

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

**ATIVIDADE DE ENZIMAS ANTIOXIDATIVAS E ABSORÇÃO DE
SILÍCIO EM PLANTAS DE PIMENTÃO SUBMETIDAS A
ESTRESSE SALINO**

FABIO BECHELLI TONIN

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Horticultura.

BOTUCATU - SP

Agosto – 2005

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

**ATIVIDADE DE ENZIMAS ANTIOXIDATIVAS E ABSORÇÃO DE
SILÍCIO EM PLANTAS DE PIMENTÃO SUBMETIDAS A
ESTRESSE SALINO**

FABIO BECHELLI TONIN

Orientador: Prof. Dr. Fernando Broetto

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Horticultura.

BOTUCATU - SP

Agosto – 2005

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

T665a Tonin, Fabio Bechelli, 1976-
Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino / Fabio Bechelli Tonin. - Botucatu, [s.n.], 2005.
x, 93 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2005
Orientador: Fernando Broetto
Inclui bibliografia

1. Pimentão. 2. Silício. 3. Atividade enzimática. 4. Salinidade. 5. Fertirrigação. I. Broetto, Fernando. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tornar possível tudo o que realizamos.

A minha família, pelo apoio, compreensão e pelo que sou hoje.

*A todos que me incentivaram e apoiaram durante a execução deste trabalho,
em especial:*

Ao orientador:

Prof. Dr. Fernando Broetto

pelos ensinamentos, orientação e dedicação.

Aos professores:

Dr. Antonio Ismael Inácio Cardoso

Dr. Carlos Alexandre Cruciol

Dr. Roberto Lyra Villas Bôas

Dr. Hélio Grassi Filho

Dr. Antonio Nolla

Dr. Romy Goto

pelo apoio e conselhos.

Aos funcionários:

Dorival, do Dept° de Produção Vegetal – Agricultura e Melhoramento Vegetal

Gilberto, do Dept° de Engenharia Rural – Irrigação e Drenagem

Jair, do Dept° de Recursos Ambientais – Ciência do Solo

Edivaldo, do Dept° de Produção Vegetal – Horticultura

pela colaboração.

Aos amigos:

Rodrigo Domingues Barbosa, Marcelo Leonardo, Munir Mauad,

Marco Antônio Tecchio, Cristiani Kano, Glauber Leite,

Claudinei Paulo Lima, Vítor Marin, Flávio Souza,

pelo companheirismo.

E ainda, agradeço a CAPES, pela bolsa cedida.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO	IX
SUMMARY	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cultura do pimentão	3
2.2. Cultivo protegido	6
2.3. Manejo de água na cultura do pimentão	7
2.4. Fertirrigação.....	8
2.5. Salinização dos solos	9
2.6. Silício na agricultura	13
2.7. Sistema de resposta antioxidativo em plantas cultivadas sob estresse.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Localização e instalação	21
3.2. Caracterização dos tratamentos	22
3.3. Delineamento experimental	23
3.4. Caracterização e preparo do solo	24
3.5. Condução dos tratamentos	25
3.6. Manejo da cultura	29
3.7. Análises de parâmetros de crescimento e produtividade	31
3.7.1. Altura de plantas	31
3.7.2. Número de folhas	31
3.7.3. Área foliar	31
3.7.4. Teor de clorofila	32
3.7.5. Produção de frutos	32
3.7.6. Análise química dos constituintes da planta	32
3.8. Análise química do solo	33
3.9. Análises bioquímicas	33

3.9.1. Coleta e armazenamento do material vegetal	33
3.9.2. Processamento do material vegetal para obtenção do extrato bruto	34
3.9.3. Determinação do teor de proteína solúvel total	34
3.9.4. Determinação do teor de L-prolina	34
3.9.5. Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1)	35
3.9.6. Atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6).....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..	36
4.1 Parâmetros de crescimento e produtividade	36
4.1.1. Altura de plantas	36
4.1.2. Número de folhas	39
4.1.3. Teor de clorofila	42
4.1.4. Área foliar	43
4.1.5. Produção de frutos	45
4.1.5.1. Número total de frutos por planta	45
4.1.5.2. Peso total de frutos por planta.....	47
4.1.5.3. Peso médio de frutos	48
4.1.5.4. Aspectos qualitativos dos frutos	49
4.2. Constituintes químicos das plantas	50
4.2.1. Na folha	50
4.2.2. No fruto	52
4.2.3. No caule	54
4.2.4. Teor de silício na parte aérea das plantas	55
4.3. Química do solo	58
4.3.1. Silício no solo	60
4.4. Análises bioquímicas	62
4.4.1. Teor de proteína solúvel nas folhas	62
4.4.2. Teor de L-prolina nas folhas	64
4.4.3. Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD)	67
4.4.4. Atividade da enzima Catalase (CAT)	70
5. CONCLUSÕES	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curva de salinização do solo em função de doses crescentes de cloreto de potássio (KCl). Os valores de C.E. foram obtidos através de extrato de saturação.....	23
2	Curva de salinização do solo em função de doses crescentes de nitrato de cálcio (CaNO ₃). Os valores de C.E. foram obtidos através de extrato de saturação.....	23
3	Curva de retenção de água no solo.....	26
4	Valores de C.E. _{corrigida} para os tratamentos sem estresse (valores próximos de 1,5 dS m ⁻¹). [A] tratamento com silicato de cálcio, [B] tratamento com calcário.....	27
5	Valores de C.E. _{corrigida} para os tratamentos com estresse (valores próximos de 4,5dS m ⁻¹). [A] tratamento com silicato de cálcio, [B] tratamento com calcário.....	28
6	Valores das temperaturas mínimas e máximas anotadas durante o período da condução do experimento.....	30
7	Média geral da altura de plantas (m) em função das épocas. A equação foi obtida através de regressão.....	38
8	Valores para altura média de plantas (m), dos 19 aos 139 DAT, em função dos tratamentos.....	39
9	Valores médios de número de folhas em função das épocas. A equação foi obtida através de regressão.....	40
10	Plantas do tratamento com calcário: [A] solo com C.E. 4,5 dS m ⁻¹ , folhas do baixeiro apresentam enrolamento; [B] solo com C.E. 1,5 dS m ⁻¹ , não observa-se o mesmo problema nas folhas.....	41
11	Plantas do tratamento com silicato de cálcio: [A] solo com C.E. 4,5 dS m ⁻¹ , folhas do baixeiro apresentam enrolamento; [B] solo com C.E. 1,5 dS m ⁻¹ , não observa-se o mesmo problema nas folhas.....	41
12	Média geral do teor de clorofila nas folhas em função das épocas. A equação foi obtida através de regressão.....	43
13	Comparação entre frutos dos tratamentos com calcário [A] e frutos dos tratamentos com silicato de cálcio [B] para os dois níveis de C.E.....	50
14	Teor de proteína solúvel (µg µL ⁻¹) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.....	64
15	Teor de prolina (µg µL ⁻¹) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.....	66
16	Atividade de SOD (UI g ⁻¹ prot.) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.....	70
17	Atividade de CAT (mKat mg prot ⁻¹) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos	72

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Análise de variância para altura de plantas.....	36
2	Valores médios da altura de plantas (m), de 19 a 139 DAT, em função diferentes níveis de condutividade elétrica do solo.....	37
3	Desdobramento para corretivo em função da C.E. para altura de plantas (m)	37
4	Análise de variância para o número de folhas.....	39
5	Valores médios de número de folhas em função dos tratamentos dos 19 aos 79 DAT.....	40
6	Análise de variância para teor de clorofila nas folhas.	42
7	Valores médios do teor de clorofila em função dos tratamentos dos 34 aos 139 DAT.	43
8	Análise de variância para área foliar.....	44
9	Valores médios de área foliar (cm ²) em função dos corretivos.....	44
10	Valores médios de área foliar (cm ²) em função dos diferentes níveis de C.E.....	44
11	Interação (corretivo x C.E.) para área foliar (cm ²).....	45
12	Análise de variância para número total de frutos.....	46
13	Número de frutos em função da interação entre os corretivos e os diferentes níveis de C.E.....	46
14	Análise de variância para peso total de frutos por planta.....	47
15	Peso total de frutos por planta (g) em função dos diferentes níveis de C.E.....	47
16	Peso total de frutos por planta (g) em função da interação entre corretivos e C.E...	48
17	Análise de variância para peso médio de frutos.....	48
18	Peso médio de frutos (g) em função dos diferentes níveis de C.E. do solo...	49
19	Teor foliar de P, Mg, K, B e Zn em função dos diferentes corretivos.....	51
20	Teor foliar de P, Ca, K e B em função dos níveis C.E.....	51
21	Teor foliar de P, Mg, K, S, B e Zn em função da interação entre corretivos e níveis de C.E.....	52
22	Teor de N e S em função dos diferentes corretivos.....	52
23	Teor de P e K em função dos níveis de C.E.....	53
24	Teor de N, P e Zn em função da interação entre os corretivos e os níveis de C.E.....	53
25	Teores de N e S em frutos em função dos corretivos.....	54
26	Teor de K em frutos em função dos níveis de C.E. do solo	54
27	Teor de Ca, K, S, B e Zn em função da interação entre os corretivos e os níveis de C.E.....	55
28	Análise de variância para Si na parte aérea das plantas.....	56

29	Teor de Si (%) no caule em função dos diferentes níveis de C.E. do solo.....	56
30	Teor de Si (%) em frutos em função dos diferentes níveis de C.E. do solo.....	57
31	Teor de Si (%) nos frutos de acordo com o estágio de maturação.....	57
32	Teor de Si (%) nas folhas de pimentão em função dos tratamentos e épocas de amostragem	58
33	Resultados da análise química do solo para pH e saturação por bases	59
34	Resultados da análise química do solo para P, K, Ca, Mg e S, Al ³⁺ e H+Al ³⁺	59
35	Resultados da análise química do solo para os micronutrientes	60
36	Análise de variância para silício no solo.....	60
37	Valores de Si (mg dm ⁻³) no solo em função dos corretivos.....	60
38	Teor de Si (mg dm ⁻³) no solo em função da interação entre os corretivos e os níveis de C.E.	62
39	Análise de variância para teor de proteína solúvel nas folhas.....	62
40	Valores médios do teor de proteína solúvel (µg µL ⁻¹) nas folhas em função dos corretivos.....	63
41	Valores médios do teor de proteína solúvel (µg µl ⁻¹) nas folhas em função da C.E.....	63
42	Interação (corretivo x C.E.) para teor de proteína solúvel nas folhas	64
43	Análise de variância para teor de prolina.....	65
44	Valores médios do teor de prolina (µg ml ⁻¹) em função dos corretivos.....	65
45	Valores médios do teor de prolina (µg ml ⁻¹) em função da C.E.....	65
46	Interação (corretivo x C.E.) para teor de prolina (µg ml ⁻¹).....	65
47	Análise de variância para SOD.....	67
48	Interação (corretivo x C.E.) para SOD (UI. g ⁻¹ proteína)	67
49	Valores médios SOD (UI. g ⁻¹ proteína) em função dos corretivos	68
50	Valores médios de SOD (UI. g ⁻¹ proteína) em função da C.E.....	68
51	Análise de variância para atividade de catalase.....	70
52	Valores médios para atividade de catalase (mKat mg prot ⁻¹) em função dos corretivos.....	70
53	Valores médios para atividade de catalase (mKat mg prot ⁻¹) em função da C.E.....	71
54	Interação (corretivo x C.E.) para atividade de catalase (mKat mg prot ⁻¹)	71

RESUMO

No Brasil, o cultivo protegido aliado a fertirrigação tem se estabelecido como alternativa econômica para o cultivo de diversas espécies hortícolas, assim cultivou-se pimentão (*Capsicum annuum* L.) híbrido Elisa, com o objetivo de estudar a absorção de silício e atividade de enzimas antioxidativas em plantas submetidas a estresse salino. Para a condução do experimento, foram adotados dois manejos para a aplicação de fertilizantes. O primeiro sistema considerou as recomendações para a cultura, visando manter a condutividade elétrica (C.E.) do solo em torno de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$. O segundo manejo foi estabelecido com alta concentração salina objetivando elevar a C.E. a valores três vezes superior ao tratamento controle ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$). Esta concentração salina, baseada na aplicação de KCl, foi proposta para induzir estresse às plantas. Aplicou-se $1,82 \text{ t ha}^{-1}$ de silicato de cálcio (23% SiO_2) como fonte de silício. Observou-se que o aumento da salinidade do solo interferiu em parâmetros como produção de frutos, área foliar e composição química das plantas. Os frutos produzidos sob estas condições apresentaram-se reduzidos e deformados, independentemente da presença de silício. As plantas que receberam adição de silício no solo apresentaram maior área foliar, em ambas as condições de C.E. do solo. Plantas sob estresse apresentaram maior concentração de L-prolina nas folhas, maior atividade da enzima SOD e CAT. O silicato de cálcio contribuiu de alguma forma na eficiência das respostas antioxidativas monitoradas.

X

Formatado

ANTIOXIDANT ENZYMES ACTIVITY AND SILICON ABSORPTION IN SWEET PEPPER PLANTS UNDER SALT STRESS, Botucatu, 2005. [93p.](#)

Formatado: Fonte: Não Negrito

Excluído: 90p

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FABIO BECHELLI TONIN

Adviser: FERNANDO BROETTO

SUMMARY

The protect cultivation allied to a ferti-irrigation system has been established in Brazil as an economic alternative to a variety of horticultural species, so sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) Elisa hybrid was conducted in order to study the silicon absorption and antioxidant enzymes activity in plants under salt stress. Two managements of fertilizer application were used to carry out this experiment. The first system maintained the soil electric conductivity (E.C.) near 1,5 dS m⁻¹ as recommended for the culture. The second one, was established with high salt concentration, to increase the E.C. to triple score of the control (4,5 dS m⁻¹). This salt concentration was proposed to induce the stress in plants. 1,82 t ha⁻¹ of calcium silicate (23% SiO₂) was applied as source of silicon. It was observed that the high salinity changed some characteristics like fruit production, leaf area and chemical composition. The fruits under this condition showed small size and deformity, with or without silicon. The plants supplemented with silicon had higher leaf area for both soil E.C. condition. Plants under stress condition showed higher concentration of prolina in leafs and higher activity of SOD and CAT. The calcium silicate has contributed at antioxidant efficiency results.

Keywords: sweet pepper, silicon, enzymes activity, salt stress.

Formatado: Fonte: Não Negrito

1. INTRODUÇÃO

O pimentão se destaca como uma das olerícolas mais consumidas no Brasil. Por apresentar uma ótima adaptação em ambiente protegido sua produção cresceu muito nos últimos anos. Esta cultura vem sendo conduzida em grande escala sob condições de ambiente protegido utilizando o sistema de fertirrigação, o que melhorou sua eficiência, tendo surgido diversos trabalhos visando aprimorar a aplicação de fertilizantes via água de irrigação para esta cultura.

Apesar dos avanços tecnológicos, ainda é comum encontrar produtores com sérios problemas para cultivar pimentão sob estas condições, principalmente em função de aplicação de doses excessivas de fertilizantes. A utilização da fertirrigação exige manejo adequado, pois o uso abusivo de adubos solúveis pode prejudicar o desenvolvimento das plantas devido ao acúmulo de sais, principalmente em condições de ambiente protegido, reduzindo a absorção de água pelas raízes das plantas.

Para melhorar a produtividade, considera-se essencial o manejo de macro e micronutrientes de acordo com as necessidades de cada cultura, além do conhecimento prévio do potencial do solo. Em determinadas condições de solo e cultivo, existem elementos como o silício (Si), que são considerados benéficos para diversas culturas, podendo destacar arroz e cana-de-açúcar em diversos estudos (SNYDER *et al.*, 1986; DATNOFF *et al.*, 1992; DEREN *et al.*, 1994; MATICHENKOV *et al.*, 1995; KORNDORFER *et al.*, 1999a,b). Esses autores têm relacionado a presença do silício na planta com resistência à pragas e doenças, maior capacidade fotossintética e tolerância à falta de água.

O silício aumenta o crescimento e produção de biomassa de um grande número de plantas (a maioria monocotiledôneas), além de prover rigidez para as estruturas das plantas (EPSTEIN, 1994). Pode, também, reduzir toxidez por metais pesados, aliviar desbalanços entre nutrientes e resistência para o estresse relacionado à salinidade (HODSON & EVANS, 1995).

Segundo Zhujun et al. (2004) o silício deve atuar na diminuição do estresse salino em pepino por diminuir a permeabilidade da membrana plasmática e lipídica e na manutenção da integridade e funcionalidade das mesmas. Os mesmos autores afirmam ainda que o Si deve estar envolvido no metabolismo ou na atividade fisiológica do pepino sob condições de salinização, apresentando aumento da atividade de diversas enzimas ligadas ao sistema de resposta antioxidativo, como a SOD.

Existem diversos produtos comerciais tendo o silício como componente, inclusive no Brasil. O termofosfato, bastante utilizado como fonte de fósforo para as culturas, apresenta em sua constituição, cerca de 25% de SiO₂. Silicatos de cálcio e magnésio podem ser utilizados para fornecer Si ao solo além de apresentar efeito neutralizante como o calcário.

O presente trabalho teve como objetivos, avaliar a atividade de enzimas, ligadas ao sistema de respostas antioxidativas, em plantas de pimentão cultivadas sob estresse salino, na presença de silicato de cálcio ou calcário, comparando a absorção de silício pelas plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do pimentão

O gênero *Capsicum* é originário da América, apresentando ampla distribuição de espécies selvagens na América Central e América do Sul. O pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertence à família das Solanáceas, assim como o tomate. Como olerícola, os híbridos de pimentão são cultivados comercialmente como cultura anual, mas na natureza as formas silvestres apresentam-se como perenes.

Sendo uma planta de origem tropical e sub-tropical, necessita de temperatura moderadamente elevada durante seu ciclo, superiores às exigidas pelo tomateiro (FILGUEIRA, 2003). Sua produção é melhor sob temperaturas relativamente elevadas ou amenas, sendo intolerante a baixas temperaturas e geadas. O fator climático limitante é a baixa temperatura, principalmente durante a germinação, emergência e o desenvolvimento das mudas. As baixas temperaturas do solo também afetam o desenvolvimento inicial da planta (CERMEÑO, 1990; RYLSKI et al., 1994).

De acordo com Sganzerla (1995) valores de temperatura até 35°C não causam prejuízos às plantas de pimentão. Temperaturas diurnas entre 20 e 25°C e noturnas entre 16 e 18°C propiciam melhor desenvolvimento às plantas de pimentão. Para a fase de florescimento, considera-se ótima a temperatura de 25°C, podendo variar entre 18 e 20°C para mínima e até 35°C para temperatura máxima (CERMEÑO, 1977).

Sonnenberg (1981) considerou o pimentão como planta de dias curtos facultativo, em que o florescimento, frutificação e maturação dos frutos são mais precoces em dias curtos, favorecendo produtividade. Cermeño (1997) e Pádua *et al.* (1984) classificaram o pimentão como planta neutra ao fotoperíodo, podendo ser cultivada em qualquer época do ano. Filgueira (2000) concluiu que o fotoperíodo não é um fator limitante à cultura, pois ocorrem floração e frutificação em qualquer período de luz. Normalmente, o plantio é efetuado no período entre a primavera e o verão, no entanto, pode-se estender ao longo do ano em regiões de baixa altitude com inverno ameno. O cultivo de outono-inverno permite a colheita em época de entre safra com preços mais elevados. No estado de São Paulo, a produção máxima ocorre nos meses de janeiro a março, onde os preços pagos aos produtores são em geral mais baixos quando comparados aos do período de julho a outubro, quando a oferta diminui (MINAMI & NETO, 1994).

A planta possui sistema radicular vigoroso podendo atingir 120 cm de profundidade e 75 cm de crescimento horizontal, características que devem ser consideradas no preparo inicial do solo, assim como no manejo e dimensionamento da adubação, irrigação e espaçamento entre plantas (OLIVEIRA & PORTAS, 1993). A planta de pimentão apresenta porte arbustivo e caule semi-lenhoso. Pode tornar-se semi-perene chegando a 180 cm de altura quando cultivada em estufas (FILGUEIRA, 1982; PEREIRA, 1990). Suporta carga leve de frutos sem tombar, mas exige tutoramento para os híbridos em função da alta produtividade. As flores são isoladas, pequenas e hermafroditas, sendo estas autopolinizadas, embora a fecundação cruzada possa ocorrer em grande escala, dependendo da ação de polinizadores. O fruto é uma baya oca de formato cônico ou cúbico e quando maduro altera sua coloração de verde para o vermelho, amarelo ou outras cores como roxo, alaranjado ou creme. Os frutos não apresentam sabor picante, como as pimentas do mesmo gênero, devido à ausência do alcalóide capscina.

O crescimento inicial é lento até aproximadamente 60 dias após o transplante das mudas, intensificando-se no período de florescimento e acentuando-se mais ainda durante a frutificação. Nestas fases as plantas apresentam um aumento exponencial de massa da matéria seca (MARCUSSE & VILLAS BÔAS, 2000). Do transplante das mudas até 75 dias, a cultura do pimentão apresenta um crescimento lento com baixa extração de nutrientes. Passado este período e até 90 dias após o transplante, ocorre expressivo aumento no

crescimento, coincidindo com o período de maior absorção de nutrientes. Isto se deve principalmente à frutificação, quando se observa maior extração de macronutrientes, principalmente potássio, seguido de nitrogênio e cálcio. Após os 90 dias, os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , apresentam altas taxas de absorção, principalmente no final do ciclo da cultura, entre 100 e 115 dias (HAAG *et al.*, 1970; FILGUEIRA, 1982; SANTIAGO & GOYAL, 1985).

A faixa de pH da solução do solo entre 5,5 a 6,8 é a mais favorável para o pimentão, cultura que apresenta certa tolerância à acidez comparada com outras solanáceas (FILGUEIRA, 2003). Em solos mais ácidos a cultura exige calagem, inclusive por serem elevadas as suas exigências em cálcio e magnésio. Sintomas de carência, como a podridão apical e o amarelo baixeiro fisiológico podem ser observados em cultivos de pimentão no estado de São Paulo, embora podridão apical, devido ao insuficiente suprimento de cálcio na extremidade estilar do fruto, seja mais rara (FILGUEIRA, 1982).

Para se obter um equilíbrio nutricional adequado, é necessário conhecimento prévio do nível de nutrientes existentes no solo, das exigências nutricionais da planta e das prováveis complementações nutricionais.

Segundo diversos autores, os nutrientes mais extraídos pelas plantas de pimentão, em ordem decrescente são: potássio, cálcio, nitrogênio, magnésio, enxofre e fósforo, sendo o potássio o que aparece em maior proporção na planta (HAAG *et al.*, 1970; MALAVOLTA, 1980; FILGUEIRA, 1982; SANTIAGO & GOYAL, 1985; RUSSO, 1991; OLSEN *et al.*, 1993).

Cada nutriente tem sua função específica no crescimento e desenvolvimento vegetal. Fernandes (1971) mostra que os nutrientes mais absorvidos pelos frutos de pimentão são o nitrogênio e o potássio. Segundo Malavolta *et al.* (1997), o nitrogênio tem a função de estimular a formação e o desenvolvimento das gemas vegetativas e produtivas, além de participar da absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular. Este nutriente é absorvido prioritariamente pela planta nas formas de NH_4^+ e NO_3^- . O sintoma visual da deficiência do nitrogênio é um característico amarelecimento das folhas velhas.

