Plant Physiology**, v. 31, n. 1, p. 149-190, 1980.

GREENWOOD, D. J.; NEETESON, J. J.; DRAYCOTT, A. Quantitative relationships for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen contend, dry weight and aerial environment. **Plant and Soil**, v. 91, p. 281-301, 1986.

HANGER, B. C. The nutrient solution and its preparation. In: **Hydroponics for School and the Home Grower.** Melbourne: Victoria Schools'Nursery, 1986. p. 21-33.

HEINEN, M.; JAGER, A. de; NIER, H. Uptake of nutrients by lettuce on NFT with controlled composition of nutrient solution. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 197-212, 1991.

HEWITT, E.J. **Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition**. [S. l.]: Commonwealth Bureau of Horticultural and Plantation Crops, 1966. (East Malling Tech. Commun. 22).

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. **The Walter culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32 p. (Circular, 347).

HO, L. C.; ADAMS, P. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. **Acta Horticulturae**, v. 396, p. 33-43, 1995.

JACKSON, M. L. Nitrogen determinations for soil and plant tissue. In: JACKSON, M. L. (Ed.). **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1958. p. 183-204.

JENSEN, M. H.; COLLINS, W. L. Hydroponic vegetable production. **Horticultural Reviews**, v. 7, p. 483-557, 1985.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook**. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

KOEFENDER, V. N. **Crescimento e absorção de nutrientes pela alface cultivada em fluxo laminar de solução**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1996. 85 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

KOPP, L. M.; SCHUNEMANN, A. P. P.; BRACCINI NETO, J.; LEMOS, C. A. de S.; SIMONETTI, R. B.; DA SILVA, E. S. B. Avaliação de seis cultivares de alface sob duas soluções nutritivas em sistemas de cultivo hidropônico. **Rev. Fac. Zootec. Vet. Agro.**, v. 7, n. 1, p. 19-25, 2000.

LAMBERS, H.; BLACQUIERE, T.; STUIVER, B. (C. E. E.). Interactions between osmoregulation and the alternative respiratory pathway in *Plantago coronopus* as affected by salinity. **Physiol. Plant.**, v. 51, p. 63-68, 1981.

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

LONDERO, F. A. A. **Reposição de nutrientes em soluções nutritivas no cultivo hidropônico de alface**. Santa Maria, RS: UFSM, 2000. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O. S.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

LYNCH, J.; LAÜCHLI, A. Salinity affects intracellular calcium in corn root protoplasts. **Plant Physiology**, v. 87, p. 351-356, 1988.

LYNCH, J.; POLITO, V. S.; LAÜCHLI, A. Salinity stress increases cytoplasmic Ca activity in maize root protoplasts. **Plant Physiology**, v. 90, p. 1271-1274, 1989.

MAAS, E. V. Crop salt tolerance. In: TANJI, K. K. **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. Cap.13, p. 262-304.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba, SP: Instituto da Potassa, 1980. 91 p. (Boletim Técnico, 4 p).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, SP: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Higher Nutrition of Higher Plants**. 2nd. ed. Germany: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1997. 37 p. (Cadernos didáticos,1).

MARTINEZ, H.E.P. Hidroponia. In: **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Viçosa, MG, Impr. Univ., Comissão de Fertilidade do Solo do Estado De Minas Gerais. 1999. p. 131-142.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, (5ª aproximação)**. Viçosa, MG, Impr. Univ., Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. p. 143-168.

MEIRI, A.; PLAUT, Z. Crop production and management under saline conditions. **Plant Soil**, v. 89, p. 253-271, 1985.

MORARD, P. Possible use of ion selective electrodes for nutrient solutions in recirculated systems. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 9., 1996, Jersey. **Proceedings...** Wageningen: ISOSC, 1997. p. 291-298.

MORGAN, J. V.; TAN, A. L. Greenhouse lettuce production at high densities in hidroponics. **Acta Horticulturae**, v. 133, p. 39-43, 1983.

MUNNS, R.; GREENWAY, H.; DELANE, R.; GIBBS, J. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. Cause of the growth reduction. **J. Exp. Bot.**, v. 33, p. 574-583, 1982.

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

NAIDU, R.; RENGASAMY, P. Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. (Eds.). **Australian Sodic Soils: distribution, properties and management**. Austrália: CRC Press, 1995. p. 127-137,

NAVARRO PEDREÑO, I. G.; MATAIX, J. Micronutrient concentration in tomato plants affected by salinity and organic waste fertilization. **Agrochimica**, v. 40, n. 5-6, Setembro-Dicembre 1996.

PEIL, R.M.N.; BOONYAPORN, S.; SAKUMA, B. Effect of different kind of media on the growth of tomato soilless culture. **Vegetables Crops Production Text Book**, n. 53, p. 67-63, 1994.

