

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**FERTILIZAÇÃO SILICATADA INFLUENCIANDO VARIÁVEIS
DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO TOMATEIRO**

ELIANE ÚRSULA RODRIGUES CÉSAR

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia,
da Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia - MG

Maio - 2000

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**FERTILIZAÇÃO SILICATADA INFLUENCIANDO VARIÁVEIS
DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO TOMATEIRO**

ELIANE ÚRSULA RODRIGUES CÉSAR

PROF^a. Dra. REGINA MARIA QUINTÃO LANA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia,
da Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia - MG

Maio – 2000

**FERTILIZAÇÃO SILICATADA INFLUENCIANDO VARIÁVEIS
DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO TOMATEIRO**

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 15/05/2000

Prof^ª. Dr^ª. Regina Maria Quintão Lana
Orientadora

Prof. Dr. Igo Fernando Lepsch
Conselheira

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Conselheiro

Uberlândia - MG
Maio - 2000

1. INTRODUÇÃO.....	07
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	09
2.1A cultura do tomateiro.....	09
2.2O silício no solo.....	10
2.3 O silício nas plantas	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1A metodologia usada para a análise de extração de Si no solo.....	18
3.2 Análise de Si na folha (método amarelo).....	19
3.3 Análise qualitativa.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÕES.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
APÊNDICE.....	38

Resumo

Conduziu-se na casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia – MG, no período de 04/12/1998 à 15/04/1999 um experimento com o objetivo de verificar o efeito do silício (Si) sobre as variáveis de crescimento (peso de frutos, altura da planta, comprimento da raiz, diâmetro do caule e peso da matéria seca das folhas), e a produção do tomateiro. Utilizou-se a cultivar “Debora Plus” do grupo Santa Cruz. As plantas de tomateiro foram podadas duas folhas acima da quinta penca de frutos. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com 6 tratamentos (5 doses de Si: 0; 1,1; 2,2; 4,4; 8,8 g de Si/ vaso e 20 g de gesso agrícola / vaso), quatro repetições e duas plantas de tomate por vaso contendo 20 Kg de areia grossa de construção como substrato. Todas as plantas foram pulverizadas para controle de doenças e pragas, recebendo 400 ml.vaso⁻¹ de solução nutritiva, três vezes por semana. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão polinomial. Pôde-se concluir que: a) o tomateiro não foi uma planta acumuladora de Si, haja visto que o teor desse elemento na planta foi aproximadamente cem vezes menor do que o teor de Ca; b) o Si não afetou positivamente as variáveis de crescimento: altura de plantas, diâmetro do caule e peso seco das folhas, e não refletiu em ganho na produção de frutos de tomate.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente ocupa a posição de um dos maiores produtores de tomate do mundo. Entre os diversos fatores que contribuem para a cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., Solanaceae) apresentar altas produtividades, estão o clima altamente favorável à cultura, tecnologia aplicada, adubação excessiva e alto potencial genético da semente na qualidade física, fisiológica e sanitária.

O silício geralmente não é considerado parte do grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas porém, é considerado benéfico para o crescimento e produção de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama bermuda, etc) e algumas espécies não gramíneas (tomate, alfafa, feijão, alface e repolho) que tem mostrado aumentos de produção com o aumento da disponibilidade de silício para as plantas (ELAWAD Jr. & GREEN, 1979; SILVA, 1973).

A disponibilidade do silício nos solos brasileiros, bem como sua absorção e acumulação pelas plantas, não tem sido estudado com devida atenção se comparada com os demais nutrientes. O silicato de cálcio tem sido empregado como fonte de silício (disponível) para as plantas na maioria dos experimentos (KORNDORFER & DATNOFF, 1995).