De acordo com Faquin (1994) o potássio é responsável pela ativação enzimática, apresentando função de osmoregulação, na fotossíntese e no transporte de carboidratos. É absorvido pela planta na forma de K^+ e tem como sintomas visuais de

deficiência presença de queimaduras nas margens das folhas mais velhas, pecíolos mais curtos e mais rígidos, internódios mais curtos e caules mais finos.

Conforme Cruciani (1987), sob condições de estresse salino, as folhas de pimentão apresentam coloração verde azulada escura, maior espessura e serosidade, enquanto as raízes mostram uma diminuição do alongamento e suberização, o que afeta a absorção de água e nutrientes com conseqüente diminuição da produtividade. Alia-se também o fato de que as cultivares híbridas, que apresentam maior potencial produtivo, são mais exigentes tanto em adubação como em disponibilidade de água (FILGUEIRA, 2003).

2.2 Cultivo protegido

O cultivo protegido é uma ferramenta efetiva para o aumento da produtividade, pois promove proteção contra intempéries, além de reduzir o ataque de pragas e consumo de água de irrigação por unidade produzida, com economia de até 50% comparada ao cultivo convencional (STANGHELINI, 1993).

Nos últimos anos observou-se um aumento no cultivo em estufas, notadamente nos países mediterrâneos (GALVÉZ *et al.*, 1993). No Brasil, pode-se verificar tal ocorrência nas regiões Sudeste e Sul. Entretanto, devido ao manejo inadequado do potencial osmótico da solução do solo, os rendimentos da maioria das hortaliças e flores cultivadas vêm sendo diminuídos quando se faz plantios sucessivos nos mesmos locais.

O processo de salinização dos solos sob condições de ambiente protegido está relacionado diretamente ao acúmulo de sais em excesso na solução do solo. Existem duas causas que proporcionam o acúmulo de sais nos solos com maior freqüência no cultivo protegido comercial. A primeira se deve a utilização de águas de qualidade inferior provindas de poços, com alto teor de cloretos, carbonatos e bicarbonatos de sódio, cálcio e magnésio. A segunda se dá em virtude à adição de fertilizantes de elevados índices salinos em quantidades superiores à requerida para a nutrição das plantas, sendo esta última mais freqüentemente encontrada.

A irrigação praticada em estufas, entretanto, faz uso principalmente de águas superficiais captadas em rios e em córregos, as quais possuem baixos teores de sais.

Assim sendo, parece ser a adubação excessiva a principal causa do problema de salinização. Neste caso a remoção do excesso de sais por meio da aplicação de uma fração de lixiviação não seria a técnica mais indicada, visto que, esses fertilizantes foram adquiridos e tem um custo, além de que atingindo o lençol freático estes sais promoverão eutrofização das águas e podem possibilitar condições favoráveis para o aumento do desenvolvimento de algas e microorganismos (SILVA *et al.*, 1999).

Preocupado em garantir altas produtividades, principalmente no cultivo de hortaliças e qualidade elevada no caso de flores, os agricultores muitas vezes aplicam quantidades elevadas de material orgânico, que por si só seriam suficientes para fornecer os nutrientes exigido pelas plantas. Assim, tendo em vista que o agricultor possui a prerrogativa de aplicar adubos com parcimônia, o controle da salinização em estufas parece poder ser garantido por meio do monitoramento da concentração de sais da solução do solo, como sugerido por Burgeño (1996). Esta metodologia permite ainda conhecer a concentração de íons específicos (nutrientes) na solução do solo, evitando assim uma possível deficiência ou excesso, o que poderia causar toxidez, antagonismo e ou inibição a alguns nutrientes.

2.3 Manejo de água na cultura do pimentão

Para a cultura do pimentão, podem ser utilizados diversos métodos de irrigação, desde que apresentem distribuição uniforme e que o suprimento de água seja adequado às plantas. Em cultivo protegido a técnica mais utilizada é a de gotejamento.

A irrigação localizada não deve ser considerada apenas como uma técnica para suprimento de água, mas como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas no cultivo de determinadas plantas. Dentre estas, destacam-se manejo de adubação, controle de doenças, escolha de variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e por água consumida (BERNARDO, 1989).

Avaliando o efeito da irrigação localizada em pimentão, cultivado em casa de vegetação em condição de clima árido, Sirjacobs (1983) relata que a máxima produção foi obtida quando a tensão de água do solo foi mantida entre -15 e -35 kPa.

Smittle et al. (1994) estudaram com três diferentes regimes de irrigação para a cultura do pimentão, utilizando tensiômetros para avaliação da tensão de água no solo, sendo instalados a 10 cm de profundidade. A aplicação de água foi feita sempre que a tensão atingisse -25, -50 ou -75 kPa . Concluíram que a produtividade foi maior quando a irrigação foi efetuada a uma tensão de -25 kPa.

O conhecimento de danos causados às plantas pelo excesso e falta de água na zona radicular é de suma importância. Cruciani & Minami (1982) observaram que o excesso de água na zona radicular das plantas, acima de dois dias, provoca danos severos às plantas, proporcionando grande perda na produção, efeito também observado por Ferreyra et al. (1985).

Além de se conhecer a quantidade ideal de água para a cultura, é necessário ter o conhecimento da fase crítica, quando a planta não deve ter estresse hídrico. Katerji et al. (1993) estudaram os efeitos do déficit hídrico na cultura do pimentão em ambiente protegido, na fase vegetativa, no florescimento e na formação dos frutos. Os autores concluíram que o período de maior sensibilidade ao estresse de água pelo pimentão ocorreu durante a fase de formação dos frutos, com redução em tamanho, quantidade e peso de frutos por planta. Outros autores como Giulivo et al. (1993), observaram que o déficit hídrico na cultura do pimentão reduziu o número de folhas e área foliar e modificou a copa da planta.

2.4 Fertirrigação

A fertirrigação é uma técnica que permite a aplicação de fertilizantes às culturas de forma racional via água de irrigação (LOPEZ, 2001) de modo que, já solubilizados, permitem pronta absorção pelas plantas (CASARINI & FOLEGATTI, 1999).

Sousa & Souza (1993) citam como vantagens da fertirrigação uma menor demanda por mão-de-obra e fertilizantes; aplicação de fertilizantes no momento e no local em que a planta necessita. Isto possibilita uma maior eficiência de uso dos nutrientes, devido a possibilidade de se parcelar a aplicação na forma desejada, além de proporcionar uma boa uniformidade de aplicação. Em contrapartida, falta de recomendações apropriadas e sistemas de irrigação mal dimensionados, podem inviabilizar o uso dessa técnica, ou, se for

praticada de forma inadequada, poderá trazer conseqüências ao meio ambiente, entre elas, a salinização das áreas irrigadas.

Sousa & Souza (1992) relatam que na prática da fertirrigação, são pontos imprescindíveis o conhecimento das propriedades do solo principalmente no que diz respeito à textura, pH, teor de cátions trocáveis e em solução, densidade, permeabilidade, condutividade elétrica e de propriedades da água como a concentração de sais e pH. Por exemplo, solos arenosos muito permeáveis e com baixa capacidade de retenção de nutrientes, favorecem a lixiviação, particularmente os nitratos, que contribuem para a contaminação progressiva das águas subterrâneas (SERRANO *et al.*, 1993).

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

O uso de alguns fertilizantes via fertirrigação, como por exemplo ácido fosfórico e sulfatos de modo geral, tem a capacidade de acidificar o solo, sendo este problema potencializado quando a irrigação for localizada (VITTI *et al.*, 1994). A redução do pH do solo indisponibiliza a absorção de alguns nutrientes (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Entretanto, algumas fontes com propriedades alcalinas, como os nitratos, tem efeito direto na volatilização da amônia (VILLAS BÔAS *et al.*, 1999).

A fertirrigação praticada de forma inadequada, por mal dimensionamento do sistema de irrigação ou erro na recomendação de nutrientes, poderá trazer conseqüências ao meio ambiente, entre elas, a salinização das áreas irrigadas (SOUSA & SOUZA, 1993). O processo de salinização do solo pode ser acelerado pelo uso de fertilizantes mais salinos, utilizados com freqüência por produtores em função de preços mais atrativos.

2.5 Salinização dos solos

A salinização dos solos pode ter origem natural ou ser induzida pelo homem. Os processos naturais associados diretamente a pedogênese são os responsáveis pela

maior parte da área salinizada no mundo (TANJI, 1990). Entretanto, a salinização causada pela ação do homem é a que traz maior impacto econômico, pois ocorre em áreas onde se realizou investimento de capital.

A salinização induzida pelo homem, denominada de secundária, está geralmente associada ao manejo inadequado da irrigação, ocorrendo principalmente em regiões áridas ou semi-áridas. Os fatores diretamente responsáveis pela salinização dos solos em áreas irrigadas são: uso de água de irrigação com alta concentração salina; elevação do lençol freático causada pelo manejo inadequado da irrigação, pelas perdas de água por infiltração em canais e reservatórios e por deficiência de drenagem (SMEDEMA, 1988); aplicação de fertilizantes, de forma excessiva e pouco parcelada no decorrer do período, induzindo estresse osmótico ao sistema radicular.

De maneira geral, o processo de salinização pode ser evitado ou desacelerado caso ocorram precipitações pluviométricas concentradas em quantidades suficientes, associadas à boa permeabilidade do solo ou sistema de drenagem eficiente, promovendo assim uma lavagem natural do perfil. Todavia, sob condições de plantio em estufa a lavagem natural é impossibilitada, passando o solo a se comportar de forma semelhante aos de regiões semi-áridas (MEDEIROS, 1998).

Em condições salinas, ocorre redução na disponibilidade de água, ou seja, com o acúmulo de sais no solo o potencial total da água do solo irá sofrer uma redução, ocasionado pela contribuição do potencial osmótico. Como a água tende a deslocar-se do ponto de maior para menor potencial, haverá um maior gasto de energia para a absorção de água, apesar do potencial osmótico não ser similar ao mátrico, já que as plantas adaptam-se diferentemente às condições de salinidade (LIMA, 1997). Embora algumas plantas possuam mecanismos de ajuste osmótico e consigam sobreviver, o fato da planta entrar mais rapidamente em condições de estresse, provoca o fechamento dos estômatos reduzindo a fotossíntese e diminuindo assim a translocação de nutrientes da raiz para a parte aérea, além de promover um gasto de energia para absorção de íons na forma ativa.

A elevada concentração eletrolítica da solução do solo pode ainda causar desequilíbrio nutricional, toxicidade de alguns íons e interferência no equilíbrio hormonal, capazes de diminuir a plasticidade da célula e causar redução da permeabilidade da

membrana citoplasmática, além de influenciar no processo da fotossíntese, já que o conteúdo de clorofila nas plantas tende a diminuir (LARCHER, 1995).

Mass & Hoffman (1977) citam que para a cultura do pimentão a salinidade limitante atinge valores próximos de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e que o decréscimo no rendimento relativo para cada unidade de incremento na condutividade elétrica no extrato de saturação que excede à limiar é igual a 14 %. Medeiros (1998) encontrou para cultura do pimentão, híbrido “Luiz”, cultivado sob ambiente protegido, uma salinidade limiar próxima a $1,55 \text{ dS m}^{-1}$ e uma perda relativa no rendimento de 11,4%, a cada unidade acima do limiar. Entretanto um parecer mais criterioso a respeito da tolerância de uma determinada cultura deve levar em consideração fatores locais, tais como, tipo de solo, clima e práticas de manejo da irrigação (TANJI, 1990).

Determinados íons são prejudiciais a certas espécies de plantas, dependendo da concentração que atinjam na solução do solo em decorrência da qualidade da água de irrigação utilizada. Dentre estes íons, destacam-se o cloreto, o sódio e o boro (AYERS & WESTCOT, 1985; RHOADES & LOVEDAY, 1990).

O nível de dano que estes íons causam às plantas é dependente da absorção e da tolerância da cultura que mesmo em concentrações relativamente baixas, podem causar injúrias às plantas de espécies sensíveis à salinidade. Estas injúrias são inicialmente caracterizadas pela necrose marginal do limbo foliar e clorose internerval, reduzindo a produtividade proporcionalmente ao aumento no acúmulo destes íons nas folhas. As culturas anuais mais tolerantes não sofrem injúrias à baixas concentrações, porém quase todas apresentam sintomas de toxidez ou morrem quando a concentração é elevada (AYERS & WESTCOT, 1985).

Dentre os métodos empregados para estimar a concentração de sais no solo, a medida dos valores da condutividade elétrica de soluções do solo é o método mais prático. A condutividade elétrica de uma solução representa a facilidade que esta tem em conduzir corrente elétrica, ou seja, mede a resistência à passagem dos elétrons, que é função da quantidade de solutos iônicos presentes na solução. Geralmente, a concentração de sais dissolvidos na solução do solo, expressa em termos da condutividade elétrica (C.E.) a 25°C , envolve um processo bastante simples e rápido e tem uma precisão em torno de 90% para estimar o teor de sais (DONEEN, 1975).

A C.E. normalmente é expressa em dS m^{-1} substituindo o mmho cm^{-1} a 25°C . Além desta, outras unidades podem ser utilizadas para expressar a concentração de sais na água, como meq L^{-1} , mmol L^{-1} , ppm ou mg L^{-1} e g L^{-1} .

Geralmente o método de determinação da condutividade elétrica no extrato saturado tem se revelado excessivamente trabalhoso para um controle rotineiro na propriedade rural. Experiências bem sucedidas vêm sendo realizadas com os métodos do extrato 1:1; 1:2,5 ou 1:5 (PEREIRA et al. 1981) mas, em algumas condições o excesso de diluição poderá promover a solubilização de certos sais de baixa solubilidade (RICHARDS, 1954). Uma das alternativas seria a determinação da salinidade na solução do solo em sua umidade natural, obtida por meio de extratores, visto que, essa é a própria condição explorada pela planta e a diluição de sais nessa solução seria aproximadamente a absorvida pelas raízes (BURGUEÑO, 1996). Outra forma de determinar a salinidade do solo em condições de campo seria pelo uso de equipamentos de instalação direta no solo e eletromagnéticos, como o *Probe* e o portátil EM-38 sugeridos por Rhoades et al. (1999). Entretanto, esses são de custo elevado para aquisição por parte de produtores, em comparação aos extratores de solução.

Uma vez que o monitoramento periódico tenha sido estabelecido, a concentração de fertilizantes aplicados via água de irrigação, geralmente com frequência diária ou em intervalos de poucos dias, pode ser controlada de forma a manter a concentração da solução do solo oscilando em uma faixa de C.E. adequada (BURGUEÑO, 1996). Garante-se, dessa forma, alta disponibilidade de nutrientes sem a ocorrência de problemas osmóticos. Considerando-se que a aplicação de fertilizantes esteja monitorada, não há geralmente necessidade de aplicações intencionais de frações de lixiviação de manutenção, evitando assim possíveis desperdícios com água, energia e fertilizantes.

Arenas et al. (1996), constataram que o monitoramento da concentração dos íons nitrato, potássio, cálcio, magnésio, sódio e cloreto na solução do solo pode ser realizado a partir da extração dessa solução por intermédio de cápsula cerâmica e que a predição de fósforo por esta metodologia não é aceitável.

Em termos fisiológicos e bioquímicos, o estresse iônico produzido pelo sal em folhas de tomate interferiu no transporte de nitrato dos vacúolos para o citoplasma, diminuindo assim a capacidade das células em incorporar nitrogênio (nitrato) para o crescimento, principalmente para a síntese de proteínas (MARTINEZ & CERDA, 1989).

De acordo com Hagin & Tucker (1982), a elevação do teor de K^+ em solo salino causa distúrbio nas plantas cultivadas. O excesso de Cl^- em solos salinos provoca redução de ânions orgânicos, fundamentais para o crescimento máximo das culturas.

Entretanto, Grieve et al. (2001) relatam que manter os níveis adequados de potássio é de suma importância, visto que, altas concentrações de sódio na solução do solo além de interferir na absorção de potássio, podem causar distúrbios nas membranas das raízes alterando a seletividade do sistema radicular em absorver preferencialmente potássio em relação ao sódio.

2.6 Silício na agricultura

O silício é um elemento que tem despertado bastante interesse entre técnicos e agricultores, pelos inúmeros benefícios que traz às culturas, incluindo aumentos na produtividade e na resistência a estresses bióticos e abióticos, tais como excesso de metais pesados, deficiência hídrica e doenças fúngicas.

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, estando logo após o oxigênio. Ocorre em altos teores em solos, principalmente, na forma de silicatos e quartzo (SiO_2 - mineral inerte das areias). O Si se acumula nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca das mesmas. Considerado como nutriente, desde 2004, por apresentar várias funções específicas (Faria, 2000), o silício é um elemento benéfico na nutrição de plantas pois sua absorção traz inúmeros benefícios. São reconhecidas as suas influências na resistência das plantas ao ataques de insetos, nematóides, bactérias e fungos, na melhoria do estado nutricional, na redução da transpiração conseqüentemente na economia de água e, possivelmente, também em alguns aspectos da eficiência fotossintética.

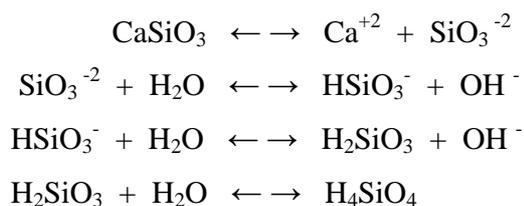
Quando se adiciona um nutriente ao solo, via adubação, ocorrem reações químicas que podem modificar, para mais ou para menos, os teores disponíveis de outros elementos. O ácido monossilícico (H_4SiO_4), a forma solúvel presente na solução do solo e pela qual a planta absorve o silício, ajuda a proteger as plantas dos efeitos tóxicos do alumínio pela formação de hidroxialuminossilicatos inertes na solução do solo. Mas esta

propriedade não se restringe apenas ao alumínio. O ácido silícico pode reagir com outros metais como ferro, manganês, cádmio, chumbo, zinco, mercúrio e outros, formando duas classes de substâncias.

A primeira classe consiste de compostos complexos solúveis, quando há leves aumentos na concentração de silício. A segunda classe consiste de silicatos de metais pesados pouco solúveis, ocorrendo quando há uma alta concentração de ácido silícico na solução do solo com precipitação total do metal com o ânion silicato. No caso do manganês ocorre um outro fato interessante. Sua toxidez nas plantas se caracteriza pelo aumento do teor de compostos fenólicos, responsáveis pelas manchas pardas e necróticas nas folhas. A adição de silício suprime o aumento de ácidos fenólicos, diminuindo ou mesmo impedindo o aparecimento dos sintomas de toxidez.

Em casos de estresses salinos, o silício também pode ser benéfico. A concentração de sódio na parte aérea da planta diminui sensivelmente quando se adiciona silício em substratos com carência neste elemento (FARIA, 2000).

A escória agrícola (silicato de cálcio e de magnésio proveniente da indústria siderúrgica) como fonte comercial de Si, é considerada também um corretivo da acidez do solo. Sua ação neutralizante se deve à dissociação do silicato de cálcio e do silicato de magnésio, com posterior formação de íons hidroxilas que irão neutralizar o íon hidrogênio da solução do solo, responsável pela sua acidez. Alcarde (1992) apresenta a seguinte equação de dissociação do silicato:



O uso de fertilizantes silicatados aumenta a eficiência da adubação NPK e normalmente apresentam boas propriedades de adsorção. Isto faz com que ocorra uma menor lixiviação de potássio e outros nutrientes móveis no horizonte superficial. Com o aumento no teor de silicato no solo, ocorrem reações químicas de troca entre o silicato e fosfatos, como os fosfatos de cálcio, alumínio e ferro. Com isso, há a formação de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, por exemplo.

Plantas com níveis mais elevados de silício tendem a conter mais nitrogênio em seus tecidos. O silício aumenta a produção de fotoassimilados, devido ao incremento na taxa fotossintética, há um aumento de substrato para a incorporação do nitrogênio nos esqueletos carbônicos. Para maximizar o potencial de produção, por exemplo no arroz, pode-se adotar plantios mais adensados e altas aplicações de nitrogênio. Contudo, nestas condições, as folhas tendem a ficar menos eretas, e a planta fica mais suscetível a doenças. A aplicação de silício deixa as folhas mais eretas, diminuindo o sombreamento mútuo e a planta mais resistente a doenças. Cultivos intensivos, com aplicações pesadas de nitrogênio, necessitam de adubação complementar com silício. O papel do silício no manejo do solo será cada vez mais importante para uma maior produtividade e sustentabilidade, à medida que os agricultores tiverem acesso a fontes silicatadas (KORNDÖRFER *et al.*, 1999).

Várias classes de solo da região central do Brasil, principalmente nas áreas sob vegetação de cerrado, são pobres em Si solúvel, disponível para as plantas (RAIJ & CAMARGO, 1973). Nessas condições, podem-se esperar respostas para aplicação de Si na forma de fertilizantes e/ou corretivos silicatados, principalmente, quando aplicado em plantas acumuladoras de Si, como é o caso da maioria das gramíneas (KORNDÖRFER *et al.*, 1999; KORNDÖRFER *et al.*, 2004).

Os principais solos sob vegetação de Cerrado apresentam alto grau de intemperismo, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si-trocável e baixas relações $(K_i)SiO_2/Al_2O_3$ e (K_r) Sílica/Sesquióxidos de Fe e Al, apresentando, portanto, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as plantas (BRADY, 1992; SILVA, 1973).

As principais características de uma fonte de Si, para fins agrícolas são: alto conteúdo de Si-solúvel, facilidade para a aplicação mecanizada, boas relações e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), baixo custo e ausência de potencial de contaminação do solo, com metais pesados (KORNDÖRFER *et al.*, 2004).

Para suprir essas demandas, há necessidade de se investigar e identificar as fontes mais promissoras de Si disponíveis, capazes de fornecê-lo para as plantas, com as características acima mencionadas. Os silicatos de Ca e Mg, provenientes das escórias da produção de aço, desde que não tenham um potencial de contaminação do solo, com metais pesados, podem atender perfeitamente a essa demanda. As altas temperaturas e insumos

utilizados nos processos da aciaria liberam, freqüentemente, o Si desde os estados mais cristalinos até formas mais reativas e, portanto, mais solúveis (NOLLA *et al.*, 2004).

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presentes no solo são: Si solúvel (ácido monossilícico, H_4SiO_4), que desprovido de carga elétrica, tem interessantes conseqüências no comportamento da sílica, com relação aos vegetais (RAIJ & CAMARGO, 1973); Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). As solubilidades destes minerais dependem da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) em sua estrutura. A dissolução destes minerais é afetada, também, por fatores de solo tais como: matéria orgânica, umidade, potencial de óxido-redução e teores de sesquióxidos.

O Si penetra na planta na forma de ácido monossilícico H_4SiO_4 (YOSHIDA, 1975; TAKAHASHI, 1996). No interior da planta, 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, sendo o restante (1%) encontrado na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975).

Frey-Wyssling, citado por Jones & Handreck (1967), sugere que a sílica é absorvida pelas gramíneas através do fluxo de massa, por processo não-seletivo. O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema e tem tendência natural a se polimerizar.

As plantas podem ser acumuladoras ou não-acumuladoras de silício. São consideradas acumuladoras aquelas que possuem teor foliar acima de 1% e plantas não-acumuladoras, aquelas com teor de silício abaixo de 0,5% (MA *et al.*, 2001). Essa classificação pode ser ainda baseada nos seguintes valores para teor foliar, sendo que plantas com menos de 17 g kg^{-1} são aquelas que acumulam pouco silício; plantas com médio acúmulo, entre $17-34 \text{ g kg}^{-1}$ e plantas com alto acúmulo de silício para teores acima de 34 g kg^{-1} (KORNDÖRFER *et al.*, 1999).