PERES-ALFOCEA, F.; ESTAN, M. T.; SANTA CRUZ, A.; BOLARIN, M. C. Effects of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 6, p. 1021-1027, nov. 1993.

RENGEL, Z. Role of calcium in salt toxicity. **Plant, Cell and Environment**, v. 15, p. 625-632, 1992.

RESH, H. M. **Cultivos hidroponicos**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1987. 318 p.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis**; an interpretation manual. Sidney: Inkata Press, 1986. 218 p.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline waters for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 48).

ROBINSON, A. D.; PITMAN, M. G. Interactions between nutrients in higher plants. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Inorganic plant nutrition**. New York: Springer-Verlag, 1983. p. 147-173.

ROH, M. Y.; LEE, Y. B. Predictive control of concentration of nutrient solution according to integrated solar radiation during one hour in the morning. **Acta Horticulturae**, v. 440, p. 256-261, 1996.

ROSA, J.; PEIL, R. M.; MARTINS, S. R.; MENDES, M. E.; SCHWENGBER, J. E. Avaliação de cultivares de alface em estufa plástica no inverno no sul do Rio Grande do Sul. **Horticultura Brasileira**, v. 4, n. 1, p. 113, 1996.

SANTOS, J. G. R. dos; GHEYL, H. R. Crescimento da bananeira-nanica sob diferentes qualidades de água de irrigação. **Revista Agropec. bras.**, v. 28, n. 3, p. 339-347, mar. 1993.

SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; NOGUEIRA FILHO, H.; LONDERO, F. A. **Cultivo sem solo: hidroponia**. Santa Maria, RS: CCR/UFMS, 2000. 107 p. (Caderno didático nº 1).

SAROOSHI, R. A.; CRESSWELL, G. C. Effects of hydroponic solution composition, electrical conductivity and plant spacing on yield and quality of strawberries. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 34, p. 529-535, 1994.

SCHWARZ, D.; KUCHENBUCH, R. Growth analyses of tomato in closed recirculation system in relation to the EC-value of the nutrient solution. **Acta Horticulturae**, n. 450, p. 169-176, 1997.

SCHWARZ, M.; GALE, J. Maintenance respiration and carbon balance of plants at low levels of sodium chloride salinity. **J. Exp. Bot.** v. 32, p. 933-941, 1981.

SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. R. L. Seleção de cultivares de alface para cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 244-245, 2000. Suplemento de julho.

SILVA, A. F. **Efeito do estresse salino sobre o crescimento, estado hídrico e nutricional do girassol**. Areia, PB: UFPB, 1996. 68 p. (Monografia).

SILVA, A. F. **Crescimento e teores de nutrientes em alface, salsa e cebolinha influenciados por CaCO_3 e pela correção de pH da solução hidropônica**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. 70 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, A. C. F.; REBELO, J. A.; VIZZOTO, V. J. Avaliação de cultivares de alface no verão, em dois sistemas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 101, 1994.

SILVA JÚNIOR, A. A.; SOPRANO, E. **Caracterização de sintomas visuais de deficiências nutricionais em alface**. Florianópolis: EPAGRI, 1997. 57 p. (EPAGRI – Boletim Técnico, 87).

SMITH, D. L. Plant sap analysis as a monitoring technique for tomatoes in rockwool. **Acta Horticulturae**, v. 221, p. 403-411, 1988.

STANGHELLINI, C. Produção de hortaliças sob cultivo protegido: fatores agrometeorológicos e fisiológicos. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 35-41, 2000. Suplemento de julho.

STEINECK, O.; HAEDER, H. E. The influence of potassium in the growth and yield components of the plant. In: **POTASSIUM research-Review and trends**. Berna: International Potash Institute, 1978. p. 46-48.

STEINER, A. A. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. **Acta Horticulturae**, n. 98, p. 87-97, 1980.

STEINER, A. A. The universal nutrient solution. In: **INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE**, 6., 1984, Lunteren. **Proceedings...** Lunteren: ISOSC, 1984. p. 633-649.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., 1998. 792 p.

TONIOLLI, C. B.; BARROS, I. B. I. de. Performance de cultivares de alface durante o verão no município de Porto Alegre. **Horticultura Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 125, 1996.

WILLUMSEN, J. D. pH of the flowing nutrient solution. In: SYMPOSIUM ON RESEARCH ON RECIRCULATING WATER CULTURE, 1., 1979, Littlehampton. **Acta Horticulturae**, v. 98, p. 161-170, 1980.

WILLUMSEN, J. D. Nutritional requirements of Letucce in water culture. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6., 1984, Lunteren. **Proceedings...** Wageningen: ISOSC, 1984. p. 777-791.