O silício é normalmente absorvido pela planta como ácido monossilícico (SiOH_4). O mecanismo de resistência a doenças e pragas é conferido pela polimerização, na forma de sílica amorfa, desta com os constituintes da parede celular, tornando-os menos acessíveis às enzimas de degradação dos patógenos (JONES & HANDRECK, 1967). A pesquisa agrônômica utilizando adubação silicatada em lavouras de tomateiro, busca informações para estudos do aumento da produtividade, melhoria da qualidade do fruto além da diminuição da incidência de doenças e ataque de pragas nessa cultura.

Tendo em vista a necessidade de melhoria da qualidade e aumento da produtividade da tomaticultura, conduziu-se este trabalho com os objetivos de verificar a influência da adição de adubos silicatados ao substrato de cultivo nas variáveis de crescimento e produção do tomateiro e confirmar se a cultura do tomateiro é acumuladora de silício.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do tomateiro

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill., Solanaceae) é uma planta de grande distribuição no mundo, com inúmeras cultivares. Originário próximo ao Equador, nos Andes, é uma solanácea perene mas cultivada como anual. A planta é herbácea tendo dois hábitos de crescimento nas cultivares plantadas no Brasil: indeterminado (próprio para tutoramento e estufa) e determinado (cultura rasteira para industrialização).

A cultura do tomate prefere clima tropical de altitude, sub-tropical ou temperado seco, com alta luminosidade e temperaturas amenas, exigindo termoperiodicidade de 20 – 25° C (dia) e 13 – 18° C (noite), com diferença de 6 – 8° C. Altas luminosidades corrigem temperaturas mais altas, desde que as noturnas sejam sempre inferiores. Frio ou calor excessivo prejudicam o desenvolvimento da planta, sendo sensível a geada. É indiferente

ao fotoperiodismo. A qualidade dos frutos é afetada pela temperatura, sendo que as amenas favorecem o licopeno (inibido sob calor, que favorece os carotenos).

Quanto ao valor nutricional, com 95% de água, o tomate não se compara com outras hortaliças mais ricas. Porém, pela frequência com que é consumido ao natural, é boa fonte de vitamina C, além de sais minerais como o potássio.

No Centro-sul e Triângulo Mineiro planta-se a cultura ao longo do ano, sendo que na primavera-verão é mais afetado por doenças. A cultura rasteira deve ser semeada apenas no outono-inverno. A cultura sob estufa, recomenda-se com laterais abertas na primavera-verão, e fechadas no outono-inverno para obtenção de altas produtividades. Há 4 grupos (ou tipos) de cultivares plantadas no Brasil: - Santa Cruz (hábito de crescimento indeterminado e para tutoramento); - Industrial (hábito determinado, cultura rasteira); - Dupla Finalidade e – Salada (hábito de crescimento indeterminado e para tutoramento) (FILGUEIRA, 1982).

Dados do AGRIANUAL (1999), mostram que a produção brasileira de tomate em 1997 ficou em torno de 2,6 milhões de toneladas, para uma área colhida de aproximadamente 60.000 hectares. Segundo este, o Brasil tem o tomateiro como a primeira cultura olerácea em produção física, anualmente e a segunda em área plantada. Bons tomatocultores produzem 50 – 80 ton/ha (cultura rasteira) e 100 – 200 ton/ha (tutorada), e mais ainda, em estufa. Minas Gerais em 1997, destacou-se novamente entre o segundo maior estado brasileiro produtor dessa solanácea com 375.076 toneladas de produção para 7.610 hectares de área colhida. São Paulo foi o maior produtor com 642.300 toneladas e 14.280 hectares de área colhida.

2.2. O silício no solo

A palavra silício provém do latim silex, rocha constituída de sílica (dióxido de silício) amorfa hidratada e sílica microcristalina, a qual era utilizada, pela sua dureza, na confecção de utensílios e armas na Era Pré-Metálica (Paleolítica).