Mais de 94% do Si absorvido pelo trigo foi transportado rapidamente para a parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velhas, as quais continham até 11,8% de Si. Por outro lado, em plantas de pepino, ao ser interrompido o suprimento de Si na solução, as folhas superiores apresentaram concentração de Si marcadamente menor que as inferiores,

indicando baixa translocação desse elemento na planta, igualmente ao que acontece com o Ca (BARBER & SHONE, 1966).

No caso da soja e do sorgo, e talvez do pepino, a absorção de silício pode ter se dado de forma rejeitiva, ou seja, absorve silício, mas fica concentrado nas raízes. Isso ocorre em função da formação da parede celular com a faixa de Cáspari, juntamente com formação de células suberinizadas, que são responsáveis pela seletividade de absorção, garantindo que o silício fique retido no sistema vascular, não sendo translocado (GROTHGE, 1998).

Na planta, a sílica concentra-se nos tecidos de suporte, do caule e nas folhas, podendo ser encontrada em pequenas quantidades nos grãos. O conteúdo médio de sílica das raízes é um décimo da concentração do caule. No arroz, a sílica é acumulada nas células da epiderme e nas paredes das células e, também, no exudato de transpiração dos órgãos sob a forma de sílica coloidal.

O Si é um elemento químico envolvido em funções físicas de regulação da evapo-transpiração, sendo capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias no interior da planta, dificultando também, o ataque de insetos sugadores e herbívoros (EPSTEIN,1999). O efeito da proteção mecânica do Si nas plantas é atribuído, principalmente, ao seu depósito na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), na parede celular.

O acúmulo de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma camada dupla de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. As plantas superiores podem ser classificadas, em relação ao acúmulo de Si e em relação à razão Si/Ca na matéria seca como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras (MIYAKE & TAKAHASHI, 1983). Algumas gramíneas forrageiras (SOEST, 1970), o arroz e cana-de-açúcar (KORNDÖRFER et al.,1999 a, b) apresentam grande acúmulo de Si, sendo consideradas como plantas acumuladoras de Si.

Plantas acumuladoras de silício apresentam formação de uma camada de sílica abaixo da cutícula, enquanto em plantas não-acumuladoras, ocorre um mecanismo bioquímico, onde o silício ativa um mecanismo de defesa, elevando a produção de fitoalexinas (fungicidas naturais) aumentando a resistência ao ataque de patógenos e pragas, por diminuir a palatabilidade.

O silício pode reduzir o estresse salino e reduzir a transpiração em plantas (EPSTEIN, 1994). Além disso, em cana-de-açúcar, há evidência que o Si pode desempenhar importante papel na proteção de folhas à danos da radiação ultravioleta funcionando como filtro (TISDALE *et al.*, 1993).

2.7 Sistema de resposta antioxidativo em plantas cultivadas sob estresse

As plantas sofrem alterações no seu metabolismo quando mantidas sob condições ambientais adversas. Os tecidos vegetais são dotados de diferentes sistemas de resposta para o controle da produção de radicais livres. Devido a sua compartimentalização específica nas células, as enzimas e compostos orgânicos formados em situação de estresse ambiental, podem ser determinados e respondem também de forma específica conforme o envolvimento de reações metabólicas que se façam necessárias.

Sob estresse, seja hídrico, salino, osmótico, temperatura, luminosidade, efeito de herbicidas, injúrias causadas por pragas e patógenos, ocorre a formação de espécies reativas de oxigênio. Estas formas de oxigênio, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$) e o radical hidroxila (OH^{\cdot}) são conhecidos por oxidar importantes constituintes celulares, tais como ácidos nucleicos, lipídeos de membrana (camada bipolar) e proteínas, podendo levar as células à morte (ALSCHER *et al.*, 1997). Esta oxidação acontece principalmente em membranas, em nível das duplas ligações em ácidos graxos apolares da camada bipolar. A consequência imediata deste ataque oxidativo traduz-se em alterações da permeabilidade seletiva e efluxo de íons. Em nível do complexo protéico, pode ocorrer mudança na estrutura conformacional. No caso de enzimas, pode haver distúrbio no sítio ativo, influenciando a atividade e outras alterações metabólicas, como aumento da síntese de proteases, responsáveis pela degradação das proteínas. A degradação oxidativa dos ácidos nucleicos apresenta paralelos com os efeitos de ionização radioativa, induzindo a inúmeras lesões como falhas na cadeia do DNA, mutações e outros defeitos genéticos letais.

Para combater os danos causados pelo estresse oxidativo, os vegetais desenvolveram mecanismos de reparo. Entre eles, destaca-se o aumento da atividade de

enzimas do sistema antioxidativo, que agem como neutralizadores das formas reativas de oxigênio.

Padrões enzimáticos de diversas enzimas importantes podem variar em resposta a fatores estressantes como seca, salinidade, alta intensidade luminosa, etc. (DUBEY & SHARMA, 1990).

Sugere-se que as plantas estão equipadas com um sistema efetivo para controlar a ação deletéria destes radicais. Em várias espécies vegetais observou-se uma super expressão da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD; EC 1.15.1.1) em respostas a diversos fatores estressantes (MISZALSKI *et al.*, 1998; BROETTO *et al.* 2002).

A SOD catalisa a dismutação de radicais superóxidos para H_2O_2 e está classificada conforme o cofator metálico. Em plantas CuZn-SOD foi encontrada nos cloroplastos (FOSTER & EDWARDS, 1980), no citossol (SAKAMOTO *et al.*, 1995) e em mitocôndria (SALIN & BRIDGES, 1981). Fe-SOD foi encontrada exclusivamente em cloroplastos (SALIN & BRIDGES, 1980) e a Mn-SOD foi detectada em mitocôndria, peroxissomo e citossol (ALSHER *et al.*, 1997).

A catalase (CAT; EC 1.11.1.6) é outra enzima importante do sistema de resposta antioxidativa em plantas. A enzima decompõe peróxido de hidrogênio (reduzindo à água) gerado nos peroxissomos durante a fotorrespiração (GERBLING *et al.*, 1984), assim como o produto de reação da SOD. A vitamina C, ou ácido ascórbico é uma vitamina abundante em tecidos vegetais, sendo que folhas verdes possuem ascorbato em concentrações similares a clorofila. O ascorbato exerce papel essencial em diversos processos fisiológicos, incluindo crescimento, diferenciação e metabolismo. O ácido orgânico age como redutor de muitos radicais livres, portanto minimiza o dano causado pelo estresse oxidativo.

A APX, ascorbato peroxidase, é outra enzima antioxidante. Ela reage com o radical H_2O_2 formando ácido monodehidroascórbico e/ou dehidroascorbato. As formas reduzidas voltam a ácido ascórbico pela monohidroascorbato redutase e dehidroascorbato redutase usando redutores equivalentes como NAD(P)H ou glutatona (GHS). Esta GHS, por sua vez, é encontrada na maioria dos tecidos, células e compartimentos celulares de plantas superiores. Seu nível diminui com o envelhecimento dos tecidos e varia entre os meios de crescimento. A glutatona é o agente redutor que recicla ácido ascórbico de sua forma oxidativa a sua forma reduzida pela enzima dehidroascorbato redutase. As enzimas que

catalisam a síntese e degradação da GHS foram caracterizadas tanto nos compartimentos cloroplásticos quanto citoplasmáticos. Pesquisas mostram que o estresse ambiental acarreta em um acúmulo de GHS, sendo que o mecanismo envolvido não está definido.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e instalação

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com estrutura metálica do tipo arco, com lanternim superior, pé-direito de 3,5 m de altura, 7 m de largura e 30 m de comprimento, coberta por plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) com 150 μ de espessura. Até uma altura de 50 cm, as laterais apresentavam plástico de PEBD de 100 μ , sendo o restante fechado com tela branca. Esta estrutura pertence à área de pesquisa, denominada “Pomar”, vinculada ao Departamento de Produção Vegetal - Horticultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, em Botucatu-SP, 22°51’ de latitude sul, 48°26’ de longitude oeste e altitude aproximada de 770 m. As análises bioquímicas do material vegetal foram realizadas no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências - UNESP, Câmpus de Botucatu.

O período dos experimentos compreendeu desde a produção das mudas até o final do cultivo, com início em junho de 2004 e concluído em janeiro de 2005. As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 30 L de solo, apresentando diâmetro inferior de 20 cm e diâmetro superior de 40 cm, tendo aproximadamente 40 cm de altura.

3.2 Caracterização dos tratamentos

Foram conduzidos tratamentos com e sem a adição de silício no solo, com dois níveis de condutividade elétrica (C.E.), próximo de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ (preconizado como limitante para a cultura) e outro nível próximo de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, considerado acima do limiar para estas plantas e suficiente para cultivar o pimentão sob estresse salino. Desta forma os tratamentos constaram de:

- (Tratamento 1) Silicato de cálcio / C.E. $1,5 \text{ dS m}^{-1}$
- (Tratamento 2) Silicato de cálcio / C.E. $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (situação de estresse)
- (Tratamento 3) Calcário dolomítico / C.E. $1,5 \text{ dS m}^{-1}$
- (Tratamento 4) Calcário dolomítico / C.E. $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (situação de estresse)

Como fonte de fonte de silício, foi utilizado no preparo do solo, um silicato de cálcio, com propriedade corretiva de pH do solo, apresentando as seguintes características químicas fornecidas pelo fabricante: 42% CaO; 12% MgO; 23% SiO₂; 0,42% P₂O₅; 0,19% K₂O; 0,37% SO₃; 11% FeO₃; 1,8% MnO; 0,4 mg g⁻¹ Mo; 0,1 mg g⁻¹ Zn. Foram realizados testes preliminares para avaliação do efeito corretivo do material, obtendo um valor de PRNT = 90%.

Os demais tratamentos, sem adição de silício, receberam calcário dolomítico, apresentando as seguintes garantias pelo fabricante: 38 a 40% CaO; 18 a 20% MgO; 90% PRNT e 100% PN; ressaltando que a elevação do pH do solo pode aumentar a disponibilidade de silício já existente neste.

As condutividades elétricas, preconizadas para cada tratamento, foram obtidas através da adubação de cobertura com cloreto de potássio (60% K₂O) e nitrato de cálcio (15,5% N), segundo as curvas de salinização do solo (Figuras 1 e 2). Estes foram aplicados na forma de solução, ao redor da planta, com dose e frequência de aplicação determinada em função da C.E., monitorada a cada dois dias.

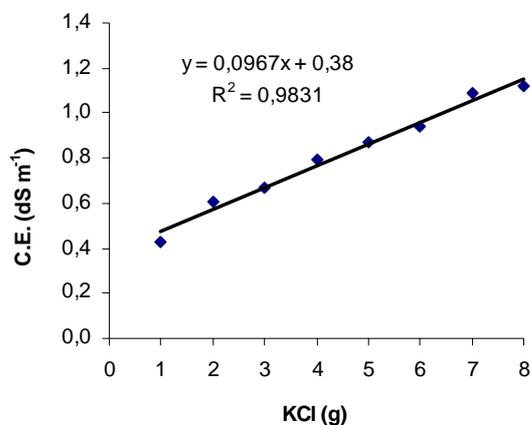


Figura 1. Curva de salinização do solo em função de doses crescentes de cloreto de potássio (KCl). Os valores de C.E. foram obtidos através de extrato de saturação.

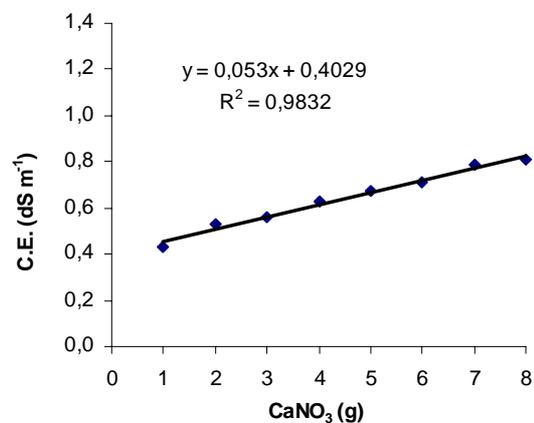


Figura 2. Curva de salinização do solo em função de doses crescentes de nitrato de cálcio (CaNO₃). Os valores de C.E. foram obtidos através de extrato de saturação.

3.3 Delineamento experimental

Foi adotado delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, segundo descrito por Banzato & Kronka (1989), sendo: duas condutividades elétricas (1,5 e 4,5 dS m⁻¹), com adição de silício (silicato de cálcio) e sem adição de silício (calcário), onde cada tratamento era composto por 10 repetições, totalizando 40 parcelas. Os resultados obtidos das avaliações de campo e de laboratório foram submetidos à análise de variância pelo Teste de F, a 5% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR 4.6. Quando o fator época fez parte da avaliação de alguma das características analisadas, adotaram-se modelos de regressão para estudo de sua interação com os causadores de variância, sendo calculada através do mesmo programa. Todas as equações de ajuste matemático apresentadas nos gráficos foram obtidas através do SISVAR.

Paralelamente, foram cultivadas outras 15 plantas por tratamento para a realização de análises de constituição química, totalizando 60 parcelas, das quais eliminavam-se 3 plantas por tratamento em quatro diferentes estádios fenológicos da cultura.

3.4 Caracterização e preparo do solo

Foi utilizado um Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 1999) de textura média (615 g de areia, 45 g de silte e 340 g de argila por quilograma de solo), o qual foi coletado na gleba “Patrulha” da FCA-UNESP, a uma profundidade de 0 a 20 cm para a análise química, conforme Raij *et al.* (2001). A análise revelou os seguintes resultados: pH 4,4 (CaCl_2 , $0,1 \text{ mol L}^{-1}$); 5 g dm^{-3} de matéria orgânica; 0 mg dm^{-3} de P_{resina} ; $0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{+3} ; $21 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de H+Al; $0,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K; $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca; $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg; $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de soma de bases (SB); $23 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 6% de saturação por bases (V%); $0,17 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de B; $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Cu; $7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Fe; $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mn e $0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Zn.

Ao início dos experimentos, realizou-se a determinação prévia do teor de Si no solo, que apresentou concentração de $5,5 \text{ mg dm}^{-3}$. Carvalho (2000) utilizando o mesmo solo encontrou teor de $6 \text{ mg de Si dm}^{-3}$.

Os cálculos de correção da acidez do solo seguiram recomendações de Raij *et al.* (1996), visando a elevação da saturação por bases a 80%, sendo necessário aplicar $1,82 \text{ t ha}^{-1}$, equivalente a $27,3 \text{ g}$ de calcário dolomítico (PRNT = 91%) por vaso e $27,6 \text{ g}$ de silicato de cálcio (PRNT = 90%) por vaso.

A adubação básica para fósforo e potássio foi baseada nas recomendações de Villas Bôas *et al.* (2000) para a cultura do pimentão, sendo que para o fósforo foi aplicada quantidade equivalente a 150 mg de fósforo L^{-1} de solo, utilizando-se $57,28 \text{ g}$ por vaso de superfosfato simples (18% P_2O_5). Para potássio foi aplicada quantidade equivalente a 117 mg de potássio L^{-1} de solo, equivalente a 7 g de cloreto de potássio (60% K_2O) por vaso. Em função dos baixos teores de boro e zinco no solo, foram aplicados o equivalente a $0,09 \text{ g}$ de ácido bórico por vaso e $0,23 \text{ g}$ de sulfato de zinco por vaso (RAIJ *et al.*, 1996), aplicados na forma de solução. Cada vaso recebeu ainda 50 g de esterco de galinha curtido e humificado.

3.5 Condução dos tratamentos

Para o monitoramento da condutividade elétrica do solo, foram utilizados extratores de solução com cápsulas porosas para a obtenção da solução do solo e tensiômetros para determinação da umidade do solo para o cálculo da C.E._{corrigida}, através da seguinte fórmula:

$$C.E._{corrigida} = \frac{C.E._{scp} \times U_{scp}}{U_s}$$

Onde, C.E._{scp} = condutividade elétrica da solução do solo obtida com extrator de cápsula porosa (dS m⁻¹); U_{scp} = umidade do solo no momento da retirada da solução com o extrator de cápsula porosa (g g⁻¹); U_s = umidade do solo na pasta saturada (g g⁻¹); C.E._{corrigida} = condutividade elétrica da solução do solo estimada a partir da condutividade elétrica da solução do solo obtida com extrator de cápsula, sendo corrigida para a umidade da pasta saturada (dS m⁻¹).

Os extratores de cápsulas porosas foram instalados nos vasos de cultivo a uma distância de 10 cm em relação à planta de pimentão e com a cápsula a 20 cm de profundidade em relação à superfície do solo. Em direção oposta aos extratores com a mesma distância das plantas e a profundidade de 15 cm, foram inseridos no solo os tensiômetros, com a finalidade de verificar indiretamente o potencial da água do solo no momento da extração da solução do solo.

Cada tratamento, composto por 10 vasos, recebeu 4 tensiômetros e 4 extratores de solução. Através da média obtida das leituras dos tensiômetros dentro do mesmo tratamento determinava-se o volume de água a ser aplicada. Da mesma forma para as doses de fertilizante, utilizava-se a média dos valores de C.E._{corrigida}.

A irrigação, realizada diariamente e a fertirrigação, a cada dois dias, foram realizadas ao final da tarde, sendo que a aplicação do vácuo nos extratores ocorria pela manhã do dia seguinte, aproximadamente 14 horas após a aplicação de água nos vasos. Neste mesmo momento verificava-se a umidade do solo através dos tensiômetros.

Para a definição do teor real de água do solo em relação à determinada pelo tensiômetro, foi obtida uma curva de retenção de água do solo ajustada pela equação logarítmica, conforme apresentado na Figura 3.

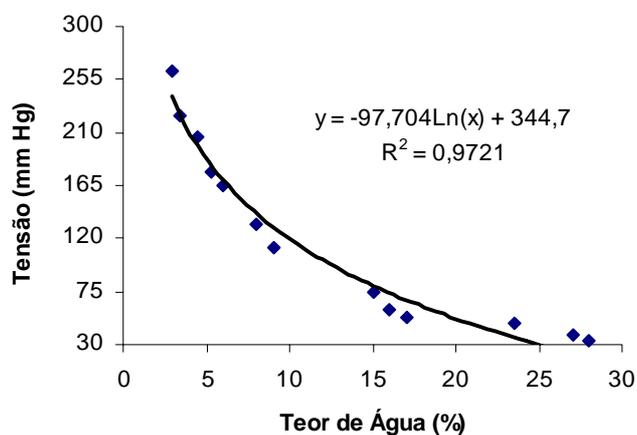


Figura 3. Curva de retenção de água no solo.

A reposição de água foi realizada manualmente, sempre que as médias das leituras na coluna de mercúrio fossem superiores a 225 mm (equivalente a uma tensão de -30 KPa), considerando como ideal uma tensão dentro da faixa de -10 KPa a -15 KPa, ou leitura na coluna de mercúrio entre 75 e 112 mm.

O monitoramento da condutividade elétrica (C.E.) foi realizado a cada dois dias. De acordo com o valor da C.E._{corrigida} obtida, ajustava-se a dose de adubo para manutenção dos valores previstos para os tratamentos. As Figuras 4 e 5 apresentam os valores da C.E._{corrigida} obtidos para os tratamentos sem estresse (C.E. 1,5 dS m⁻¹) e com estresse respectivamente (C.E. 4,5 dS m⁻¹).

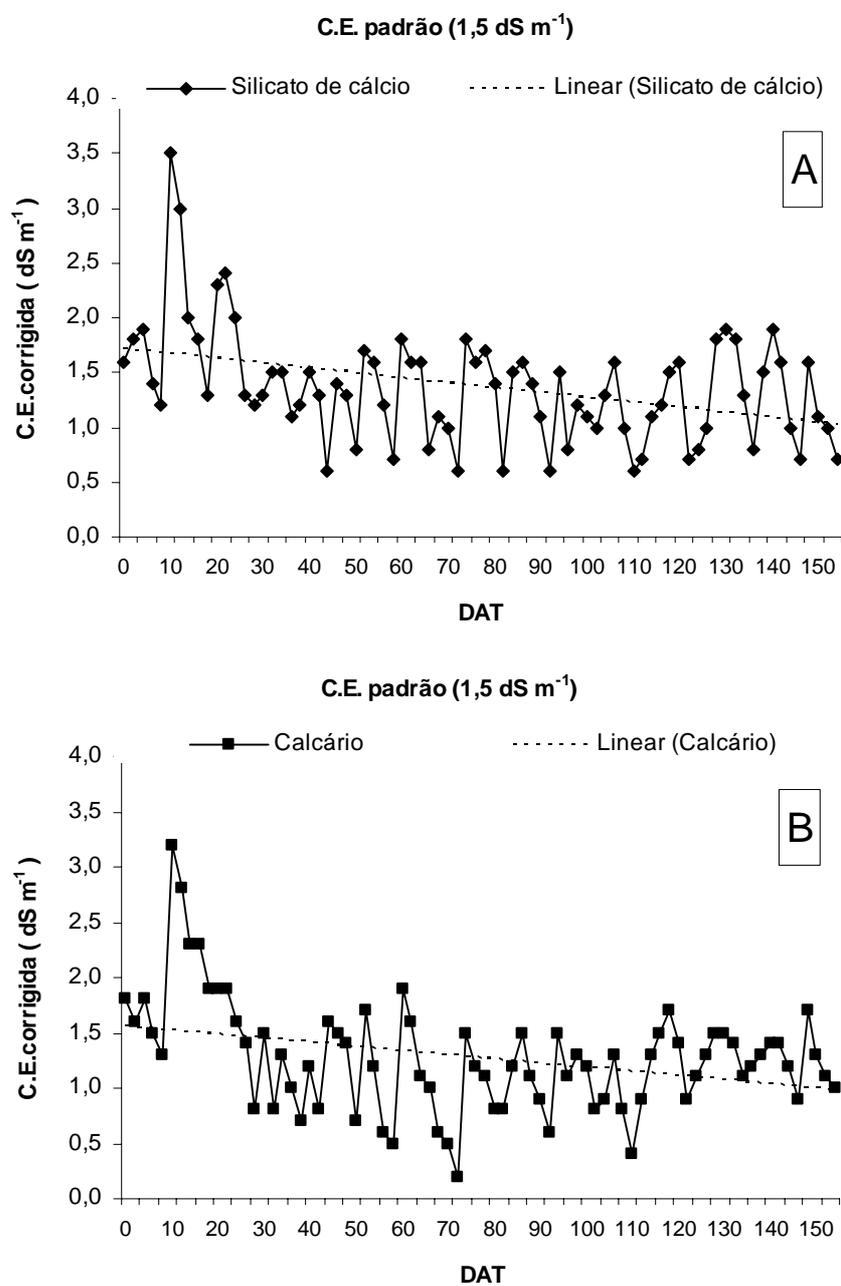


Figura 4. Valores de C.E.corrigida para os tratamentos sem estresse (valores próximos de 1,5 dS m⁻¹). [A] tratamento com silicato de cálcio, [B] tratamento com calcário.

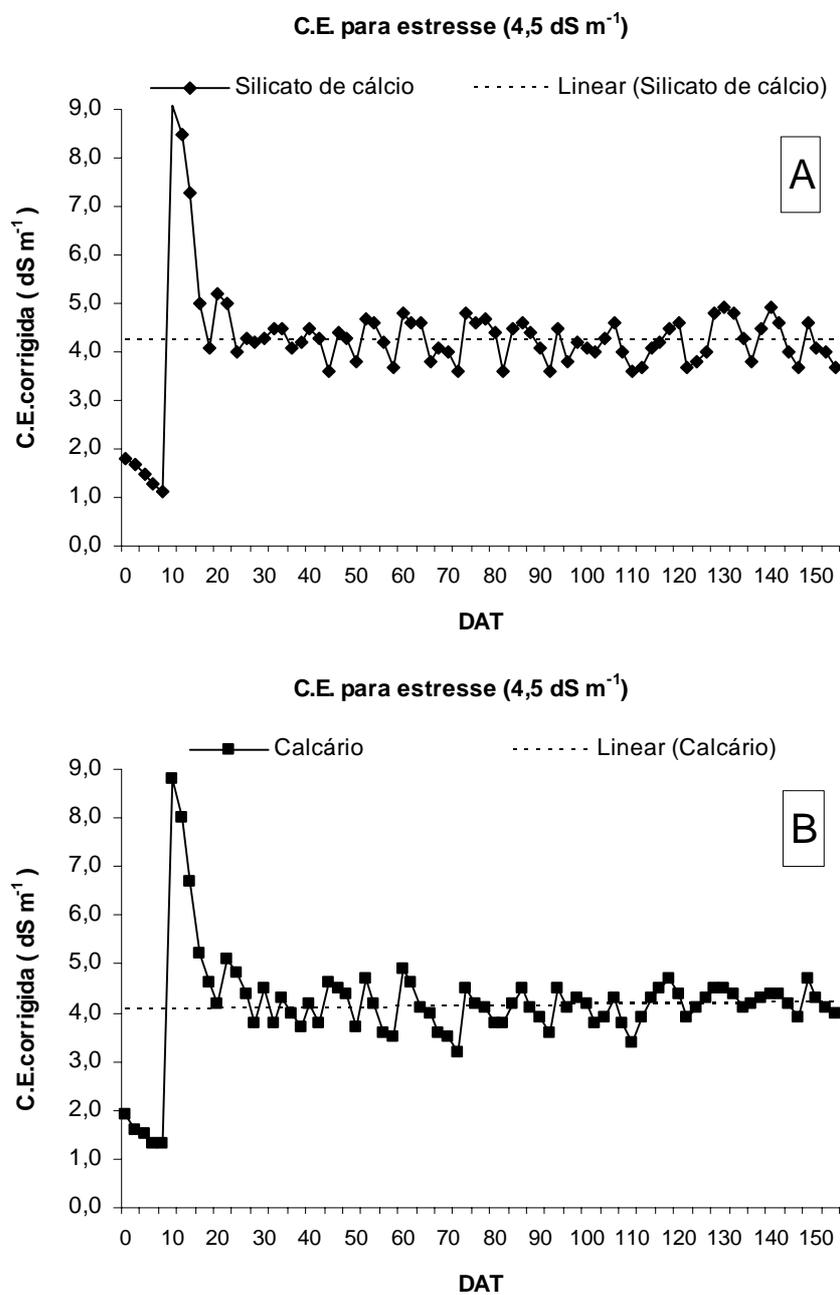


Figura 5. Valores de C.E.corrigida para os tratamentos com estresse (valores próximos de 4,5d Sm⁻¹). [A] tratamento com silicato de cálcio, [B] tratamento com calcário.

Os valores da C.E.corrigida, no período de 155 dias, para os tratamentos sem estresse, foram em média de 1,4 e 1,3 dS m⁻¹ para os tratamentos com silicato de cálcio e

com calcário respectivamente. Para os tratamentos com estresse, os valores da C.E._{corrigida}, apresentaram a média de 4,2 dS m⁻¹ em ambos tratamentos.

As adubações de cobertura tiveram início aos 10 dias após transplante (DAT), sendo realizadas semanalmente até os 75 DAT. Deste período em diante, a adubação passou a ser realizada a cada dois dias, em função do aumento da demanda de nutrientes pelas plantas. Para o cálculo da dose de adubo foram utilizadas as equações obtidas através da curva de salinização do solo (Figuras 1 e 2).

As primeiras determinações de C.E. registraram valores próximos de 2,0 dS m⁻¹ em ambos tratamentos. Acredita-se que a adubação inicial possa ter contribuído para se obter estes valores. Os valores mais altos representados nos gráficos foram encontrados devido a possíveis doses elevadas de fertilizantes nas primeiras adubações de cobertura, onde foram aplicadas doses de cloreto de potássio além do necessário para o tratamento proposto. Para a normalização da situação, interrompeu-se a adubação de cobertura por alguns dias, mantendo-se a irrigação. Em aproximadamente 10 dias, os valores de C.E. observados aproximaram-se dos tratamentos propostos.

3.6 Manejo da cultura

Foi utilizado um híbrido de pimentão denominado comercialmente de “Elisa”, o qual apresenta plantas vigorosas, resistentes e produtivas, com boa frutificação em baixas temperaturas. Seus frutos apresentam coloração vermelha quando totalmente maduros, possuem formato retangular e paredes espessas, com ótima conservação pós-colheita.

As mudas de pimentão obtidas da semeadura em bandejas com 128 alvéolos, com substrato composto por material inerte e livre de patógenos foram transplantadas, uma por vaso, quando apresentavam em média 6 folhas definitivas e altura média em torno de 10 cm, o que ocorreu por volta dos 60 dias após a semeadura. Os vasos estiveram mantidos a distância de 0,6 m entre plantas e 1,0 m entre linhas. Para o tutoramento da cultura, foram utilizados mourões de madeira nas extremidades de cada linha sustentando arames, aos quais as plantas eram amarradas com fitilho conforme a necessidade. As plantas foram cultivadas com três hastes, realizando o desbaste de folhas abaixo da primeira

bifurcação conforme o desenvolvimento da planta. As plantas foram cultivadas até os 155 dias após o transplante (DAT).

A aplicação de defensivos ocorreu de forma preventiva desde o início do cultivo, seguindo conforme a necessidade, tendo sido realizadas durante o ciclo, quatro aplicações de inseticida (comercialmente denominado 'STRON'), quatro aplicações de acaricida/inseticida ('VERTIMEC'), três aplicações de bactericida ('FEGATEX') e quatro aplicações de fungicida cúprico ('CUPREX'), sendo respeitadas as doses recomendadas e os intervalos de aplicação.

Os valores de temperatura mínima e máxima anotados durante o ciclo da cultura estão na Figura 6. O valor médio para temperatura mínima e máxima durante os 155 dias do cultivo (24/08/2004 a 25/01/05) foi de 17,2°C e 39,2°C respectivamente.

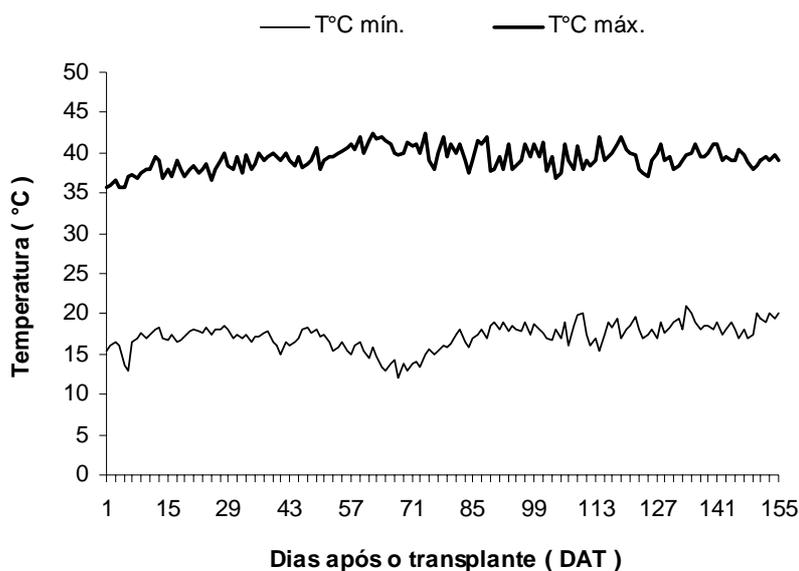


Figura 6. Valores das temperaturas mínimas e máximas anotadas durante o período da condução do experimento.

Nas primeiras semanas após o transplante das mudas, foram registradas temperaturas noturnas entre 12 e 13°C, sendo prejudicial para a cultura de pimentão, podendo ocasionar encurtamento de internódios e prejudicar seu crescimento. Segundo Sonnenberg (1981), temperaturas menores que 15°C determinam desenvolvimento vegetativo lento e formação reduzida de flores. Pádua et al. (1984) cita 16°C como temperatura mínima ideal para esta cultura.

Em algumas ocasiões, foram observadas temperaturas máximas acima de 40°C, o que pode ter em parte contribuído para a queda na produção, por influenciar no abortamento de flores e também na formação de frutos com tamanho reduzido, por causar nestas situações déficit hídrico às plantas.

3.7 Análises de parâmetros de crescimento e produtividade

Foram avaliados os parâmetros de crescimento a partir dos 19 DAT. Com intervalo a cada 15, dias foram realizadas determinações de altura de plantas, número de folhas e teor de clorofila nas folhas. Para produtividade, foram avaliados número, peso médio e peso total de frutos por planta.

3.7.1 Altura de plantas

A altura (cm) das plantas foi obtida com trena, tomando como base a superfície do solo e como ponto mais alto da planta a gema apical mais extrema verticalmente. Foram medidas 10 plantas por tratamento, sendo realizadas ao todo 9 determinações, aos 19, 34, 49, 64, 79, 94, 109, 124 e 139 DAT.

3.7.2 Número de folhas

Para contagem de folhas (unidades) foram consideradas as folhas totalmente expandidas, sendo realizada esta contagem até a primeira colheita de frutos. Foram realizadas 5 determinações, aos 19, 34, 49, 64 e 79 DAT, nas 10 plantas que compunham cada tratamento.

3.7.3 Área foliar

A área foliar (cm² por planta) foi determinada através de um medidor “Area meter” modelo LICOR LI-3000. Para a realização das medições, foram coletadas 20

folhas da região mediana da planta aos 155 DAT. Estas amostras foram obtidas em 10 plantas por tratamento.

3.7.4 Teor de clorofila

O teor de clorofila (unidades SPAD), foi determinado através de um clorofilômetro (modelo Chlorophyl Meter SPAD-502 Minolta Co., Japão), amostrando 5 folhas maduras (da região mediana) por planta, sendo amostradas 4 plantas por tratamento, totalizando 20 leituras para o cálculo da média do teor de clorofila por tratamento. Foram realizadas 8 amostragens, aos 34, 49, 64, 79, 94, 109, 124 e 139 DAT.

3.7.5 Produção de frutos

As colheitas foram realizadas com intervalo de aproximadamente 10 dias, num período de dois meses, iniciando aos 85 DAT. Os frutos foram colhidos quando apresentavam aproximadamente 15% da coloração vermelha, determinando-se o número total de frutos por planta (média), peso total de frutos por planta (média) e o peso médio de frutos. Nas duas últimas colheitas colheram-se frutos inteiramente verdes e outros maduros, com pelo menos 90% da coloração vermelha, para análise do teor de silício além das determinações já citadas.

3.7.6 Análise química dos constituintes da planta

Foram cultivadas 15 plantas extras para cada tratamento (conforme item 4.5) e paralelamente ao experimento, exclusivamente para a análise dos constituintes químicos, a qual exigia a eliminação da parcela. Realizou-se o estudo da marcha de absorção de nutrientes, com ênfase para o silício, sendo analisadas folhas, frutos e hastes. Foram coletadas três plantas por tratamento para análise de composição química em quatro fases fenológicas da cultura. Aos 50 DAT, representando cerca de dois terços do período de baixa extração de nutrientes (até 75 DAT); aos 78 DAT, coincidindo com o a fase inicial de floração; aos 108 DAT, considerado o período de frutificação plena e aos 146 DAT, no final

do ciclo, com início da senescência. A análise foi conduzida conforme método descrito por Malavolta et al. (1997). Para silício foi seguida técnica descrita por Elliott & Snyder (1991) adaptada por Korndörfer et al. (2004).

3.8 Análise química do solo

Após os 155 DAT, procedeu-se à amostragem de solo. Cada vaso teve seu solo retirado para revolvimento e homogeneização, obtendo-se 10 amostras simples para cada tratamento. As amostras simples foram homogeneizadas para composição de uma amostra composta por tratamento.

A análise química foi realizada no laboratório do Departamento de Ciências Ambientais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, Campus de Botucatu. Com os resultados obtidos foram calculadas: soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e os valores da saturação por bases (V%).

Utilizando-se uma fração das mesmas amostras obtidas, descritas anteriormente, a análise do teor de Si no solo (em ácido acético) foi efetuada seguindo a técnica descrita por Korndörfer et al. (2004), sendo realizada no laboratório do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura e Melhoramento Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, Campus de Botucatu.

3.9 Análises bioquímicas

3.9.1 Coleta e armazenamento do material vegetal

Procedeu-se a coleta de folhas para análise de parâmetros bioquímicos, sendo que foram coletadas amostras de folhas expandidas da região mediana das plantas aos 155 DAT, acondicionadas em frascos do tipo *Falcon* e imediatamente imersas em N líquido para congelamento rápido. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em Freezer a -80°C.

As amostras foram então moídas na presença de N líquido, até a obtenção de um pó fino. Após pesagem, as amostras foram armazenadas em frascos Eppendorf, em Freezer a -80°C.

3.9.2 Processamento do material vegetal para obtenção do extrato bruto

As amostras foram processadas para obtenção de dois extratos diferentes: o primeiro serviu para a análise do teor de L-prolina e o segundo para as análises de atividade enzimática. Para o primeiro extrato, amostras do tecido foliar (100 mg) citadas em 3.8.1 foram ressuspensas em 1,0 mL de ácido sulfosalicílico (3% em água destilada). Após centrifugação por 5 minutos a 12.000 rpm o sobrenadante foi coletado e armazenado em Freezer a -80°C. O extrato para as análises enzimáticas foi obtido pela ressuspensão do material vegetal (300 mg) em 5,0 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M, pH 6.8). Após centrifugação por 20 minutos a 4.000 rpm, a 4°C, o sobrenadante foi coletado e armazenado em Freezer a -80°C.

3.9.3 Determinação do teor de proteína solúvel total

A concentração de proteína solúvel presente nos extratos foi determinada em triplicata, utilizando-se método descrito por Bradford (1976) com albumina de soro bovino (BSA) como proteína padrão.

3.9.4 Determinação do teor de L-prolina

O teor de L-prolina foi determinado utilizando-se método de Bates et al. (1973). Para a realização do teste colorimétrico, pipetou-se alíquotas de 1,0 mL do extrato bruto; 1,0 mL de nihidrina ácida; 1,0 mL de ácido acético glacial. Após banho-maria fervente por 60 minutos, resfriou-se os frascos e efetuou-se leitura a 520 nm. Como referência, utilizou-se uma reta padrão com L-prolina p.a..

3.9.5 Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1)

A determinação da atividade da SOD considerou a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (azul de nitrotetrazólio cloreto). A atividade foi determinada pela adição de 50 μL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 μM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 μM de riboflavina em 3,0 ml de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7.8.

A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por tubos fluorescentes (15 W), a 25° C. Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz (GIANNOPOLITIS & RIES, 1977). O composto azul formado (formazana) pela fotorredução do NBT foi determinado pela absorção a 560 nm. Os tubos considerados branco para a análise receberam os mesmos reagentes, porém foram mantidos cobertos com papel alumínio durante a incubação, portanto, abrigados da luz. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima, considerou-se a percentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$).

3.9.6 Atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6)

A atividade da enzima catalase foi determinada através de espectrofotômetro a 240 nm, pelo monitoramento da variação na absorção do peróxido de hidrogênio, conforme Peixoto *et al.* (1999). Para o teste, 50 μL de extrato bruto foram adicionados a 950 μL de um tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, suplementado com peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12,5 mM. A variação da absorção (ΔE) foi calculada em um intervalo de 80 segundos, sendo a atividade da enzima calculada utilizando-se um coeficiente de extinção molar $\epsilon = 36 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. A atividade específica (mkat) da catalase, levou em consideração a concentração de proteína solúvel no teste.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros de crescimento e produtividade

4.1.1 Altura de plantas

A determinação da altura de plantas foi efetuada quinzenalmente dos 19 aos 139 DAT. Os resultados obtidos na análise de variância estão na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de variância para altura de plantas

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	0,080252	0,0777 ^{ns}
C.E. (B)	1	0,256053	0,0017**
Interação (A x B)	1	0,083144	0,0726 ^{ns}
Interação (A x B x Época)	8	0,012046	0,8872 ^{ns}
CV (%)	34,26		

** significativo a 1%; ^{ns} não significativo para o teste F

Conforme observado na análise de variância, não houve diferença significativa para altura de plantas de pimentão em função dos corretivos de solo aplicados nos tratamentos. Ao analisar-se apenas o parâmetro altura de plantas e corretivos, observou-se que o silicato de cálcio não interferiu no crescimento das plantas, apresentando resultado final semelhante ao observado pela utilização do calcário no preparo do solo.

Para os níveis de condutividade elétrica avaliados no experimento, houve diferença significativa a 1% (Tabela 1). Estes resultados comprovam que os valores

altos de C.E. para a cultura são prejudiciais ao seu crescimento normal, reforçando a necessidade de se respeitar as doses de nutrientes recomendadas para a cultura. Silva (2002), trabalhando com o mesmo híbrido de pimentão, observou que com o aumento da salinidade do solo, a altura de plantas tende a diminuir. Para Medeiros (1998), por outro lado, a salinidade não afetou significativamente a altura das plantas de pimentão.

Os valores médios de altura de plantas em função da C.E., observados no presente experimento estão na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios da altura de plantas (m), de 19 a 139 DAT, em função diferentes níveis de condutividade elétrica do solo

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	0,49 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	0,44 b
Qm	0,256053 **
CV (%)	34,26

** significativo a 1%

Não houve interação entre o corretivo utilizado e os níveis de C.E., pois considerou os valores referentes às médias de altura de todas as plantas que receberam determinado corretivo. Desdobrando a análise em função dos corretivos (Tabela 3), pode-se observar que houve diferença entre os corretivos para a situação com C.E. 1,5 dS m⁻¹ na altura de plantas, onde as que receberam calcário no preparo do solo apresentaram valores superiores, sendo significativa a 5% comparada as plantas que receberam silicato de cálcio.

Tabela 3. Desdobramento para corretivo em função da C.E. para altura de plantas (m)

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m⁻¹	C.E. 4,5 dS m⁻¹	Média
Silicato	0,46 b	0,44	0,45
Calcário	0,52 a	0,44	0,48
Qm	0,163383	0,000013	0,083144
F	0,0120 *	0,9822 ^{ns}	0,0726 ^{ns}
CV (%)	34,26		

* significativo a 5%; ^{ns} não significativo para o teste F

Não houve interação entre corretivos, condutividade elétrica e as épocas em que se determinou a altura de plantas.

Na Figura 7 observa-se a curva de crescimento das plantas em função das épocas avaliadas, com a respectiva equação obtida através da regressão com base nas épocas de amostragem.

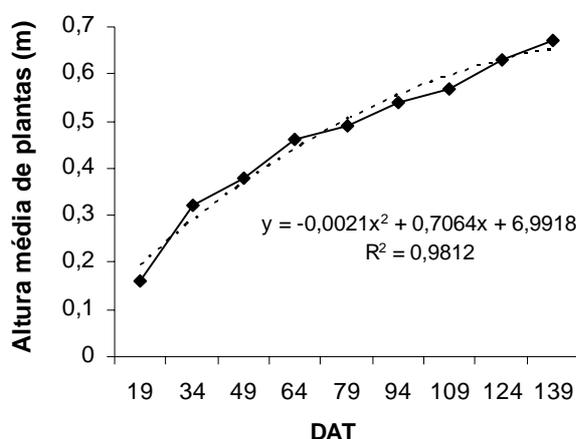


Figura 7. Média geral da altura de plantas (m) em função das épocas. A equação foi obtida através de regressão.

A curva mostra um crescimento rápido do início até os 64 DAT. Dos 64 aos 79 dias as plantas apresentaram crescimento muito lento. De acordo com as temperaturas (Figura 4), pode-se observar que neste período houve elevação da temperatura máxima, muitas vezes acima dos 40°C, da mesma forma as temperaturas mínimas registradas apresentaram valores inferiores aos ideais para a cultura, sendo registradas temperaturas abaixo dos 15°C. Em situações de temperaturas muito elevadas, a umidade relativa do ar pode ficar muito baixa e ocasionar déficit hídrico às plantas. No caso, como as plantas já vinham sofrendo, devido a condição salina do solo, em função das doses de fertilizantes, o déficit hídrico neste período tornou-se ainda mais severo, quando constatou-se efeito de murchamento das folhas. As baixas temperaturas (12 e 13°C), enfrentadas durante os primeiros dias após o transplante e ao redor dos 65 DAT podem ter contribuído para o efeito de redução dos internódios, o que pode ter influenciado na altura das plantas.

A Figura 8 apresenta as médias para altura de plantas (m), obtidas nos diferentes períodos de amostragem para cada tratamento. Destaca-se o tratamento com calcário em condições padrão para a cultura. Possivelmente em função das baixas temperaturas, os valores registrados para a altura, aos 139 DAT, mantiveram-se pouco abaixo dos resultados obtidos por outros autores com o mesmo híbrido em condições semelhantes de cultivo. Tivelli (1999) por exemplo, observou 0,78 m aos 141 DAT enquanto Pameló (1995) registrou crescimento de 0,80 m para o mesmo período.

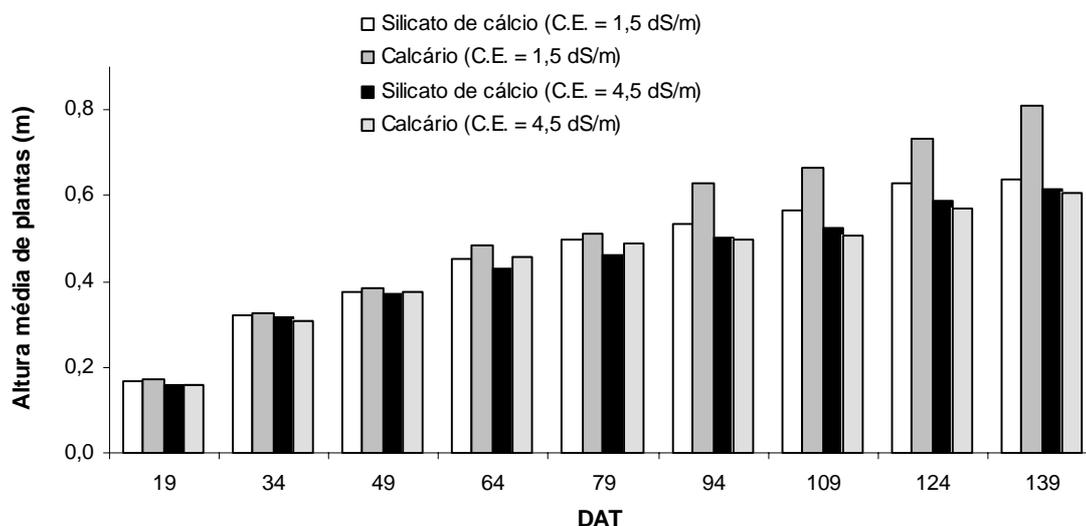


Figura 8. Altura média de plantas (m), dos 19 aos 139 DAT, em função dos tratamentos.

4.1.2 Número de folhas

O número de folhas foi amostrado dos 19 aos 79 DAT. Esta avaliação foi realizada até o período em que se deu início a colheita de frutos, já que a cada colheita foi retirado um par de folhas abaixo da primeira bifurcação, o que influenciaria diretamente sobre este parâmetro. Em função do estresse hídrico induzido, além das altas temperaturas observadas em algumas ocasiões e provavelmente da baixa umidade relativa do ar, taxas elevadas de queda de folhas foram comumente observadas.