O silício é encontrado somente em formas combinadas, como sílica e minerais silicatados. Cerca de 80% dos minerais das rochas ígneas e metamórficas são silicatos, enquanto em rochas sedimentárias o conteúdo é menor (JACKSON, 1964). Os silicatos são sais nos quais o silício é combinado com o oxigênio e outros elementos, como Al, Mg, Ca, Na, Fe, K e outros, existindo em mais de 95% das rochas terrestres (cerca de 87% em massa), meteoritos, em todas as águas, atmosfera (pó silicoso), vegetais e animais. Os minerais silicatados mais comuns são o quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios. Os dois últimos são aluminossilicatos, contribuindo significativamente com o conteúdo de Al na crosta. Estes minerais sofrem o processo de intemperização, cuja taxa depende de uma série de fatores, incluindo temperatura, pH, composição iônica do solvente, etc. O quartzo é relativamente estável, intemperizando-se muito lentamente. Portanto, ele normalmente não é considerado uma fonte disponível de ácido silícico. Os feldspatos, por sua vez, intemperizam-se mais rapidamente, transformando-se em argilas (caulinita ou montmorilonita) e liberando ácido silícico (EXLEY, 1998).

O Si está presente na solução do solo como ácido monossilícico, a maior parte na forma não dissociada ($pK_1 = 9,6$), o qual é prontamente absorvido pelas plantas (RAVEN, 1983). As principais fontes de ácido silícico presentes na solução do solo são: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de

ácido silícico adsorvido dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não – cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação.

Mesmo sabendo que o Si é um dos elementos mais abundante na crosta terrestre e que a maioria dos solos originalmente contém consideráveis quantidades de Si assimilável, cultivos consecutivos podem reduzir o nível deste elemento até um ponto em que a adubação seja necessária. Solos muito intemperizados e altamente lixiviados, ácidos, e apresentando baixa relação de Si/Sesquióxidos ($Kr = SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$), tem sido apontados como sendo particularmente pobres em Si disponível para as plantas (BRADY, 1992; SILVA, 1973). Muitos dos histosols (solos orgânicos)também são considerados limitados quanto a disponibilidade de Si para as plantas (SNYDER et al., 1986).

A compactação do solo também pode reduzir a quantidade de Si disponível para as plantas, pois aumenta o nível de ácidos polissilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico (MATYCHENKOV et al., 1995). Solos tropicais altamente intemperizados podem apresentar teores de Si menores que 2 mg/Kg no extrato saturado (BRADY, 1992). De modo geral, as soluções dos solos apresentam teores de Si dissolvidos variando entre 3,0 e 17,0 mg/L (EPSTEIN, 1995).

As fontes de Si normalmente utilizados em pesquisas são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes. O material contendo silício deve ser aplicado no solo na forma de pó (bem moído), haja visto o efeito positivo dos silicatos normalmente associados ao aumento na disponibilidade do Si, ao efeito do pH e também dos micronutrientes que estes produtos podem conter. O silício pode atuar ainda na redução de Fe e Mn quando em níveis tóxicos para as plantas (KORNDORFER & DATNOFF, 1995).

2.3. O silício nas plantas

A relação entre a absorção de silício e o crescimento vegetal foi investigado pela primeira vez há mais de 100 anos (RAVEN., 1983). A comprovação da essencialidade do Si é muito difícil, devido à sua abundância na biosfera. O Si está presente em quantidades significativas mesmo em sais nutrientes, água e ar altamente purificados (WERNWER & ROTH, 1983). Apesar disso, o fornecimento de Si é benéfico para muitas espécies vegetais e, em determinadas circunstâncias, para a maioria das plantas superiores (MARSCHNER, 1995). O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas; decréscimos na susceptibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxicidade de Al, Mn, Fe e Na; diminuição na incidência de patógenos e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