Não houve resultado significativo para os corretivos assim como para as condutividades estudadas, como observado na Tabela 4. Da mesma forma, também não houve interação entre os fatores analisados e as épocas de avaliação.

Tabela 4. Análise de variância para o número de folhas

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	15,1250	0,8206 ^{ns}
C.E. (B)	1	18,6050	0,8014 ^{ns}
Interação (A x B)	1	63,8450	0,6414 ^{ns}
Interação (A x B x Época)	4	17,3450	0,9935 ^{ns}
CV (%)	57,25		

^{ns} não significativo pelo teste F

O número de folhas para o tratamento com condutividade elétrica de referência foi equivalente aos valores obtidos por Leonardo (2003), ficando, no entanto,

abaixo dos valores observados por Villas Bôas (2001), para o mesmo híbrido de pimentão em condições semelhantes de cultivo. A Tabela 5 apresenta os valores médios de número de folhas para cada tratamento e a média geral do experimento para cada época em que foi avaliado.

Tabela 5. Valores médios de número de folhas em função dos tratamentos dos 19 aos 79 DAT

DAT	C.E. 1,5 dS m ⁻¹		C.E. 4,5 dS m ⁻¹		Média
	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	
19	10,80	11,00	10,50	10,90	10,80
34	14,60	14,20	13,30	13,90	14,00
49	27,30	29,10	28,90	26,20	27,88
64	42,10	45,50	43,40	42,80	43,45
79	52,00	55,45	53,55	52,90	53,45

Média de 10 plantas por tratamento

Na Figura 9 observa-se a equação obtida através da regressão com base nas épocas de amostragem para a média geral do número de folhas.

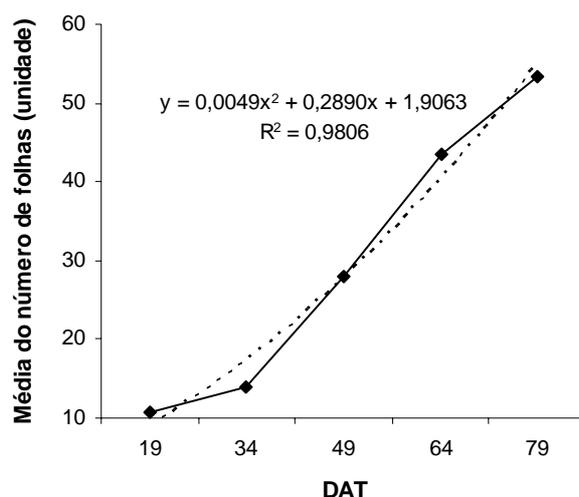


Figura 9. Valores médios de número de folhas em função das épocas. A equação foi obtida através de regressão.

Quanto ao aspecto físico das folhas, observou-se alterações em função dos níveis de condutividade. As folhas das plantas que receberam maiores doses de adubo, ou seja, aquelas submetidas a C.E. em torno de 4,5 dS m⁻¹, apresentaram bordas enroladas, limbo com maior espessura e aspecto coreáceo, sinais típicos de plantas sob estresse. As Figuras 10 e 11 apresentam estas características das folhas para os tratamentos com calcário e com silicato de cálcio respectivamente.

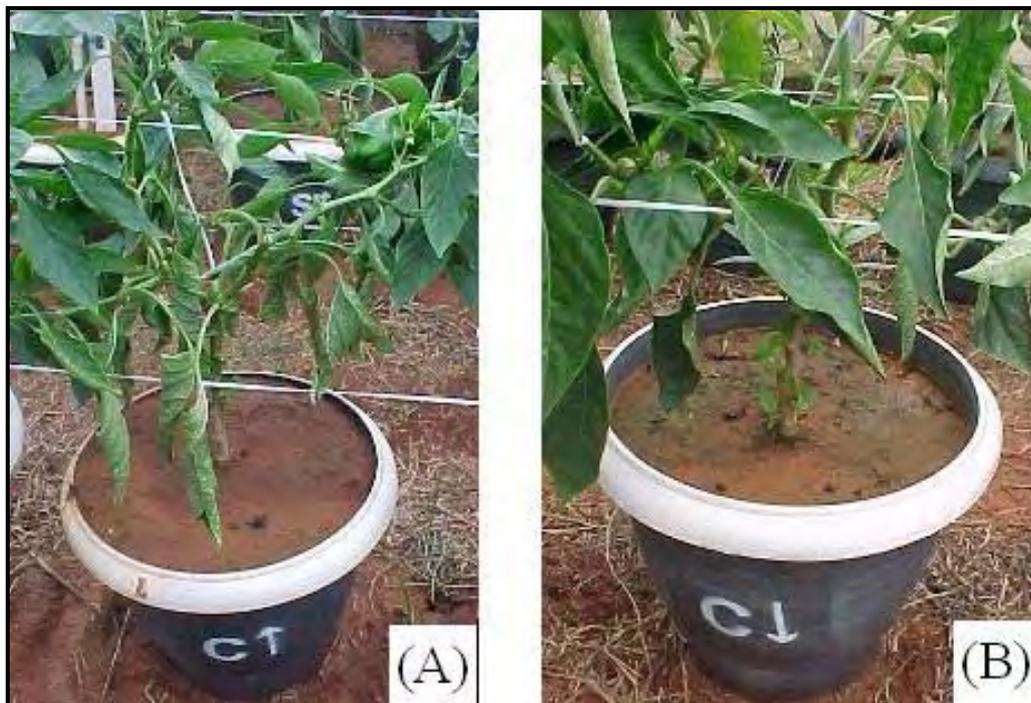


Figura 10. Plantas do tratamento com calcário: [A] solo com C.E. $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, folhas do baixeiro apresentam enrolamento; [B] solo com C.E. $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, não observa-se o mesmo problema nas folhas.

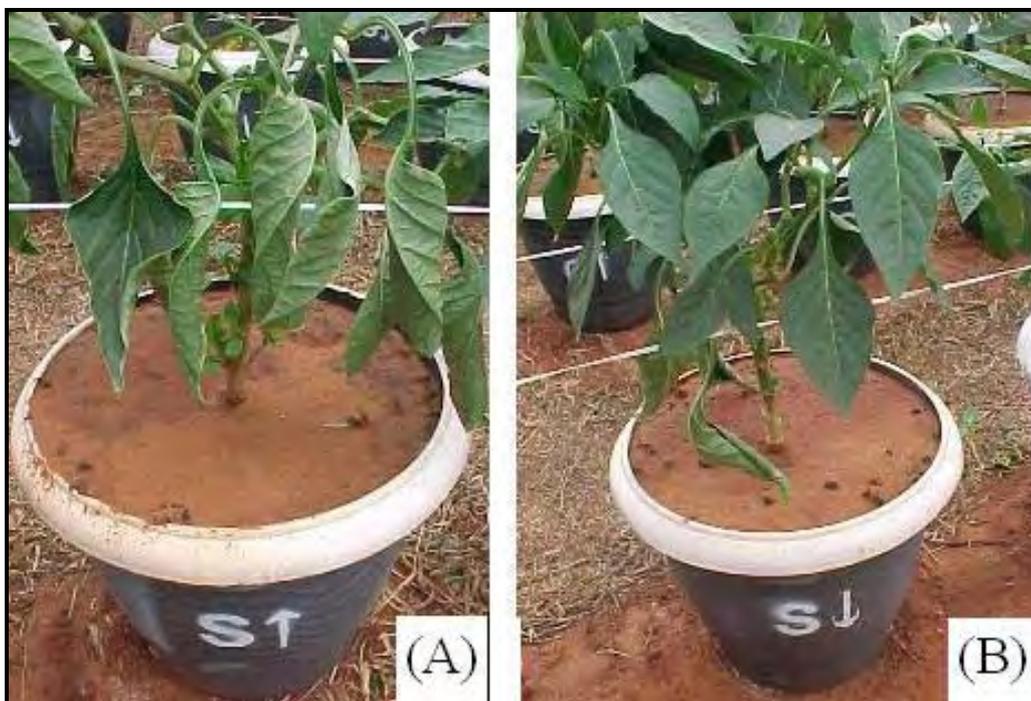


Figura 11. Plantas do tratamento com silicato de cálcio: [A] solo com C.E. $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, folhas do baixeiro apresentam enrolamento; [B] solo com C.E. $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, não observa-se o mesmo problema nas folhas.

4.1.3 Teor de clorofila

O teor de clorofila foi determinado semanalmente desde os 34 até os 139 DAT. Para os tratamentos estudados e para as condições do experimento, não houve diferença significativa para as possibilidades analisadas através do teste de F a 5% de significância. Na Tabela 6 pode-se observar os resultados da análise de variância.

Tabela 6. Análise de variância para teor de clorofila nas folhas

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	47,5313	0,3401 ^{ns}
C.E. (B)	1	61,0513	0,2785 ^{ns}
Interação (A x B)	1	10,3513	0,6581 ^{ns}
Interação (A x B x Época)	7	0,7977	1,0000 ^{ns}
CV (%)	13,80		

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Para corretivos, a média obtida para os tratamentos que receberam silicato de cálcio foi inferior a dos tratamentos com calcário, entretanto esta diferença não foi significativa a 5%. Para condutividade elétrica do solo, os tratamentos que foram mantidos valores próximos de 1,5 dS m⁻¹, apresentaram médias ligeiramente superiores comparadas as médias das plantas cultivadas sob a outra condutividade, mas também não foi suficiente para constatar diferenças significativas entre ambos os níveis de C.E.

Assim como nas análises individuais para corretivos e para os níveis de condutividade elétrica do solo, também não houve resultado significativo para a interação entre eles. Em geral, as plantas dos tratamentos com silicato de cálcio tenderam a apresentar teor de clorofila menor que apresentados por plantas do tratamento com calcário para ambos os níveis de C.E..

Na Tabela 7 observa-se as médias obtidas em cada tratamento e a média geral em função das épocas de amostragem, muito semelhantes aos resultados obtidos por Villas Bôas (2001), mas diferentes dos resultados encontrados por Leonardo (2003), ambos trabalhando com o mesmo híbrido de pimentão.

Tabela 7. Valores médios do teor de clorofila em função dos tratamentos dos 34 aos 139 DAT

DAT	C.E. 1,5 dS m ⁻¹		C.E. 4,5 dS m ⁻¹		Média
	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	
34	45,70	46,90	45,60	45,30	45,88
49	51,20	53,40	52,30	51,00	51,98
64	57,30	58,00	57,30	55,70	57,08
79	58,90	63,20	55,50	59,20	59,20
94	59,00	64,50	55,80	60,30	59,90
109	59,50	65,20	56,00	61,00	60,43
124	62,00	68,70	62,60	63,40	64,18
139	70,40	72,70	65,90	65,50	68,63

Média de 4 plantas por tratamento

Observa-se que os valores aumentaram com o passar do tempo, apesar de uma pequena estabilização dos 94 aos 109 DAT. Os valores da média geral (Tabela 8) estão apresentados na Figura 12 com a respectiva equação linear ajustada através de regressão em função das épocas de amostragem.

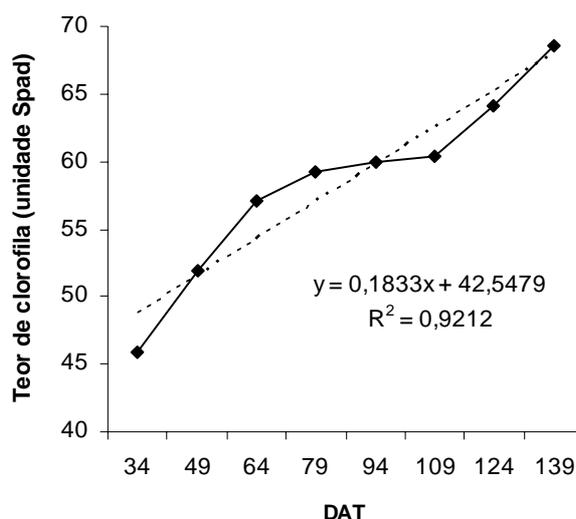


Figura 12. Média geral do teor de clorofila nas folhas em função das épocas. A equação foi obtida através de regressão.

4.1.4 Área foliar

A área foliar (cm²) foi determinada ao final do experimento (150 DAT) e os resultados da análise de variância estão na Tabela 8. Para os tratamentos estudados nas condições do experimento, houve diferença significativa para as possibilidades analisadas

através do teste de F a 5% de significância. Tanto para corretivos quanto para as condutividades houve diferença a 1% para os resultados obtidos.

Tabela 8. Análise de variância para área foliar

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	15758,1211	0,0020 **
C.E. (B)	1	20095,0476	0,0006 **
Interação (A x B)	1	170,1975	0,7309 ^{ns}
CV (%)	4,41		

** significativo a 1%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Como pode-se observar nas Tabelas 9 e 10, apresentando os resultados separadamente para corretivos e para condutividades respectivamente, o silicato de cálcio e a condição padrão de C.E. para a cultura propiciaram maior área foliar, sendo significativo a 1% para ambos.

Tabela 9. Valores médios de área foliar (cm²) em função dos corretivos

Tratamentos (corretivos)	Média
Silicato	873,39 a
Calcário	833,69 b
Qm	15758,1211 **
CV (%)	4,41

** significativo a 1%

Tabela 10. Valores médios de área foliar (cm²) em função dos diferentes níveis de C.E.

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	875,95 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	831,13 b
Qm	20095,0476 **
CV (%)	4,41

** significativo a 1%

Quanto ao silício, em função das poucas informações disponíveis na literatura, torna-se difícil uma discussão sobre este efeito positivo, diferentemente do que ocorre com o cálcio. Quanto a este, sabe-se que o mesmo está diretamente ligado à estrutura das membranas e sua deficiência é um fator limitante para o aumento das células vegetais. Presume-se que o silicato de cálcio possa ter sido mais eficaz no fornecimento de cálcio às plantas em relação ao calcário, como comprovado pela análise química das folhas.

Para C.E. constatou-se mais uma vez o efeito prejudicial da salinidade dos solos sobre a cultura, que em condições de estresse teve a área foliar claramente reduzida. Este resultado corrobora com Medeiros (1998), que verificou que este parâmetro foi o mais

afetado em função da salinidade do solo. Santos (2001), também trabalhando com pimentão Elisa obteve médias de 870 cm² em condições de 1,5 dS m⁻¹, muito próximo do obtido neste experimento (875 cm²).

Quanto à interação entre os fatores (corretivo x C.E.), através do desdobrando em função dos corretivos, como mostra a Tabela 11, observou-se que houve diferença significativa (5% pelo Teste F) para as duas situações de condutividade, onde as plantas do tratamento com silicato apresentaram maior área foliar.

Tabela 11. Interação (corretivo x C.E.) para área foliar (cm²)

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m ⁻¹	C.E. 4,5 dS m ⁻¹	Média
Silicato	893,74 a	853,04 a	873,39
Calcário	858,17 b	809,21 b	833,69
Qm	6326,4802	9601,8384	170,1975
F	0,0133 *	0,0416 *	0,7309 ^{ns}

* significativo a 5%;^{ns} não significativo pelo teste F

4.1.5 Produção de frutos

Para as avaliações de número total de frutos por planta, peso total de frutos por planta e peso médio, foram considerados todos os frutos colhidos, inclusive os frutos pequenos e/ou deformados.

4.1.5.1 Número total de frutos por planta

As médias do número total de frutos por planta, encontradas para a C.E. de 1,5 e 4,5 dS m⁻¹ foram de 21,95 e 23,15 respectivamente, sendo superiores as obtidas por Leonardo (2003), com o mesmo híbrido e para as mesmas condutividades, 19,12 e 13,37, respectivamente. A análise de variância (Tabela12) mostra que não houve diferença significativa para corretivos assim como para os níveis de condutividade elétrica do solo, entretanto houve significância para a interação entre os dois fatores.

Tabela 12. Análise de variância para número total de frutos

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	14,4000	0,0656 ^{ns}
C.E. (B)	1	12,1000	0,0903 ^{ns}
Interação (A x B)	1	19,6000	0,0332 *
CV (%)	8,86		

* significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Observa-se na Tabela 13, o desdobramento para a interação (corretivo x C.E.) em função dos corretivos. Para a situação de condutividade padrão, houve efeito significativo do corretivo utilizado no preparo do solo, onde plantas que receberam silicato de cálcio produziram menos frutos que as plantas cultivadas nos vasos onde o preparo de solo foi realizado com calcário. Esta diferença para o número total de frutos produzidos foi significativa 1% pelo teste F. Ainda analisando esta tabela, observou-se que as médias gerais do ensaio também foram significativas, porém a 5%.

Tabela 13. Número de frutos em função da interação entre os corretivos e os diferentes níveis de C.E.

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m⁻¹	C.E. 4,5 dS m⁻¹	Média
Silicato	21,80 b	22,10	21,95 b
Calcário	24,40 a	21,90	23,15 a
Qm	33,8000	0,2000	19,6000
F	0,0092 **	0,8338 ^{ns}	0,0332 *

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Apesar dos resultados apresentarem maior média para número de frutos em plantas nos tratamentos com calcário, vale ressaltar que com o aumento da salinidade do solo, estas tiveram uma redução em torno de 11,5% (de 24,4 para 21,9), enquanto que para os tratamentos com silicato este parâmetro praticamente manteve-se inalterado, apresentando até um incremento próximo a 1,5% em condição de estresse. Mesmo que este resultado não tenha apresentado diferença significativa entre os dois corretivos sob alto índice de C.E., pode-se imaginar que talvez o silicato tenha colaborado na amenização do estresse.

Como os dados disponíveis na literatura sobre o uso de Si são mais comuns para gramíneas, são necessários estudos mais completos com outras espécies para avaliar se estes resultados estão diretamente ligados ao seu fornecimento às plantas, ou se ele atuaria indiretamente afetando a disponibilidade de outros nutrientes como fósforo e cálcio, por exemplo.

4.1.5.2 Peso total de frutos por planta

Considerando as causas de variações separadamente, observa-se que o resultado para os corretivos utilizados não foi significativo, enquanto que para os níveis de condutividade elétrica os resultados apresentaram diferença significativa a 1%. Pela análise de variância (Tabela 14) observa-se ainda que, para o peso total de frutos por planta, houve interação entre os corretivos e as condutividades do solo, significativo a 5%.

Tabela 14. Análise de variância para peso total de frutos por planta

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	111999,8890	0,1905 ^{ns}
C.E. (B)	1	7602793,6360	0,0000 ^{**}
Interação (A x B)	1	418038,9160	0,0142 [*]
CV (%)	12,07		

** significativo a 1%; * significativo a 5%;^{ns} não significativo pelo teste F

Na Tabela 15 observa-se os resultados obtidos em função dos níveis de C.E., indicando interferência da salinidade. Nota-se que a média para os dois níveis avaliados apresentou diferença em torno de 53% para o peso de frutos. O valor obtido para este parâmetro assemelha-se aos resultados encontrados por Villas Bôas (2001) para o mesmo híbrido utilizando-se fertirrigação, em cultivo sob condição padrão (C.E. 1,5 dS m⁻¹).

Tabela 15. Peso total de frutos por planta (g) em função dos diferentes níveis de C.E.

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	2513,48 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	1641,54 b
Qm	7602793,6360 ^{**}
CV (%)	12,07

** significativo a 1% pelo teste F

Para a interação entre as causas de variação, as médias foram significativas a 5%. Analisando-se separadamente os resultados em função dos corretivos, sob condição de cultivo padrão para a cultura, o calcário propiciou maior peso total de frutos por planta em relação ao tratamento que recebeu adição de silício. A Tabela 16 indica que esta diferença foi significativa a 1%.

Tabela 16. Peso total de frutos por planta (g) em função da interação entre corretivos e C.E.

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m ⁻¹	C.E. 4,5 dS m ⁻¹	Média
Silicato	2358,33 b	1690,85	2024,59 b
Calcário	2668,62 a	1592,22	2130,42 a
Qm	481399,4205	48639,3845	418038,9160
F	0,0089 **	0,3851 ^{ns}	0,0142 *
CV (%)	12,07		

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Da mesma forma como para o número total de frutos, verificou-se que para a condição de 4,5 dS m⁻¹ no solo, o tratamento com silicato propiciou maior peso total de frutos, apesar de não diferir estatisticamente do tratamento com o outro corretivo, mesmo sendo 6,2% superior. Sob condições de estresse, as plantas cultivadas em solo corrigido com calcário apresentaram queda de 67,6% no peso total dos frutos, enquanto que para aquelas cultivadas em solo que recebeu silicato, esta redução foi da ordem de 39,5%.

4.1.5.3 Peso médio de frutos

Os resultados obtidos foram significativos apenas para os níveis de C.E., como indicado pela análise de variância citada na Tabela 17. Os valores de peso médio de frutos (g), em função da condutividade, estão na Tabela 18. Para a situação padrão o resultado superou em 45,85% o valor obtido quando as plantas foram mantidas sob estresse. Leonardo (2003) estudando o mesmo híbrido sob quatro diferentes níveis de C.E. (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m⁻¹) deduziu uma equação, pela qual, o incremento de 1,0 dS m⁻¹ na C.E. do solo, induz a um decréscimo médio de 15% no peso de cada fruto. Observação semelhante foi descrita por Silva (2002), mesmo em outra condição experimental.

Tabela 17. Análise de variância para peso médio de frutos

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	14,4000	0,5675 ^{ns}
C.E. (B)	1	12,1000	0,0000 **
Interação (A x B)	1	19,6000	0,2898 ^{ns}
CV (%)	8,86		

** significativo a 1%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Os valores apresentados na Tabela 19 foram calculados com base na razão entre o peso total e o número total de frutos por planta. Para este levantamento, foram considerados todos os frutos colhidos, incluindo aqueles fora da escala de classificação. Estes

resultados revelaram valores menores que os encontrados por Leonardo (2003), para os mesmos tratamentos aplicados.

Tabela 18. Peso médio de frutos (g) em função dos diferentes níveis de C.E. do solo

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	108,79 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	74,59 b
Qm	11694,6900 **
CV (%)	7,88

** significativo a 1% pelo teste F

Conforme discutido anteriormente, a alta temperatura ambiente em algumas fases do desenvolvimento das plantas pode ter sido um fator considerável, em termos de prejuízo da produção, já que constatou-se grande queda de botões florais. Estes resultados demonstram que os corretivos aparentemente não interferiram no peso médio de frutos. Este resultado permite concluir que o maior peso total de frutos por planta (item 4.1.5.2) encontrado no tratamento padrão (C.E. 1,5 dS m⁻¹) com calcário, apenas destacou-se quando comparado às plantas tratadas com silicato, devido ao maior número de frutos produzidos por planta (item 4.1.5.1).

4.1.5.4 Aspectos qualitativos dos frutos

Considerando apenas a variável condutividade elétrica do solo, constatou-se que grande parte dos frutos produzidos sob condição salina, apresentou características indesejáveis do ponto de vista comercial. As principais anomalias observadas foram frutos pequenos, mal formados, com poucas sementes, retorcidos e com amadurecimento precoce, como pode-se observar na Figura 13.

Observou-se ainda que, para os tratamentos que receberam adubação em cobertura do tratamento padrão (1,5 dS m⁻¹), estas anomalias não foram detectadas. Por outro lado, para os tratamentos considerados estressantes (4,5 dS m⁻¹) foi comum o aparecimento de sintomas conhecidos como *fundo preto*. Embora conhecido que tais sintomas sejam típicos da baixa translocação de cálcio para os frutos, esta discussão fica prejudicada à medida que não encontrou-se diferenças significativas no teor de cálcio no fruto em função

dos tratamentos (C.E. elevada), embora os níveis do elemento tenham sido consideravelmente reduzidos nas folhas em função deste tratamento.

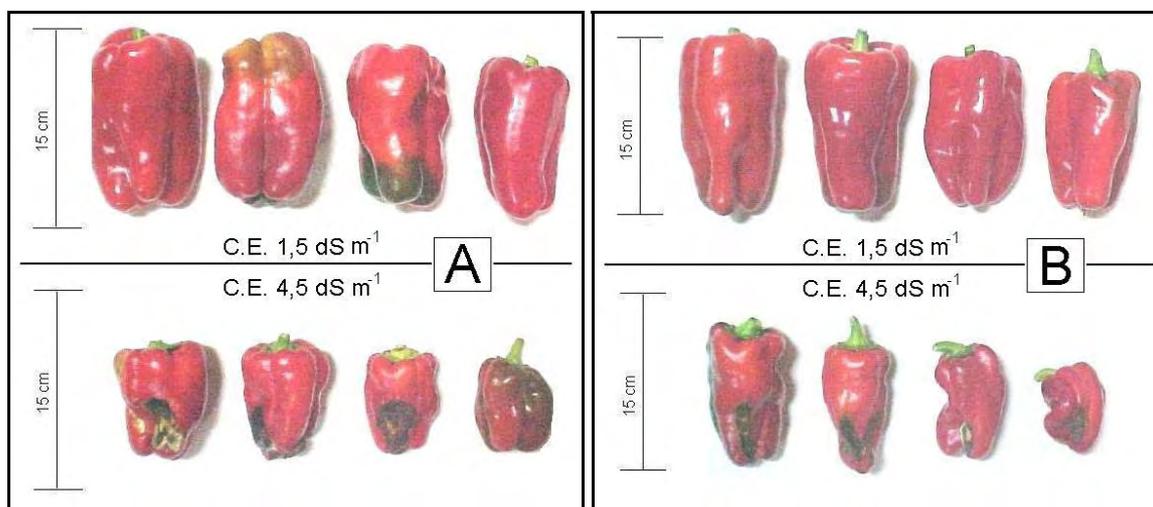


Figura 13. Comparação entre frutos dos tratamentos com calcário [A] e frutos dos tratamentos com silicato de cálcio [B] para os dois níveis de C.E..

4.2 Constituintes químicos das plantas

4.2.1 Na folha

A análise foliar de pimentão apresentou resultados significativos para P, Mg, B e Zn a 1% em função do corretivo e significativo a 5% para K (Tabela 19). Observou-se também que, apesar da inclusão de Zn na adubação de plantio, as plantas apresentaram deficiência deste nutriente, o que pode ter influenciado diretamente o parâmetro de altura de plantas, visto sua ação no comprimento de internódios. Aproximadamente aos 70 DAT foi realizada outra adubação com sulfato de zinco no solo em forma de solução, entretanto não foi suficiente para alterar esta situação. Conforme citado na literatura, o Si pode contribuir para um melhor aproveitamento de adubações para NPK. No presente experimento, baseado nesta possibilidade, observou-se que a presença de Si influenciou apenas a absorção de K, o qual apresentou pequeno incremento (suficiente para apresentar diferença

significativa) em relação aos tratamentos com calcário. Para N e Ca não houve diferença significativa.

Tabela 19. Teor foliar de P, Mg, K, B e Zn em função dos diferentes corretivos

Tratamentos (corretivo)	P (g kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Silicato	1,28 b	1,15 a	18,52 a	96,29 a	0,66 a
Calcário	1,64 a	0,86 b	16,56 b	76,41 b	0,18 b
Qm	1,5301	0,9719	45,8252	4742,1752	2,7075
F	0,0002 **	0,0007 **	0,00381 *	0,0000 **	0,0000 **
CV (%)	20,86	26,92	18,01	16,33	40,66

** significativo a 1%; * significativo a 5% pelo teste F

As observações nutricionais parecem indicar que o Si apresentou interferência parcial sobre a nutrição da cultura. Baseado nos resultados altos da concentração de Ca no solo em função da aplicação de silicato de cálcio, esperou-se reflexo também da sua presença no tecido foliar, o que de fato não ocorreu.

A concentração foliar de P, Ca, K e B apresentaram valores significativos a 1%, em função das condutividades do solo (Tabela 20). Sob situação padrão (C.E. 1,5 dS m⁻¹), as folhas apresentaram maiores concentrações para estes nutrientes, exceto para K. Este elemento, por sua vez, foi aplicado em doses muito mais elevadas no tratamento com alta C.E., o que pode justificar este resultado, lembrando que as plantas podem absorver K em substituição a outros cátions, como por exemplo o Ca, que foi realmente menos absorvido nestas condições.

Tabela 20. Teor foliar de P, Ca, K e B em função dos níveis C.E.

Tratamentos (C.E.)	P (g kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	1,64 a	6,60 a	13,94 b	103,36 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	1,28 b	4,23 b	21,14 a	69,34 b
Qm	1,5733	67,5925	621,9360	13890,3661
F	0,0002 **	0,0000 **	0,0000 **	0,0000 **
CV%	20,86	13,55	18,01	16,33

** significativo a 1% pelo teste F

Na Tabela 21 observa-se o resultado significativo de P, Mg, K, S, B e Zn em função da interação entre corretivo e condutividade elétrica do solo.

Tabela 21. Teor foliar de P, Mg, K, S, B e Zn em função da interação entre corretivos e níveis de C.E.

Trat.	P (g kg ⁻¹)	Mg (mgkg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Silicato (1,5 dS m ⁻¹)	1,40 b	1,23 a	14,05	1,97 b	108,97	0,62 a
Calcário (1,5 dS m ⁻¹)	1,88 a	0,82 b	13,83	2,31 a	97,75	0,25 b
Qm	1,3728	1,0375	0,3083	0,7245	756,2283	0,8363
F	0,0004 **	0,0005 **	0,8614 ^{ns}	0,0345 *	0,0580 ^{ns}	0,0000 **
Silicato (4,5 dS m ⁻¹)	1,16	1,06	22,98 a	2,23	83,60 a	0,69 a
Calcário (4,5 dS m ⁻¹)	1,40	0,90	19,30 b	2,18	55,07 b	0,12 b
Qm	0,3337	0,1411	81,3280	0,0145	4884,3360	1,9953
F	0,0647 ^{ns}	0,1718 ^{ns}	0,0067 **	0,7586 ^{ns}	0,0000 **	0,0000 **
CV (%)	20,86	26,92	18,01	17,93	16,33	40,66

** significativo a 1%; * significativo a 5%;^{ns} não significativo pelo teste F

Observou-se por fim, que a aplicação de silicato não favoreceu o acúmulo de P nas folhas, sendo que por outro lado em condição de estresse, este corretivo propiciou maior acúmulo de K. Observou-se ainda que quando salinizadas, as plantas com silicato apresentaram maiores concentrações de micronutrientes como o B e o Zn nas folhas, o que entretanto, não isentou o aparecimento de deficiência de zinco.

4.2.2 No fruto

Em função dos corretivos, N e S apresentaram resultados significativos a 1% e 5% respectivamente (Tabela 22), onde tratamentos com calcário apresentaram maiores concentrações para estes dois elementos.

Tabela 22. Teor de N e S em função dos diferentes corretivos

Tratamentos (corretivo)	N (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)
Silicato	18,31 b	1,08 b
Calcário	20,03 a	1,25 a
Qm	17,8883	0,1751
F	0,0020 **	0,0308 *
CV (%)	6,23	15,48

** significativo a 1%; * significativo a 5% pelo teste F

Analisando as condutividades elétricas do solo, frutos provenientes de plantas dos tratamentos padrão apresentaram maior concentração de P, significativo a 5% para o Teste F e menor para o K, a 1%, comparados ao tratamento que induziu estresse às plantas (Tabela 23). Para os tratamentos de indução de C.E. a 4,5 dS m⁻¹, o fornecimento de KCl foi muito mais elevado, justificando esta diferença significativa a seu favor. Entretanto, os resultados indicam que, mesmo para condição padrão os frutos absorveram o nutriente em larga escala, evidenciando possível absorção *de luxo* pelas plantas, em detrimento de outros nutrientes (Ca, por exemplo) seja em função dos corretivos, das condutividades do solo ou pela interação entre ambos os fatores. A concentração de cálcio nos frutos foi relativamente pequena, que parece justificar o aparecimento de fundo preto nos frutos produzidos sob condição salina.

Tabela 23. Teor de P e K em função dos níveis de C.E.

Tratamentos (C.E.)	P (g kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	2,44 a	4,84 b
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	2,14 b	5,24 a
Qm	0,5400 *	0,9441 **
CV (%)	14,05	6,69

** significativo a 1%; * significativo a 5% pelo teste F

Na Tabela 24 estão os resultados significativos dos elementos N, P e Zn em função da interação entre corretivo e condutividade elétrica do solo.

Tabela 24. Teor de N, P e Zn em função da interação entre os corretivos e os níveis de C.E.

Tratamentos	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Silicato (1,5 dS m ⁻¹)	18,18 b	2,28	0,12 b
Calcário (1,5 dS m ⁻¹)	20,51 a	2,60	0,17 a
Qm	16,3333	0,3008	0,0065
F	0,0029 **	0,1037 ^{ns}	0,0044 **
Silicato (4,5 dS m ⁻¹)	18,43	2,36 a	0,14
Calcário (4,5 dS m ⁻¹)	19,55	1,92 b	0,12
Qm	3,7632	0,5633	0,0014
F	0,1197 ^{ns}	0,0302 *	0,1523 ^{ns}
CV (%)	6,23	14,05	18,85

** significativo a 1%; * significativo a 5%;^{ns} não significativo pelo teste F

Observou-se que para o tratamento padrão (1,5 de C.E.) com calcário, os valores obtidos para N e Zn foram maiores (significativos a 1%) que os obtidos para a

mesma condutividade, porém utilizando silicato de cálcio. Para os tratamentos com estresse (4,5 de C.E.) que receberam silicato, o teor de P encontrado nos frutos foi significativo a 5% quando comparado à mesma situação, porém com calcário. Como para a C.E. de 1,5 não verificou-se diferença para o P em relação aos corretivos, poderia-se esperar que o mesmo se repetisse para a situação de estresse. Entretanto a concentração de P para o tratamento com calcário apresentou uma redução, enquanto que com silicato, os níveis mantiveram-se na média dos valores obtidos em 1,5 de C.E.

4.2.3 No caule

Em função dos corretivos, a análise do caule revelou que houve diferença significativa (1%) para o S e o Zn, constatando mais uma vez que o Zn foi favorecido pela aplicação de silicato (Tabela 25). Em função das diferentes C.E. apenas o K apresentou resultado significativo (1%), repetindo o observado em folhas e frutos, sendo que nos tratamentos que receberam doses maiores, a concentração foi proporcional (Tabela 26).

Tabela 25. Teores de N e S em frutos em função dos corretivos

Tratamentos (corretivo)	S (g kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Silicato	2,24 b	0,17 a
Calcário	2,87 a	0,08 b
Qm	1,1781 **	0,0217 **
CV (%)	12,05	24,06

** significativo a 1%

Tabela 26. Teor de K em frutos em função dos níveis de C.E. do solo

Tratamentos (C.E.)	K (mg kg ⁻¹)
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	5,30 b
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	7,71 a
Qm	17,4725 **
CV (%)	14,60

** significativo a 1%

Na Tabela 27 observa-se o resultado da análise de variância da interação entre os corretivos e as condutividades. Para a C.E. padrão, o maior acúmulo de Ca, S e B ocorreu nos tratamentos com calcário. Na condição de estresse, o silicato propiciou maior absorção do K e mais uma vez o promoveu maior concentração de Zn, independente da condição salina.

Tabela 27. Teor de Ca, K, S, B e Zn em função da interação entre os corretivos e os níveis de C.E.

Tratamentos		Ca	K	S	B	Zn
C.E.	Corretivos	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
1,5 dS m ⁻¹	Silicato	1,73 b	5,12	1,75 b	17,11 b	0,14 a
	Calcário	2,26 a	5,47	3,06 a	21,26 a	0,09 b
	Qm	0,4214	0,1838	2,5872	25,7508	0,0038
	F	0,0180 *	0,6638 ^{ns}	0,0008 **	0,0418 *	0,0777 ^{ns}
4,5 dS m ⁻¹	Silicato	1,85	8,62 a	2,73	22,89	0,20 a
	Calcário	1,82	6,81 b	2,67	20,27	0,08 b
	Qm	0,0011	4,9142	0,0054	10,2704	0,0216
	F	0,8852 ^{ns}	0,0479 *	0,8172 ^{ns}	0,1648 ^{ns}	0,0013 **
	CV (%)	11,45	14,60	12,05	10,28	24,06

** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

A adubação de cobertura com KCl, que caracterizou as diferenças entre os tratamentos para os níveis de condutividade elétrica do solo, pode ter influenciado nos resultados apresentados nestas tabelas.

Considerando-se o corretivo silicatado, constatou-se que o mesmo além de ter fornecido ao solo maiores teores de cálcio e magnésio, aumentou a saturação por bases e o pH do solo, o que pode ter sido a causa da baixa absorção de alguns nutrientes. Analisando de modo geral, caule, folhas e frutos, pode-se verificar que de alguma forma o silicato favoreceu a absorção de K, B e Zn.

4.2.4 Teor de silício na parte aérea das plantas

Conforme esperado e em função dos resultados químicos analisados anteriormente, o Si foi absorvido pelas plantas de pimentão, embora em taxas menores que as normalmente observadas em gramíneas. Os relatos de silício em plantas são mais comuns em gramíneas, como arroz, cana-de-açúcar, milho, cevada, trigo e pastagens. O Si, em numerosos casos, demonstrou efeito benéfico sobre o aumento de produção para algumas destas culturas, segundo Epstein (1994). Entre as hortaliças este elemento não tem sido muito estudado, com apenas poucas pesquisas em pepino e ainda menos com solanáceas.

Pereira et al. (2003) avaliou diferentes fontes de silício em dois solos argilosos, distintos, com a cultura do tomate. A análise química revelou para as plantas testemunhas, que não receberam nenhuma fonte de Si, aos 75 DAT as folhas acumularam 0,18

g kg⁻¹ e 2,27 g kg⁻¹ para cada solo, onde os resultados para as fontes utilizadas foram todos significativos em relação a este, concluindo que a planta de tomate absorveu o elemento, mesmo que em pequena escala. Além disso, ressalta-se que a análise química das plantas detectou a presença de Si mesmo onde não houve aplicação (testemunhas).

O presente experimento realizado com pimentão, vem de certa forma corroborar com os resultados apresentados para a cultura do tomate por Pereira *et al.* (2003), conforme as Tabela 28, 29 e 30.

Tabela 28. Análise de variância para Si na parte aérea das plantas

	Causa de variação	GL	Qm	F
Folhas	Corretivo (A)	1	0,0271	0,3185 ^{ns}
	C.E. (B)	1	0,0217	0,3715 ^{ns}
	Interação (A x B)	1	0,0008	0,8602 ^{ns}
	Interação (A x B x Época)	3	0,0011	0,9887 ^{ns}
	CV (%)	46,22		
Caulo	Corretivo (A)	1	0,0037	0,3104 ^{ns}
	C.E. (B)	1	0,0271	0,0187 [*]
	Interação (A x B)	1	0,0010	0,5861 ^{ns}
	CV (%)	11,97		
Frutos	Corretivo (A)	1	0,0070	0,2444 ^{ns}
	C.E. (B)	1	0,0260	0,0333 [*]
	Maturação (C)	1	0,0077	0,2231 ^{ns}
	Interação (A x B)	1	0,0000	0,9306 ^{ns}
	Interação (A x C)	1	0,0000	0,9768 ^{ns}
	Interação (A x B x C)	1	0,0026	0,4719 ^{ns}
	Interação (B x C)	1	0,0051	0,3176 ^{ns}
	CV (%)	14,27		

* significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo Teste F.

Analisando a Tabela 28, observa-se que no tecido do caule, em função dos níveis de condutividade do solo, houve diferença significativa, onde em condição padrão encontrou-se 0,52% de Si e em condição de estresse 0,42% (Tabela 29).

Tabela 29. Teor de Si (%) no caule em função dos diferentes níveis de C.E. do solo

Tratamentos (C.E.)	Si
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	0,52 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	0,42 b
Qm	0,0187 [*]
CV (%)	11,97

* significativo a 5%

Tabela 30. Teor de Si (%) em frutos em função dos diferentes níveis de C.E. do solo

Tratamentos (C.E.)	Si
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	0,52 a
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	0,45 b
Qm	0,0333 *
CV (%)	14,27

* significativo a 5%

Para a análise de silício nos frutos, foram analisados frutos verdes e maduros separadamente, aparecendo na Tabela 28 como maturação e na Tabela 31 como fruto verde ou maduro. Foi verificado que o ponto de colheita não interferiu na quantidade deste elemento nos frutos de pimentão, não havendo também interação com as demais causas de variação. Como no caule, para frutos em geral, também foi observada diferença significativa em função da condutividade elétrica do solo, a 5% pelo Teste F.

Tabela 31. Teor de Si (%) nos frutos de acordo com o estágio de maturação

Fruto	C.E. 1,5 dS m ⁻¹		C.E. 4,5 dS m ⁻¹		Média
	silicato de cálcio	calcário	silicato de cálcio	calcário	
verde	0,52	0,51	0,45	0,39	0,47
maduro	0,55	0,49	0,49	0,48	0,50

Médias de 9 frutos por cada tratamento

Observa-se (Tabela 31), que o teor de Si em frutos maduros apresentou tendência a um maior acúmulo, comparado aos frutos verdes.

Plantas que não receberam silicato de cálcio também apresentaram acúmulo de silício na parte aérea, seja caule, folhas ou frutos, presumindo que a baixa concentração de Si, do próprio solo, tenha sido absorvida pelas plantas devido ao aumento de sua disponibilidade em função da elevação do pH proporcionada pela aplicação do calcário.

Observou-se que o Si praticamente não apresentou diferença em concentração nas folhas (Tabela 32), quando as plantas foram cultivadas em C.E. padrão, independentemente do corretivo utilizado. Considerando-se a época de amostragem, verificou-se que o Si apresentou tendência a se acumular no período de crescimento vegetativo, decrescendo na fase reprodutiva. Entretanto, isto não significou diferença em função da C.E. estabelecida para ambas as épocas de amostragem.

Tabela 32. Teor de Si (%) nas folhas de pimentão em função dos tratamentos e épocas de amostragem

DAT	C.E. 1,5 dS m ⁻¹		C.E. 4,5 dS m ⁻¹	
	silicato de cálcio	calcário	silicato de cálcio	calcário
50	0,45	0,39	0,52	0,51
78	0,49	0,48	0,55	0,49
108	0,25	0,16	0,28	0,18
146	0,21	0,21	0,25	0,21
Média	0,35	0,31	0,40	0,35

Médias de 3 plantas por tratamento

Poderia-se ainda discutir que a dose de Si aplicada no presente experimento não tenha sido suficiente para fornecer Si às plantas. No entanto, deve-se ponderar que o elemento foi aplicado na forma de corretivo do solo. Assim, a dose não deveria exceder ao valor recomendado conforme análise do solo utilizado, evitando interferência direta sobre outros aspectos químicos do solo. Ainda assim, verificou-se que, pela análise química do solo, houve neutralização eficiente do pH, até mesmo considerados prejudiciais para o pimentão, confirmando o poder reativo deste material no solo.

De acordo com os dados observados na Tabela 32, pode ter ocorrido apenas absorção inicial, durante a fase vegetativa da cultura, e posteriormente uma diluição, ou seja, uma diminuição da concentração em função do aumento de massa da planta durante o decorrer do seu desenvolvimento.

4.3. Química do solo

Ao final dos experimentos (155 DAT), realizou-se análise química do solo. Houve apenas diferença significativa para o pH e V%, sendo que o silicato de cálcio ocasionou um aumento além do desejado em ambas as situações de C.E., com valores acima de 7,0 para pH e chegando a uma saturação por bases próxima de 90%. Esta reatividade foi de certa forma prejudicial para a cultura, considerando-se que a mesma se desenvolve melhor na faixa de pH entre 5,5 e 6,8. Na Tabela 33 observa-se os resultados da análise de variância para estes fatores. O silicato também aumentou SB e CTC, e conseqüentemente a V%, a qual foi significativa em comparação ao tratamento com calcário para a condição padrão de condutividade elétrica do solo.

Tabela 33. Resultados da análise química do solo para pH e saturação por bases

C.E.	Tratamentos		pH	V
		Corretivo	CaCl ₂	(%)
1,5 dS m ⁻¹		Silicato	7,23 a	87,67 a
		Calcário	6,75 b	81,82 b
		Qm	0,4513 **	0,0480 **
4,5 dS m ⁻¹		Silicato	7,30 a	89,67
		Calcário	6,80 b	83,93
		Qm	0,5000 **	0,0516 ^{ns}
	CV (%)		4,07	4,45

** significativo a 1%;^{ns} não significativo pelo teste F

Para os macronutrientes, Al³⁺ e H+Al³⁺ os resultados estão na Tabela 34. Para as duas C.E. avaliadas, observou-se que para H+Al³⁺ o silicato foi mais eficiente na neutralização e também proporcionou maior concentração de Mg, sendo que para os tratamentos com calcário, o Mg ficou muito abaixo do recomendado para o pimentão (9 mmol_c dm⁻³). Tratamentos com calcário, para a situação de estresse, resultaram na maior disponibilidade de S no solo.

Tabela 34. Resultados da análise química do solo para P, K, Ca, Mg e S, Al³⁺ e H+Al³⁺

C.E.	Tratamentos Corretivo	P _{resina}	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg	S	
		mg dm ⁻³	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	
1,5 dS m ⁻¹	Silicato	90,61	0,52 a	8,93 b	3,06	51,72	9,51 a	74,97	
	Calcário	88,12	0,30 b	11,14 a	2,66	43,90	4,01 b	90,60	
	Qm	12,35 ^{ns}	0,0968 *	9,7903 *	0,3240 ^{ns}	122,54 ^{ns}	60,39 *	488,60 ^{ns}	
4,5 dS m ⁻¹	Silicato	85,36	0,26	8,34 b	14,72	49,49	8,17	95,73 b	
	Calcário	86,44	0,40	10,99 a	13,04	42,22	3,96	167,00 a	
	Qm	2,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}	14,05 *	5,61 ^{ns}	105,71 ^{ns}	35,41 ^{ns}	10158,11*	
	CV (%)		13,47	33,45	14,32	73,23	15,52	46,87	41,11

* significativo a 5%;^{ns} não significativo pelo teste F

Observou-se também, que para o K em função do manejo da fertirrigação, apresentou concentração muito mais elevada nos tratamentos com alta condutividade elétrica. Para a condição padrão de C.E., as concentrações encontradas no solo, 3,06 e 2,66 mmol_c dm⁻³ para silicato e calcário respectivamente, podem ser consideradas apropriadas no cultivo de hortaliças (RAIJ et al., 1996). Para os mesmos autores, teores de P no solo entre 61 e 120 mg dm⁻³ podem ser considerados elevados.

Para os micronutrientes (Tabela 35), com exceção do Fe, os demais apresentaram maiores concentrações nos tratamentos que receberam o silicato de cálcio sendo, em todos os casos, significativos a 1% para o Teste F.