Culturas acumuladoras de Si, principalmente, beneficiam-se da adubação com este elemento, particularmente em solos altamente intemperizados e dessilicatados, aumentando ou mantendo elevadas produtividades. MIYAKE & TAKAHASHI (1985) caracterizaram as plantas em três tipos, quanto à absorção de Si: a)- Acumuladora, com um teor bastante elevado de Si, sendo a absorção ligada a respiração aeróbica. O arroz e a cana-de-açúcar são exemplos típicos deste grupo de plantas; b)- Não-acumuladoras, caracterizando-se por um baixo teor do elemento, mesmo com altos níveis de Si no meio, indicando um mecanismo de exclusão. Exemplo típico é o tomateiro, que acumula a maior parte do Si absorvido nas raízes; c)- Intermediários, as quais apresentam uma quantidade considerável de Si, quando a concentração do elemento no meio é alta. As curcubitáceas e a soja, por

exemplo, enquadram-se neste tipo, pois translocam o Si livremente das raízes para a parte aérea.

Segundo YOSHIDA (1975) e TAKAHASHI (1978), acompanhando a absorção da água, o Si penetra na planta na forma de ácido monossilícico H_4SiO_4 . No interior da planta, 99% do total acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o qual é de difícil solubilização, o restante, menos de 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975). O Si absorvido pela planta é depositado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez da célula, podendo elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina da parede celular (LEE et al., 1990).

O Si ao ser absorvido pelas plantas é facilmente translocado no xilema, apresentando tendência de se polimerizar (BARBER & SHOPE, 1966). Na planta, o Si concentra-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, mas também pode ser encontrado, em pequenas quantidades nos grãos.

A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual pela redução na transpiração faz com que a exigência de água das plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância em se tratando de solos do domínio dos cerrados, onde o período de estiagem é longo e severo (KORNDORFER & DATNOFF, 1995). A translocação do Si pode ser regulada pela taxa de transpiração (HORIGUSHI, 1988). De acordo com AGARIE et al. (1992), a maior atividade fotossintética proporcionada pelo Si pode ser uma das razões para um aumento da matéria seca e há um melhor aproveitamento da água do solo, provavelmente devido à redução na evapotranspiração.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no dia 04/12/1998 em casa de vegetação pertencente a Universidade Federal de Uberlândia. Utilizou-se a variedade híbrida de tomate “Debora Plus LV” do grupo Santa Cruz, onde foi semeada em bandejas de isopor utilizando substrato comercial Plantmax. Após o período de 18 dias para emergência e crescimento das mudas nas bandejas, foi feito o transplântio manual de duas plantas por vaso com aproximadamente 20 Kg de areia grossa.

Nos os vasos contendo areia grossa de construção (fundo de rio) como substrato receberam previamente uma adubação básica de 43g do formulado de 8-28-16/vaso, correspondente a 300 Kg N /ha; 1200 Kg P₂O₅/ha e 720 Kg K₂O/há, de acordo com a necessidade da cultura. Sendo este substrato lavado com água. O pH em água da amostra analisada no Laboratório de Solos da UFU foi de 5,80.

Foi efetuado de acordo com a necessidade da cultura, o tutoramento das plantas, poda de ramos laterais e controle fitossanitário com fungicidas (BENLATE 500 PM – Benomil; FOLICUR CE – Tebyconazole e ORTHOCIDE 500 PM – Captan) e inseticidas (CONFIDOR 700 Grda – Imidacloprid; ORTHENE 750 BR – Acephate; FOLIDOL 600 CE – Paration Metílico e VERTIMEC 18 CE – Abamectin).

Com relação a irrigação dos vasos, havia um recipiente para contenção da água de irrigação e da solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950) que permitia melhor aproveitamento e redução de perda por lixiviação de nutrientes por vaso (parcela experimental). A água de irrigação utilizada foi de torneira.

A solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950) (Tabela 1) foi modificada em sua formulação conforme o desenvolvimento da cultura, para evitar deficiências nutricionais. Foram feitas duas alterações: 1^a. alteração feita aos 52 dias após a semeadura – 10 ml de KNO₃ / litros de água; 4 ml de MgSO₄. 7H₂O / litros de água e 2 ml de KH₂PO₄ / litros de água e a : 2^a. alteração feita aos 69 dias após a semeadura – 15 ml de KNO₃ / litros de água; 5 ml de MgSO₄. 7H₂O / litros de água, 4 ml de KH₂PO₄ / litros de água, 10 ml de Ca (NO₃). 4 H₂O/ litros de água e 4 ml de micronutrientes/ litros de água.