Tabela 35. Resultados da análise química do solo para os micronutrientes

C.E.	Tratamentos Corretivo	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg dm ⁻³				
1,5 dS m ⁻¹	Silicato	0,62 a	0,97 a	10,30	1,76 a	8,45 a
	Calcário	0,16 b	0,45 b	10,05	0,72 b	0,54 b
	Qm	0,4371 *	0,5408 *	0,1250 ^{ns}	2,1424 *	125,2945 *
4,5 dS m ⁻¹	Silicato	0,52 a	1,07 a	11,25	2,07 a	8,80 a
	Calcário	0,16 b	0,42 b	9,40	0,96 b	0,91 b
	Qm	0,2592 *	0,8580 *	6,8450 ^{ns}	2,4642 *	124,5042 *
CV (%)		62,46	46,61	19,95	47,87	96,62

* significativo a 5%;^{ns} não significativo pelo teste F

4.3.1 Silício no solo

Conforme as Tabelas 36, 37 e 38, observou-se que a dose de silicato de cálcio aplicada nos tratamentos foi suficiente para elevar a concentração de Si no solo, sendo significativo para as duas condições de condutividade elétrica do solo propostas neste experimento.

Tabela 36. Análise de variância para silício no solo

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	366,5310	0,0000 **
C.E. (B)	1	2,8730	0,0720 ^{ns}
Interação (A x B)	1	2,1904	0,1106 ^{ns}
CV (%)	8,92		

** significativo a 1%;^{ns} não significativo pelo teste F

Tabela 37. Valores de Si (mg dm⁻³) no solo em função dos corretivos

Tratamentos (corretivo)	Média
Silicato	14,42 a
Calcário	4,85 b
Qm	366,5310 **
CV (%)	8,92

** significativo a 1%

Para os tratamentos com calagem, a quantidade de silício encontrada ao final do experimento apresentou resultados inferiores às observadas na análise inicial do solo.

Para os tratamentos com adição de silício, através do corretivo empregado, observou-se aumento considerável do teor de Si no solo (Tabela 38). Considerando-se que cada vaso (30 L de solo) recebeu 27,6 g de silicato de cálcio e que este material apresenta 10,74% de Si em sua composição, concluiu-se que a dose de silício aplicada foi equivalente a 197 kg do elemento por hectare. Com esta adição de silicato de cálcio a média geral do teor de silício no solo ao final do experimento foi de 14,42 mg.dm⁻³.

Rodrigues (1997) estudando o efeito da Wollastonita (fonte de Si) em um latossolo, trabalhou com cinco doses (0; 116; 231; 462 e 924 kg de Si.ha⁻¹) obtendo ao final do ciclo da cana-de-açúcar teores no solo de 14; 17; 19; 30 e 46 mg de Si dm⁻³ para as doses respectivas, devendo ser considerado que a extração deste elemento pela cultura, apresentou-se diferente em função de sua maior concentração no solo.

Experimentos de campo conduzidos no Brasil têm demonstrado resultados bastante consistentes com relação ao efeito do Si em cana-de-açúcar, principalmente no caso dos solos arenosos. Estes ensaios têm verificado aumentos de produção de cana-de-açúcar em até 12%, com adição de doses de 2.800 kg de silicato de cálcio por hectare.

Segundo Korndörfer et al. (2000), baixos teores de Si na palha do arroz estão associados às baixas produtividades. Os autores consideram como baixos teores de Si na palha, valores entre 0 e 17 g kg⁻¹ (< 75% Produção Relativa), médios entre 17 e 34 (75 - 95% PR) e altos, valores acima de 34 g kg⁻¹ (> 95% PR). Ainda segundo os mesmos autores, para o Estado da Flórida (EUA), a quantidade de Si necessária para corrigir a deficiência deste elemento e para obtenção de máximas produções de arroz são de 1,5; 1,12 e 0 t ha⁻¹ para os solos com baixo (< 6 mg dm⁻³), médio (6 a 24 mg dm⁻³), e alto teor de Si (> 24 mg dm⁻³), respectivamente e de 1,12; 0,86 e 0 t ha⁻¹ quando os teores de Si na folha forem baixo, médio e alto, respectivamente.

A Tabela 38 indica a concentração de Si no solo, ao final dos experimentos em função dos valores de C.E. do solo. Observou-se que houve diferença

significativa (1%) quando aplicou-se diferentes corretivos, independentemente da C.E. no solo.

Tabela 38. Teor de Si (mg dm^{-3}) no solo em função da interação entre os corretivos e os níveis de C.E.

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m^{-1}	C.E. 4,5 dS m^{-1}
Silicato	14,48 a	14,37 a
Calcário	5,65 b	4,06 b
Qm	156,0261 **	212,6953 **
CV (%)	8,92	

** significativo a 1%

Os valores de Si no solo foram significativamente superiores quando houve adição deste elemento, demonstrando que este tipo de solo pode responder a adubação silicatada.

4.4 Análises bioquímicas

4.4.1 Teor de proteína solúvel nas folhas

A análise do teor de proteínas solúveis nas folhas é um parâmetro de referência para os resultados do teor de L-prolina, atividade de SOD e de CAT. Conforme a Tabela 39, não houve diferença significativa do teor de proteína solúvel em função dos corretivos e pela interação entre eles com a C.E., considerando que o coeficiente de variação (CV) para o teste foi 23,08%. Para os níveis de condutividade os resultados foram significativos a 5%. A tabela apresenta os resultados para a análise de variância pelo Teste F.

Tabela 39. Análise de variância para teor de proteína solúvel nas folhas

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	3,2852	0,3070 ^{ns}
C.E. (B)	1	14,7648	0,0431 *
Interação (A x B)	1	1,7889	0,4464 ^{ns}
CV (%)	23,08		

* significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Na Tabela 40 observa-se os resultados apenas em função dos corretivos. Apesar de não ter havido diferença significativa a 5% pelo teste F, observou-se que

a média geral da concentração de proteína solúvel nas plantas que receberam o silicato de cálcio no preparo do solo foi 13% superior ao outro tratamento.

Tabela 40. Valores médios do teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) nas folhas em função dos corretivos

Tratamentos (corretivos)	Média
Silicato	7,82
Calcário	6,91
Qm	3,2852 ^{ns}
CV (%)	23,08

^{ns} não significativo pelo teste F

Na Tabela 41 observa-se os resultados apenas em função dos níveis de condutividade elétrica do solo. A média geral das plantas dos tratamentos sob condição salina para a cultura foi inferior em relação às plantas mantida sob a C.E. padrão, sendo significativa a 5% pelo Teste F. Como as atividades das enzimas SOD e CAT, estão diretamente ligadas ao teor de proteína solúvel nas folhas, pode-se previamente inferir que as mesmas tiveram suas atividades alteradas em função da salinidade do solo, corroborando com os resultados obtidos por Leonardo (2003) que concluiu que a atividade da SOD e da CAT podem ser indicadores dos níveis de estresse nas plantas de pimentão, em trabalho realizado com híbrido Elisa.

Tabela 41. Valores médios do teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) nas folhas em função da C.E.

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m^{-1}	8,32 a
C.E. 4,5 dS m^{-1}	6,40 b
Qm	14,7648 *
CV (%)	23,08

* significativo a 5%

Os resultados com as interações entre as causas de variação estão na Tabela 42. Analisando os corretivos juntamente com as condições de condutividade do solo observa-se que em situação salina o teor de proteína foi reduzido independentemente do corretivo utilizado no tratamento. Para a C.E. padrão, pode-se verificar que os teores de proteína não só foram maiores como também o silicato de cálcio proporcionou uma elevação em relação ao calcário, mesmo não sendo significativo a diferença entre estes tratamentos foi 20,8% à favor do silicato.

Tabela 42. Interação (corretivo x C.E.) para teor de proteína solúvel nas folhas

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m ⁻¹	C.E. 4,5 dS m ⁻¹
Silicato	9,11	6,52
Calcário	7,54	6,28
Qm	4,9613	0,1128
F	0,2144 ^{ns}	0,8466 ^{ns}
CV (%)	23,08	

^{ns} não significativo pelo teste F

Os resultados para proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) estão na Figura 14. Pode-se observar decréscimo para a situação de alta condutividade elétrica, tanto para tratamentos com silicato quanto com calcário. Sob C.E. de 4,5 com calcário, houve uma redução de 20% comparada à outra C.E.. Para os tratamentos com silicato esta diferença foi de 39,7% e mesmo assim ainda foi 3,8% superior ao resultado obtido com calcário sob estresse.

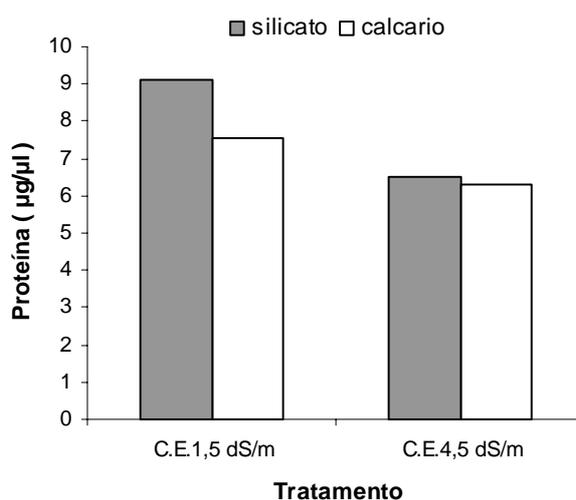


Figura 14. Teor de proteína solúvel ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.

4.4.2 Teor de L-prolina nas folhas

O teor de L-prolina, em $\mu\text{g mL}^{-1}$ no extrato bruto, não apresentou diferença significativa em função dos corretivos e de sua interação com os níveis de C.E. do solo, analisados aos 155 DAT, conforme a Tabela 43.

Tabela 43. Análise de variância para teor de prolina

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	0,0390	0,7226 ^{ns}
C.E. (B)	1	8,6583	0,0002**
Interação (A x B)	1	0,0033	0,9175 ^{ns}
CV (%)	22,40		

** significativo a 1%;^{ns} não significativo pelo teste F

As Tabelas 44, 45 e 46, apresentam os resultados em função dos corretivos, da condutividade elétrica e da interação entre eles para o teor de prolina nas folhas em $\mu\text{g mL}^{-1}$ do extrato bruto obtido.

Tabela 44. Valores médios do teor de prolina ($\mu\text{g mL}^{-1}$) em função dos corretivos

Tratamentos (corretivos)	Média
Silicato	2,48
Calcário	2,38
Qm	0,7226 ^{ns}
CV (%)	22,40

^{ns} não significativo pelo teste F

Tabela 45. Valores médios do teor de prolina ($\mu\text{g mL}^{-1}$) em função da C.E.

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m^{-1}	1,69 b
C.E. 4,5 dS m^{-1}	3,16 a
Qm	0,0002**
CV (%)	22,40

** significativo a 1%

Tabela 46. Interação (corretivo x C.E.) para teor de prolina ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m^{-1}	C.E. 4,5 dS m^{-1}
Silicato	1,73	3,23
Calcário	1,66	3,10
Qm	0,0098	0,0325
F	0,8585 ^{ns}	0,7458 ^{ns}
CV (%)	22,40	

^{ns} não significativo pelo teste F

Verificou-se que para as condutividades, os resultados foram significativos a 1%, conforme esperado após análise de proteína. A média geral de plantas em condição padrão de C.E. foi aproximadamente metade em relação aos tratamentos sob estresse. Este resultado assemelha-se ao obtido por Leonardo (2003) aos 146 DAT, onde plantas cultivadas com 1,5 de C.E. também apresentaram teor de prolina menor que plantas sob situação de 4,5 dS m^{-1} . O mesmo autor ainda verificou, para quatro níveis de C.E., que o teor de prolina aumentou em função da salinidade do solo.

Weinberg *et al.* (1984) encontraram uma correlação entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância a sais. A hidrólise de proteínas em situações de estresse salino, segundo diversos pesquisadores, pode ser responsável por este aumento do teor de prolina (HUBER *et al.* 1977; TORELLO & RICE, 1986; THOMAS *et al.*, 1992). Os mesmos autores acreditam também que esta resposta possa ser resultado da conversão de açúcares na via do glicolato. É possível que sob esta condição de estresse, a prolina possa atuar como osmoprotetor das proteínas, entretanto, alguns afirmam que esta função ocorre apenas como uma resposta adaptativa à condição de estresse e que este aminoácido não possa ser considerado um indicador de tolerância à salinidade. Torello & Rice (1986) constataram esta função osmoregulatória da prolina em gramíneas, ao estudar o efeito salino do cloreto de sódio.

Na Figura 15 pode-se observar os resultados obtidos para prolina em função dos tratamentos. Para as plantas que sofreram o estresse (salino ou hídrico) induzido através da fertirrigação, em função do KCl, observa-se que o acúmulo de prolina foi praticamente duplicado, comparado a situação considerada padrão, ou sob doses recomendadas do fertilizante (sal). Com base nos resultados obtidos, pode-se ainda constatar que o Si não interferiu sobre o teor deste aminoácido, por não diferir dos tratamentos que levaram calcário no preparo do solo, como mostraram os valores na Tabela 46.

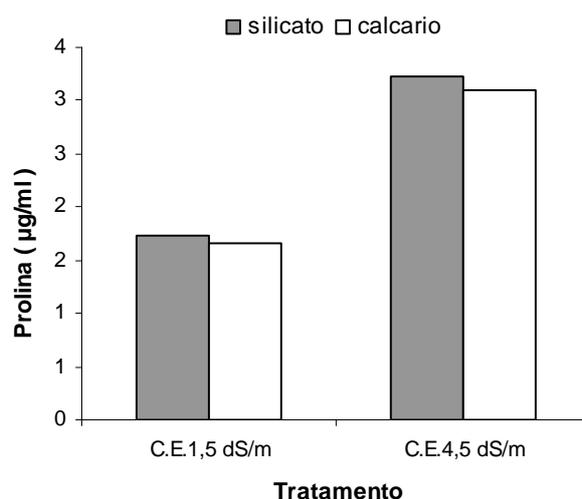


Figura 15. Teor de prolina ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.

4.4.3 Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD)

Segundo Broetto et al. (2002), a SOD apresenta um aumento de atividade quando as plantas são submetidas a uma condição ambiental estressante, seja hídrica, térmica, salina, alta intensidade luminosa, injúrias por insetos ou fitopatógenos.

Na Tabela 47 observa-se os resultados da análise de variância para a enzima Superóxido Dismutase (SOD).

Tabela 47. Análise de variância para SOD

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	2590,5555	0,0030 **
C.E. (B)	1	335,3477	0,2071 ^{ns}
Interação (A x B)	1	609,9665	0,0972 ^{ns}
CV (%)	28,18		

** significativo a 1%; ^{ns} não significativo pelo teste F

Para as médias dos tratamentos, não houve interação entre corretivos e condutividade elétrica do solo, porém através do desdobramento da análise em função dos corretivos constatou-se que o silicato de cálcio diferiu dos resultados obtidos nos tratamentos com calcário para a situação de estresse, como apresenta a Tabela 48.

Tabela 48. Interação (corretivo x C.E.) para SOD (UI. g⁻¹ proteína)

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m ⁻¹	C.E. 4,5 dS m ⁻¹
Silicato	50,69	72,20 a
Calcário	37,59	34,40 b
Qm	343,2200	2857,3020
F	0,2022 ^{ns}	0,0021 **
CV (%)	28,18	

** significativo a 1%; ^{ns} não significativo pelo teste F

No presente ensaio, para plantas que receberam a dose de fertilizante recomendada para a cultura, a atividade da enzima apresentou valor médio de 44,14 UI g⁻¹ prot., com média de 50,69 nos tratamentos com silicato e 37,59 nos tratamentos com calcário. Mesmo não diferindo estatisticamente a 5% pelo teste F, observa-se uma tendência ao aumento da atividade de SOD quando fornecido silicato às plantas. Para a condição do solo salinizado, houve diferença estatística a 1% para a interação: corretivo x C.E.. Plantas cultivadas na presença de silicato apresentaram um aumento de atividade da SOD

praticamente duas vezes superior à atividade apresentada pelas plantas nos tratamentos que receberam calagem (Tabela 48).

Houve diferença estatística bastante significativa em função dos corretivos, quando analisados isoladamente, sendo que o silicato de cálcio aparentemente estimulou um aumento da atividade da enzima comparado às plantas do tratamento controle (calcário). Através da Tabela 49 confirma-se esta afirmação, onde observam-se os valores médios da SOD em UI g⁻¹ de proteína nas folhas. A média geral para as plantas que receberam Si foi 70,7% maior comparada ao outro corretivo empregado.

Tabela 49. Valores médios SOD (UI. g⁻¹ proteína) em função dos corretivos

Tratamentos (corretivos)	Média
Silicato	61,45 a
Calcário	36,00 b
Qm	2590,5555 **
CV (%)	28,18

** significativo a 1%

Na Tabela 50, com os valores obtidos para atividade da SOD, confirmou-se o resultado obtido pela análise de variância em função dos diferentes níveis de condutividade elétrica do solo. Em condição de estresse, para a média geral obtida no experimento, houve um aumento de 20,75% para a atividade desta enzima comparada a C.E. padrão, mas devido ao alto CV (28,18%) esta variação não foi suficiente para confirmar uma diferença significativa .

Tabela 50. Valores médios de SOD (UI. g⁻¹ proteína) em função da C.E.

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	44,14
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	53,30
Qm	335,3477 ^{ns}
CV (%)	28,18

^{ns} não significativo pelo teste F

Leonardo (2003) também verificou o aumento da atividade desta enzima em função do aumento da condutividade elétrica do solo, obtendo para o pimentão Elisa (aos 146 DAT): 26,88; 39,46; 45;39 e 51,37 UI g⁻¹prot. para as C.E. de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m⁻¹ respectivamente, concluindo que a atividade da SOD, em pimentão, pode ser interpretada como marcador bioquímico para reações das plantas em situações de estresse

ambiental, apresentando funções antioxidativas, atuando na dismutação de espécies reativas de oxigênio.

Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Zhujum *et al.* (2004) para a cultura do pepino, onde plantas do tratamento controle (com adubação recomendada para a cultura) foram comparadas com plantas que receberam NaCl, outras que receberam NaCl + Si e plantas com a mesma adubação do controle + Si. Plantas salinizadas com NaCl apresentaram baixa atividade de SOD enquanto plantas com NaCl + Si apresentaram atividade da SOD muito mais elevada, inclusive quando comparadas ao controle. Assim, os autores observaram que a atividade da SOD apresentou um aumento em função da adição de silício. Este aumento, assim como o de outras enzimas, como GPX (guaiacol peroxidase), APX (ascorbato peroxidase), DHAR (dehidroascorbato peroxidase) e GR (glutathione redutase) coincidiram com o decréscimo de ELP (porcentagem de elétrons, variável relacionada a permeabilidade das membranas), LPO (peroxidação lipídica) e o nível de peróxido (H_2O_2 , oriundo de alterações na cadeia respiratória), sugerindo que os danos oxidativos induzidos pelo estresse salino foram aliviados pela adição de silício. Estes autores concluíram que o Si possa ter atuado sobre a manutenção da integridade e funcionalidade das membranas, reduzindo a permeabilidade das membranas plasmáticas e a peroxidação da membrana lipídica.

O efeito do Si sobre a atividade da SOD também foi relatado por Liang (1999), em experimento com cevada, o qual descreveu incremento na atividade desta enzima.

Através da Figura 16 pode-se visualizar o incremento obtido para a atividade da SOD em condição de estresse e ainda o efeito do silicato comparado ao calcário, conforme discutido anteriormente.

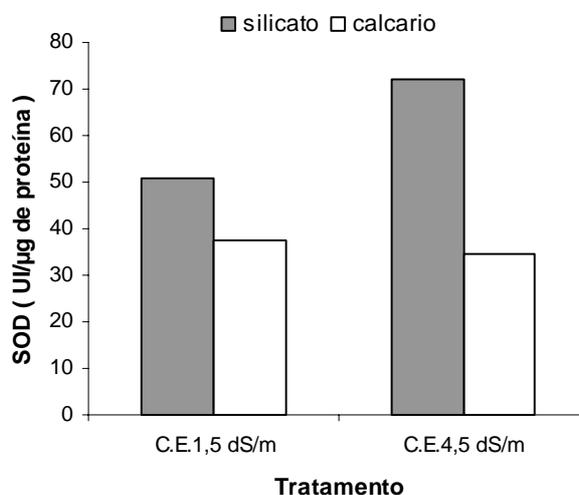


Figura 16. Atividade de SOD (UI g⁻¹prot.) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.

4.4.4 Atividade da enzima Catalase

A Tabela 51 apresenta os resultados da análise de variância para a atividade de catalase (CAT), expressa em mKat mg⁻¹ de proteína.

Tabela 51. Análise de variância para atividade de catalase

Causa de variação	GL	Qm	F
Corretivo (A)	1	15261,5139	0,1233 ^{ns}
C.E. (B)	1	45184,9421	0,0146 *
Interação (A x B)	1	4076,5033	0,4084 ^{ns}
CV (%)	58,18		

* significativo a 5%; ^{ns} não significativo pelo teste F

A Tabela 52 apresenta os resultados em função dos corretivos, e mostra que apesar da diferença entre eles, não foi significativo a 5% pelo Teste F. Embora a diferença entre os corretivos tenha sido elevada, os resultados não foram significativos devido ao alto coeficiente de variação (CV%) detectado pela análise estatística.

Tabela 52. Valores médios para atividade de catalase (mKat mg prot⁻¹) em função dos corretivos

Tratamentos (corretivos)	Média
Silicato	97,23
Calcário	159,00
Qm	15261,5139 ^{ns}
CV (%)	58,18

^{ns} não significativo pelo teste F

Assim como para as demais análises bioquímicas realizadas, foram significativos apenas os resultados em função dos níveis de condutividade elétrica do solo, onde os resultados são mostrados na Tabela 53.

Tabela 53. Valores médios para atividade de catalase (mKat mg prot⁻¹) em função da C.E.

Tratamentos (C.E.)	Média
C.E. 1,5 dS m ⁻¹	74,98 b
C.E. 4,5 dS m ⁻¹	181,26 a
Qm	45184,9421 *
CV (%)	58,18

* significativo a 5%

Para a condição de estresse, a atividade de catalase foi superior, sendo significativa a 1% (Tabela 53).

O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) produzido durante a fotorrespiração nos peroxissomos pode ser decomposto pela catalase, sendo reduzido à água (H₂O). Sabe-se que a SOD também pode ser responsável pela elevação do nível de peróxido nas células devido à conversão de radicais superóxido (O₂⁻). Nos tratamentos que receberam o silicato de cálcio houve maior atividade para SOD, deduzindo que os níveis de peróxido tenham se elevado. Desta forma a atividade da catalase pode ter acompanhado este aumento a fim de contribuir na diminuição desta concentração de peróxido, atuando na sua dismutação.

Analisando a interação entre os corretivos e os níveis de C.E. os resultados não diferiram estatisticamente, inclusive quando se realizou o desdobramento em função dos corretivos, como mostra a Tabela 54. Nesta tabela pode-se verificar que para ambas as condições de C.E. do solo, a atividade desta enzima foi superior nos tratamentos que receberam calcário no preparo do solo.

Tabela 54. Interação (corretivo x C.E.) para atividade de catalase (mKat mg prot⁻¹)

Tratamentos	C.E. 1,5 dS m⁻¹	C.E. 4,5 dS m⁻¹
Silicato	60,05	134,41
Calcário	89,90	228,11
Qm	1781,4481	17556,5691
F	0,5816 ^{ns}	0,1008 ^{ns}
CV (%)	58,18	

^{ns} não significativo pelo teste F

Tais resultados obtidos podem ser visualizados através da Figura 17.