Tabela 1. Reagentes utilizados na formulação da Solução Nutritiva.

Reagentes		Quantidade de reagente por litro de solução estoque (g)	Quantidade de solução estoque a aplicar (ml/ litro de H ₂ O)
Ca (NO ₃). 4 H ₂ O – Nitrato de Cálcio		236,16	5
KNO ₃ – Nitrato de Potássio		101,10	5
MgSO ₄ . 7H ₂ O – Sulfato de Magnésio		246,47	2
KH ₂ PO ₄ – Fosfato de Potássio Monobásico		136,09	1
EDTA Férrico		7,54	1
Micro-nutrientes	NaMoO ₄ . 2 H ₂ O	0,025	
	ZnSO ₄ . 7 H ₂ O	0,22	
	CuSO ₄ . 5 H ₂ O	0,08	1
	MnSO ₄ . H ₂ O	3,0	
	H ₃ BO ₄	2,86	

A quantidade calculada para aplicação foi de 1,2 litros de solução/vaso/semana, sendo que a distribuição foi parcelada 3 vezes por semana tendo 400 ml de solução por vaso (200 ml de solução por planta).

Durante a condução do experimento (a partir do início da formação dos frutos), foram realizadas aplicações semanais de pulverização de cloreto de cálcio (CaCl_2) 5% para suprir o cálcio via foliar e assim evitar a podridão apical causada pela deficiência deste elemento. O tomateiro é uma planta muito exigente em cálcio, e sendo este elemento pouco móvel nas plantas, a aplicação deste através de pulverizações é muito utilizada (FILGUEIRA, 1982).

As observações climáticas de temperatura ocorridas durante a condução do experimento, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Média das temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante a execução do experimento.

Mês / Ano	Casa de Vegetação		Área Experimental ⁽¹⁾	
	T máx.	T mín.	T máx.	T mín.
Dezembro/98	34,5	20,5	30,1	19,3
Janeiro/99	34,1	20,3	29,9	19,5
Fevereiro/99	33,5	20,3	29,7	19,4
Março/99	32,8	20,2	30,6	19,5
Abril/99	33,2	20,1	28,8	18,9

⁽¹⁾Dados obtidos no 5º Distrito Meteorológico, Estação de Uberlândia/MG (No. 85.527), Parque do Sabiá

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 6 tratamentos, 4 repetições e duas plantas de tomate por vaso. Os tratamentos utilizados foram 6 doses de silicato de cálcio (0; 500; 1000; 2000; 4000) que correspondem a 0; 1,1; 2,2; 4,4; 8,8g de Si/vaso e mais um tratamento de gesso agrícola de 20g CaSO_4 /vaso.

Os resultados obtidos foram analisados pelo programa estatístico ESTAT.

O experimento teve duração de 116 dias, sendo colhido até o quinto cacho formado para avaliação da produção e acumulação de silício nas folhas e caule. Os frutos foram colhidos de acordo com sua maturação fisiológica e devidamente identificados para serem contados, pesados, cortados, expostos ao sol por 48 horas, e levados à estufa (62° C/ 72 horas), respectivamente.

Com o desmonte do experimento, as plantas foram medidas em comprimento total, armazenadas em sacos de papel furado e levadas a estufa por 72 horas a 60° C. as raízes foram lavadas, medidas, secas ao ar e depois em sacos de papel furados, foram levadas também à estufa. Do substrato (areia grossa de construção), foi retirado uma amostra de cada tratamento, que foram analisadas no Laboratório de Solos da UFU.

3.1. A metodologia usada para a análise de extração de silício no solo foi:

Extração:

A extração da sílica foi feita com a solução de ácido acético 0,5M e 0,0025M de CaCl₂. Agitaram-se 10g s de terra por 1horacom 100ml dessa solução. Após esse tempo espera-se decantar por 15 minutos e filtra-se a suspensão, e determina-se a sílica por método colorímetro, em alíquotas de 10ml.

Preparo das Soluções:

1. Solução de Ácido Acético 0,5M: 28,68ml de ác. acético em 1000ml de água destilada.
2. Solução Padrão de sílica: 4ml de solução padrão de 1000ppm de Si para um balão de 200ml e completar o volume com água destilada.

3. Solução com ácido ascórbico 0,3%: pesa-se 0,3g de ácido ascórbico P.A ($C_6H_8O_6$), PM (176,13), coloca-se num balão de 100ml, completando-se o volume com água destilada.
4. Solução sulfo-molíbdica 7,5%: foram dissolvidos 7,5g de molibdato de amônio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$), em 75ml de água destilada. Adiciona-se então 10ml de ácido sulfúrico 18N, e a solução é completada a 100ml.
5. Solução de cloreto de cálcio 0,0025M: adicionar 0,2775g de cloreto de cálcio em 1000ml de solução.

Determinação:

Pipeta-se 10ml do filtrado a ser analisado, colocado num balão de 100ml. Acrescenta-se então 1ml da solução sulfo-molíbdica. Após 10 minutos acrescenta-se 2ml da solução de ácido tartárico 20% e após 5 minutos adiciona-se 10ml da solução de ácido ascórbico. O volume então é completado até 100ml e após 1 hora é feita a leitura em Espectrofotômetro Micronal-Espectrofotômetro B.380 de 660 m μ . Os cálculos são feitos com auxílio de uma curva padrão de 0; 0,4; 1,0; 2,0 ppm de silício preparada com a solução padrão de sílica (200 ppm).

3.2. Análise de Si na Folha (Método Amarelo)

Preparo da amostra:

- fazer uma secagem prévia ao ar para retirar o excesso de umidade;
- retirar a nervura central quando for necessário (Ex: cana);
- levar as folhas em uma solução de detergente (dentro de uma bacia);

- depois do detergente passar as folhas em água destilada para retirar o detergente. Esta etapa é especialmente importante quando se quer determinar P, porque o detergente possui P na sua composição;
- secar as folhas em estufa de circulação forçada à 65°C até peso constante;
- moer o material em moinho tipo willey (antes de moer, secar o material por mais 30 minutos à 60°C)
- colocar o material moído em sacos plásticos ou tubos de plástico e identificar (não usar identificação nas tampas).

Digestão das amostras/tecido vegetas (usar somente frascos de plásticos):

- secar a amostra por 1 hora à 65°C;
- pesar 0,1000g da amostra (tecido foliar) e colocar em tubo de plástico para digestão. Incluir 1 amostra padrão, 1 amostra duplicada e 1 branco (sem amostra, apenas as soluções extratoras) para cada 20 amostras analisadas. Usar um pincel para limpar o compartimento da balança;
- acrescentar 2 ml de H₂O₂ (30 ou 50%). Misturar imediatamente, e por alguns segundos, os tubos plásticos contendo as amostras. Usar um vibrador por alguns segundos;
- acrescentar 3 ml de NaOH (1:1). Misturar imediatamente os tubos, colocar as tampas sobre os mesmos mas sem apertar, e imediatamente depois, colocar os tubos na autoclave por 1h à 253°F (123°C) e 1,5 atm (=20 psig);
- adicionar 45 ml de água destilada de modo a completar o volume para 50 ml. Transferir o extrato para um frasco plástico identificado. Deixar o material em repouso até que os resíduos fiquem depositados no fundo do tubo.