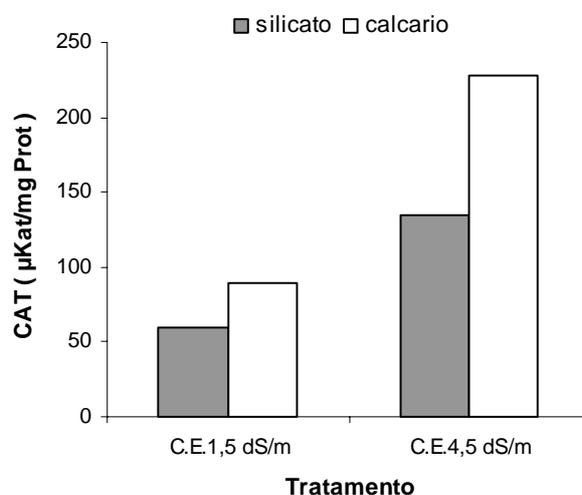


Figura 17. Atividade de CAT ($\mu\text{Kat mg prot}^{-1}$) nas folhas de pimentão Elisa em função dos tratamentos.

Apesar da baixa atividade de SOD nos tratamentos que receberam a calagem, como discutido anteriormente (item 4.4.3) a atividade da catalase foi elevada para as duas condições de C.E.. Pode-se discutir estes resultados em função do estresse, considerando-se que as plantas possam ter apresentado maior taxa de respiração celular com aumento da atividade da catalase em nível de mitocôndrias.

Em experimento com pepino, Zhujum *et al.* (2004) obteve resultados semelhantes, onde com adição de silício ocorreu uma redução na atividade da catalase comparado aos tratamentos sem adição de Si.

Os resultados aqui obtidos diferiram de Leonardo (2003), que em seu trabalho com pimentão, obteve aos 146 DAT maior atividade para catalase em condutividade elétrica de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, com decréscimo em $4,5 \text{ dS m}^{-1}$. Como este autor trabalhou com quatro níveis de condutividade elétrica no solo, verificou que a atividade da enzima catalase apresentou uma tendência a diminuir com o aumento da condição salina do solo. Entretanto estes resultados não apresentaram diferença significativa a 5% para o Teste F, apresentando um coeficiente de variação (CV%) de 114,83.

5. CONCLUSÕES

Com base na afirmação de que o monitoramento das enzimas SOD, CAT e da concentração de L-prolina, podem ser utilizados como indicadores de estresse salino na cultura do pimentão, através deste experimento, pôde-se concluir que, plantas cultivadas onde utilizou-se silicato de cálcio foram mais eficientes na resistência a este estresse comparado às que receberam a calagem no preparo do solo.

O silicato de cálcio afetou a atividade enzimática relacionada à reposta antioxidativa, ocasionando um aumento no teor de proteína e de L-prolina, assim como no aumento da atividade de SOD e na redução da atividade da CAT.

Para ambos corretivos, a salinidade do solo interferiu negativamente na: altura de plantas, área foliar, peso total de frutos, peso médio de frutos, qualidade dos frutos, composição química da parte aérea das plantas (caule, folhas e frutos). Além disso, também interferiu nos teores de proteína, L-prolina e as atividades de SOD e CAT. Em condição salina, os frutos de pimentão apresentaram podridão apical, o que não foi observado para condições ideais de condutividade elétrica do solo.

A aplicação de silicato de cálcio proporcionou plantas com maior área foliar, independentemente da condutividade elétrica do solo. À $1,5\text{dS m}^{-1}$, o calcário propiciou maior produção, entretanto, sob condição salina, plantas que receberam silicato de cálcio apresentaram ligeira vantagem para peso e número total de frutos.

As plantas absorveram pouco silício, sendo encontrado inclusive em plantas que não receberam silicato. Deve-se considerar que o solo utilizado apresentava

inicialmente 5,5 mg de Si kg⁻¹, e que a disponibilidade do silício no solo é favorecida na faixa de pH em torno de 6,5, próximo do obtido com aplicação do calcário.

Conhecendo as características químicas e o poder relativo de neutralização total (PRNT) do silicato de cálcio, este pode ser utilizado como corretivo, substituindo o calcário, respeitando-se as recomendações para correção do solo em função da cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1992. (Boletim Técnico, 6)

ALSCHER, R.G., DONAHUE, J.L.; CRAMER, C.L. Reative oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. **Physiology Plantarum** 100, 224-233, 1997.

ARENAS, M.T.L.; MEJIAS, R.J.; TORRES, F.M. et al. Estimation of the evolution in time of the salts of the soil solution by jeans of suction cups (compact disc). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER QUANTITY AND QUALITY ON GREENHOUSE HORTICULTURE, Almeria, 1996. **Proceedings**. Almeria: ICIA, ISHS, SECH, 1996.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. 174p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29, Ver.1).

BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 1989.247p.

BARBER, D.A.; SHONE M.G.T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 17, p. 569-578, 1966.

BATES, L.S.; WALDERN, R.P.; TEARE, I.D.; Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, The Hague, v.39, p.205-07, 1973.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4 ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 488p.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v.72, p.248-254, 1976.

BROETTO, F.; LUTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Influence of light intensity and salt treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of *Mesembryanthemum crystallinum*, **Functional Plant Biology**, Victoria, v29, p.13-23, 2002.

BURGEÑO, H. **La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico**. Culiacan: BURSAS, 1996. v.1, 45p.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACOLLA, A.A. *Levantamento de Solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental "Presidente Médici"*. Botucatu, UNESP/F.C.A, 1983. 95p.

CARVALHO, J.C. Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício. Fac. de Ciências Agrônômicas da UNESP – Botucatu (Dissertação de Mestrado), 2000.

CASALI, V.W.D.; COUTO, F.A.A. Origem botânica de *Capsicum*. *Inf. Agropecuário*, v.10, n. 113, 8-13, 1984.

CASARINI, E.; FOLEGATTI, M.V. Fertirrigação: “Aspectos relevantes na fertirrigação de flores e hortaliças”., Guaíba., Ed. Agropecuária, p. 441-58, 1999.

CERMEÑO, Z.S.. Pimento. In: _ Cultivo de plantas horticolas em estufa. Lisboa. Litexa, 1997. Cap. 17, p. 261-75, 1977.

CERMEÑO, Z.S. Necessidades dos vegetais. In: _Estufas: instalação e manejo: Litexa, 335p, 1990.

COELHO, P.E. Da escória ao vidro. *R. Limpeza Públ.*, 49:36-45, 1998.

CRUCIANI, D.E., MINAMI, K. Suscetibilidade do pimentão (*Capsicum annuum* L.) a inundação temporárias do sistema radicular. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. v.32, p. 137-233, 1982.

CRUCIANI, D. E. A drenagem na agricultura. 4. ed. São Paulo: Nobel, 337p. 1987.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & DEREN, C.W. Influence of silicon fertilizer on blast and brown spot development and rice yields. **Plant Dis.**, 76:1011-1013, 1992.

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; ZINDER, G.H. & MARTIN, F. Silicon concentration disease response and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. **Crop. Sci.**, 34:733-737, 1994.

DONEEN, L.D. Salinization of soil by salts in the irrigation water. **Transactions of the American Geophysics Union**, v.35, p.943-950, 1975.

DUBEY, R.S.; SHARMA, K.N. Behavior of phosphatases en germinating rice in relation to salt tolerance. **Plant. Physiology & Biochemistry**, Paris, 28: 17-26, 1990.

ELLIOT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.39, p.1118-1119, 1991.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Nat. Ac. Sci.*, 91:11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA, FAEPE, 1994, 227p.

FARIA, R. Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 125F. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.

FERNANDES, P.D.; Estudo de nutrição mineral do pimentão (*Capsicum annuum* L.) cultivares Avelar e Ikeda: Absorção e deficiências de macronutrientes. Piracicaba, 1971. 85p. Dissertação (mestrado) – escola Superior de Agricultura “Luis de queiroz”, Universidade de São Paulo.

FERREYRA, R., SELLÉS, G., TOSSO, J. Efecto del manejo de diferentes aluras de água sobre el cultivo del pimento. I. Influência de los excessos de humedad. **Agricultura Técnica**. v.45, n.1, p.47-51, 1985.

FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de Olericultura**: cultivo e comercialização de hortaliças. 2. Ed., São Paulo: Agronômica Ceres, v.2,357p., 1982.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 402p., 2000.

FILGUEIRA, F.A.R. Solanáceas. 1ª Ed., Lavras: Editora UFLA, 333 p., 2003.

FOSTER, J.G.; EDWARDS, G.E. Localization of superoxide dismutase in leaves of C3 and C4 plants. **Plant Cell Physiology** 21, 895-906, 1980.

FOX, R.L. & SILVA, J.A. Symptoms of plant nutrition silicon an ergonomically essential nutrient for sugarcane. Hawaii, University of Hawaii, 1978. p.85. (Série, 8)

FLOWERS, T.J.; TROKE, P.F.; YEO, A.R. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 28: 89-121, 1977.

FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C.; COSTA, L.M. & FARIA, E.A. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. *Ceres*, 32:162-169, 1985.

GALVÉZ, J.L.; HERNÁNDEZ, J.C.L.; BRETONES, F. et al. Los invernaderos de cubierta asimétrica. **HortoFruticultura**, n.12, p.30-33, 1993.

GERBLING, S.R.; KELLY, G.J.; FISHER, K.H. LATZKO, E. Partial purification and properties of soluble ascorbate peroxidase from pea leaves. **Journal of Plant Physiology** 115, 59-67, 1984.

GIANNOPOLITIS, C.N. & RIES, S.K. Superóxido dismutases. I. occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59:309-314, 1977.

GIULIVO, C., PITACCO, A. Effect of water stress on canopy architecture of *Capsicum annuum* L.. *Acta Horticulturae*, v.335, p.197-203, 1983.

GRIEVE, C.M.; SHANNON, M.C.; POSS, J.A. Mineral nutrition of leafy vegetable crops irrigated with saline drainage water. *Journal of Vegetable Crop Production*, v.7, n.1, p.37-47, 2001.

GROTHGE LIMA, M.T. Interação do cancro da haste (*Diaperthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*) e sílica em soja [*Glicine max* (L.) Merrill]. Tese doutorado USP, 1998. 29 p.

HAAG, H.P.; HOMA, P.; KIMOTO, T. Absorção de nutrientes pela cultura do pimentão, *Solo*, n-2, 1-14, 1970.

HAGIN, J.; TUCKER, B. **Fertilization of dryland and irrigated soils**. Berlin: Springer – Verlag, 1982. 188p. (Advanced Series in Agricultural Sciences, 12).

HODSON, M.J. & EVANS, D.E. Aluminum silicon interactions in higher plants. *J. Exp. Bot.*, 46, 161-171, 1995.

HUBER, R.K.; KREUTMAIER, F.; SANKHLA, N.; Eco-physiological studies on Indian arid zone plants: VI. Effect of NaCl and ABA on amino-acid and protein metabolism in leaves of *Phaseolus acutniifolius*. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, Stuttgart, v.81, p.234-247, 1977.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.19, p. 107 – 149, 1967.

JOSHI, Y.C.; QADAR, A.; BAL, A.R.; DWIVEDI, R.S. Differences between salt sensitive and salt tolerant wheat species in relation to Na and K accumulation. *Indian Journal of Plant Physiology*, Bombay, 28(1): 81-4, 1985.

KATERJI, N., MASTRORILLI, M. HANDY. Effects of water stress at different growth stages on pepper yield. **Acta Horticulturae**, n.335, p.165-71, 1993.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F. & SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:623-629, 1999a.

KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H. & MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:101-106, 1999b.

KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; ULLOA, M. and DATNOFF, L.E.. Calibration of soil and plant silicon for rice production. **J. Plant Nutri**. New York, 2000.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: PPSi-ICIAG-UFU, 2004, 23p. (Boletim Técnico).

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3 ed. Berlin: Springer – Verlag, 1995. 506p.

LEONARDO, M. “Estresse salino induzido em plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.) e seus efeitos sobre a produtividade e parâmetros agronômicos e bioquímicos”. Botucatu, UNESP/FCA, 2003. 100p.

LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses. Vol.II: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York., p. 25-211, 1980.

LOPEZ, C.C. **Fertirrigacion**: Cultivos hortícolas y ornamentales. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa, 2000. 475p.

LOPEZ, C.C. Fertirrigação: aplicações na horticultura. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C.; RESENDE, R.S. (Coord.) **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. cp.8, p.269-288.

LIANG, Y.C.; DING, R.X.; LIU, Q. Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. *Sci Agricult Sinica* 32(6): 75–83 (In Chinese with English abstract),1999.

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

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. 2 ed. *Silicon in Agriculture*, Amsterdam: Elsevier, p.17-39, 2001.

MALAVOLTA, E., *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional de plantas. princípios e aplicações*, Piracicaba, Potafos 1997. 304p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARCUSSI, F.F.N.; VILLAS BÔAS, R.L. *Análise de crescimento e marcha de absorção de um híbrido de pimentão sob condições de cultivo protegido e fertirrigação. Relatório final-FAPESP. P.1-40*, 2000.

MARTINEZ, V.; CERDA, A. Nitrate reductase activity in tomato and cucumber leaves as influenced by NaCl and N source. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 12: 1335-50, 1989.

MASS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance – Current Assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, v.103, n. IR2, p.115-134. 1977.

MATICHENKOV, V.V.; ANDERSON, D.L. & SNYDER, G.H. Silicon in the soil and plant – Part II as a matter of fact. **Sugar J.**, 58-8, 1995.

MEDEIROS, J.F. Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão. Piracicaba, 1998. 152p. Tese. (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MELO, A.M.T.; “Análise genética de caracteres de fruto em híbridos de pimentão”. Piracicaba, 112p. Tese (Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz” – USP – Piracicaba, 1997.

MINAMI, K.; NETO, J.T. Cultura do Pimentão, Piracicaba: SEBRAE, 57p, 1994.

MISZALSKI, Z.; SLESIAK, I.; NIEWIADONSKA, E.; BACZEK-KWINTA, R.; LÜTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Subcellular localization and stress response of superoxide dismutase isoforms from leaves in the C3-CAM intermediate halophyte *Mesembryanthemum crystallinum* L. **Plant, Cell and Environment** 21, 169-179, 1998.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solutioncultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Baltimore, v.29, p.71-83, 1983.

NIMBALKAR, J.D.; JOSHI, G.V. Effect of increasing salinity on germination, growth and mineral metabolism of sugarcane var. Co 740. *Journal of Biological Sciences, Bombay*, 18: 55-63, 1975.

NOLLA, A.; DALTO, G.; KORNDORFER, G.H.; Crescimento de soja sobre restos culturais de cana-de-açúcar em diferentes níveis de silicato de cálcio e calcário. In: FERTBIO 2004, 2004, Lages, 2004.

OLIVEIRA, M.R., PORTAS, C.A.M. Enraizamento de plantas cultivadas: aspectos pertinentes às culturas olerícolas. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, N.P. *Nutrição e adubação de hortaliças*. Piracicaba: **POTAFOS**, Cap.2, p.15-30, 1993.

OLSEN, J. K., LYONS, D. J., KELLY, M. M., Nitrogen uptake and utilization by bell pepper in subtropical Australia. *J. Plant. Nutr.*, v.16, p.2055-71, 1993.

PÁDUA, J.G.; CASLI, V.W.O.; PINTO, C.M.F. Efeitos climáticos sobre pimentão e pimenta, **Informe Agropecuário**, v.10, p.11-13, 1984.

PAMELO, M. Adaptabilidad de cultivares de pimiento a condiciones de cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v.13, p.101, 1995. Suplemento. Resumo 209.

PAPADOPOULOS, I. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown french beans. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, p.893-903, 1986.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: “Fertirrigação: situação atual e perspectiva para o futuro”., Guaíba., Ed., Agropecuária, p. 11-154, 1999.

PARICHA, P.C.; PATRA, G.J.; SAHOO, P. Effect of synthetic sea water on growth and chemical composition of rice at different stages of development. *Journal of Indian Society of Soil Science*, New Delhi, 23: 344-48, 1975.

PEIXOTO, P.H.P; CAMBRAIA, J.; SANT’ANA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, A.M. Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum, **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v.11, n.3, p.137-43, 1999.

PEREIRA, F.A.M.; FERNANDEZ MEDINA, B.; ETCHEVERS, J.D. et al. Solos afetados por sais no Nordeste I: Efeito da relação solo-água nos valores de condutividade elétrica. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.2, p.148-154, 1981.

PEREIRA, A.L. Cultura do Pimentão. Fortaleza: DNOCS, 49p., 1990.

PEREIRA, H. S. ; VITTI, G. C. & KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:??-??, 2003

RAIJ, B.van & QUAGGIO, A.J. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (IAC - Boletim técnico, 81).

RAIJ, B.van, CANTARELLA, H., GUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, 2ed. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. 285p (Boletim Técnico, 100).

RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D.R.; NIELSEN, D.R.; (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1990. cap.36, p.1089-1142. (Agronomy, 30).

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

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

RILSKI, I.; ALONI, B.; KARNIM, L.; ZAIDMAN, Z. Flowering, fruit set, fruit development and fruit quality under different environmental conditions in tomato and pepper crops. **Acta Horticulturae.**, Wageningen, v. 366, p. 45-55, 1994.

RODRIGUES, G.P. Efeito do silicato de cálcio na cana-de-açúcar e sobre as características químicas do solo. Monografia. Curso de Agronomia. Univ. Fed. Uberlândia, Brazil, 1997.

RUSSO, V. M., Effects fertilizer rate, application timing and plant spacing on yield and nutrient content of bell pepper. *J. Plant Nutr.*, v.14, p 1047-56, 1991.

SAKAMOTO, A.; OKUMURA, T.; KAMINAKA, H.; SUMI, K.; TANAKA, K. Structure and differential response to abscisic acid of two promoters for the cytosolic copper/zinc-superoxide dismutase genes, *SodCel* and *SodCe2*, in rice protoplasts. **FEBS Letters** 358, 62-66, 1995.

SALIN, M.L.; BRIDGES, S.M. Isolation and characterization of an iron-containing superoxide dismutase from a eukaryote, *Brassica campestris*. **Archives of Biochemistry and Biophysics** 201, 369-373, 1980.

SALIN, M.L.; BRIDGES, S.M. Localization of superoxide dismutase in chloroplasts from *Brassica campestris*. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie** 99, 37-45, 1981.

SANTOS, R.F. “Híbrido de pimentão cultivado em ambiente protegido e convencional fertirrigado com doses de N+K e avaliação da distribuição da evaporação”, **tese**, apresentada a Faculdade de Ciências Agrônômicas – **Unesp** – Botucatu, 2001.

SANTIAGO, C. L., GOYAL, M. R., Nutriente uptake and solute movement in drip irrigated summer peppers. *J. Agric. P. R.*, v.69, p-63-8, 1985.

SERRANO, L.; CARBONELL, X.; MARFA, O. et al. Nitrate leaching and strawberry production as affected by drip irrigation. **Environmental Pollution**, v.2, p. 311-316, 1993.

SGANZERLA, E. Nova Agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 5ª ed. Esteio: Agropecuária, 324 p., 1995.

SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N.; COELHO, R.D. Fertirrigação: “Salinização dos solos cultivados com ambientes protegidos no estado de São Paulo”. Guaíba, Ed. Agropecuária, p.267-78, 1999.

SILVA, E.F.F.; “Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo” **tese**, apresentada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – **USP** – Piracicaba, 2002.

SIRJACOBS, M. Irrigation localisée d’une culture de poivrons sous serre en région aride. Approche pratique de la gestion des apports d’eau. **Bull. Res. Agron. Glemboux.**, v.18, n.2, p.137-48, 1983.

SMEDENA, L.K. Water table control indices for drainage of agricultural land in humid climates. **Agricultural Water Management**, v.14, n.1, p.69-77, 1988.

SMITTLE, D.A., DICKENS, W.L., STANSELL, J.R. Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v. 119, n.5, p.936-9, 1994.

SNYDER, G.H.; JONES, D.B. & GASCHO, G.J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1259-1263, 1986.

SOEST, P.J. van The role of silicon in the nutrition of plants and animals. **Proceedings of the Cornell Nutrition Conference**, p. 103-109, 1970.

SONNENBERG, P.E. Cultura do pimentão. In: **Olericultura Especial**: 2ª parte. 2 ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 143 p., 1981.

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

SOUSA, V.F.; SOUZA, A.P. Fertirrigação: princípios e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus:SBEA, 1993. **Anais**. Ilhéus: SBEA, 1993. p.2519-2528.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference o mediterranean conditions. **Acta Horticultural**, v.335, p.296-304, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: The Benjamin-Cummings Publishing Company, 1991. 559p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUA, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. (Ed.) **Science of the rice plant**: physiology. Tokyo: Food and Agric. Policy Res. Center, v.2, p.420-433, 1240p, 1996.

TANGI, K.K. (Ed.) **Agricultural salinity assesment and management**. New York: ASCE, 1990. 610p. (ASCE Manuals and Reports of Engineering Pratices, 71).

THOMAS, J.C.; ARMOND, R.L.; BOHNERT, H.J.; Influence of NaCl on growth, proline and phosphoenolpyruvate carboxylase levels in *Mesembryanthemum crystallinum* suspension cultures. **Plant Physiology**, Rockville, v.98, p.626-31, 1992.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.J & BEATON, J.D. **Soil Fertility and Fertilizers**. Macmillan Publishing Company, New York, 1993.

TIVELLI, S.W.; OLIVEIRA, J.A.S.; GOTO, R. Caracterização morfológica de híbridos de pimentão vermelho indicado para o cultivo em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.16, p.148, 1998. Suplemento. Resumo 351.

TIVELLI, S.W. Avaliação de híbridos e sistemas de condução na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) vermelho em ambiente protegido. Botucatu: FCA/UNESP, 1999. 240p. (Tese - Doutorado).

TORELLO, W.A.; RICE, L.A.; Effect of NaCl stresses on Proline and cation accumulation in salt sensitive and tolerant turfgrasses. *Plant and Soil*, The Hague, 93:241-27, 1986.

VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T.; FERNANDES, D.M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord) **Fertirrigação: citrus flores e hortaliças**. Ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. cap.4, p.293-334.

VILLAS BÔAS et al, “Efeitos de doses de nitrogênio aplicado de forma convencional através da fertirrigação da cultura do pimentão”, Congresso Brasileiro de Hortaliça, 2000.

VILLAS BÔAS, R.L., “Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação”, **tese** (para obtenção do título de livre-docente) apresentada a Faculdade de Ciências Agrônômicas – **Unesp** – Botucatu, 2001.

VITTI, G.C.; BOARETO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. . In: VITTI, G.C.; BOARETO, A.E. (Ed.) **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. cap.14, p.261-281.

WEINBERG, R.; LERNER, H.R.; POLJAKOFF-MAYBER; Changes in growth and water-solute concentrations in *Sorghum bicolor* stressed with Na and K salts. **Physiology Plantarum**, Kobenhavn, v.62; p.472-80, 1984.

WIGNARAJAH, K.; JENNINGS, D.H.; HANDLEY, J.F. The effect of salinity on growth of *Phaseolus vulgaris* L. II. Effect on internal solute concentration. *Annals of Botany*, Oxford, 39: 1039-55, 1975.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agronomic Science Serie B**, v.15, p.1-58, 1975.

ZHUJUN, Z.; GUOQUIANG, W.; JUAN, L.; QIONGQIU, Q.; JINGQUAN, Y. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, 167:527-533, 1994.