Determinação:

- separar uma alíquota de 1 ml do sobrenadante do extrato e colocar em copo plástico de 50 ml ou copo de cafezinho. Acrescentar 15 ml de água destilada;
- adicionar às amostras (extratos digeridos), rapidamente, os seguintes reagentes: 1 ml de HCl (1:1 ou 50%); 2 ml de molibdato de amônio. Agitar levemente. A cor amarela deve aparecer em todas as amostras contendo Si. Depois de 5 a 10 min., adicionar 2 ml de ácido oxálico e mais uma vez misturar levemente;
- fazer a leitura das amostras no colorímetro após um intervalo de 2 min. A cor amarela é pouco estável, permanecendo assim por apenas 15 min. Usar o comprimento de onda de 410 nm.

Preparo dos Padrões para Si (0, 2, 4, 6 e 8 mg.L⁻¹):

- a) 10 ppm: Pipetar 2 ml da solução estoque de 50 mg.L⁻¹ para um balão volumétrico de 50 ml, completar o volume com água destilada.
- b) 5 ppm: Pipetar 4 ml da solução estoque de 50 mg.L⁻¹ para um balão volumétrico de 50 ml e completar o volume com água destilada.
- c) 2 ppm: Pipetar 6 ml da solução estoque de 50 mg.L⁻¹ para um balão volumétrico de 50 ml e completar o volume com água destilada.

Observação: guardar todos os padrões em frascos plásticos (polietileno) muito bem limpo.

- Separar 20 ml de cada padrão[0, 2, 4, 6 e 8 (água destilada)] e colocar em copo plástico de 50 ml ou copo de cafezinho.

- Adicionar rapidamente aos padrões, os seguintes reagentes: 1 ml de HCl (1:1 ou 50%); 2 ml de molibdato de amônio. Agitar levemente. A cor amarela deve aparecer. Depois de 5 a 10 min., adicionar 2 ml de ácido oxálico e repetir a agitação.
- Fazer a leitura dos padrões no colorímetro após um intervalo de 2 min. A cor amarela é pouco estável, permanecendo assim por apenas 15 min. Usar o comprimento de onda de 410 nm.
- Fazer as leituras em absorbância e depois colocar no gráfico (escala decimal) os valores lidos.
- Calcular a inclinação da reta (slope) diretamente do gráfico ou matematicamente.

Cálculo da concentração de Si:

$$\%Si = \text{valor da leitura (absorbância)} \times \text{slope} \times 500 \times 4/10.000$$

3.3. Análise Qualitativa:

Para a análise qualitativa, foi realizado um espodograma de folhas, ou seja, a imagem das cinzas das folhas.

As folhas coletadas estavam acima do primeiro cacho em formação. Estas folhas foram pré-tratadas com H₂SO₄ 10% a frio, por alguns segundos e depois levadas a fervura com HCl 2N por 20 min. Depois da fervura são lavadas com bastante água destilada, são colocadas e arrumadas entre duas placas ou lâminas de vidro e levadas à mufla por 10 horas numa temperatura de 500°C; para queimar a matéria orgânica, liberando CO₂. Os tratamentos são para a retirada de cátions e calcifitólitos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância pelo Teste de F, não revelou diferença significativa ($P < 0,05$) para nenhuma das variáveis de crescimento avaliadas neste experimento. Verifica-se que (Tabela 3), para as variáveis de peso de frutos, altura de plantas e comprimento de raiz; os seus maiores valores foram obtidos no controle (sem a aplicação de fertilizantes silicatados), indicando que os fertilizantes contendo Si não influenciou positivamente nos valores das demais variáveis.

Tabela 3. Variáveis de crescimento avaliadas em plantas de tomateiro em função dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Variáveis de crescimento				
	Peso de frutos (g/pl)	Altura da planta (cm)	Comprimento da raiz (cm)	Diâmetro do caule (cm)	Peso da matéria seca (g/pl)
Gesso	540,47 a	175,25 a	52,50 a	12,25 a	0,0788 a
4,4g Si vaso ⁻¹	540,57 a	155,25 a	56,25 a	12,50 a	0,0967 a
8,8g Si vaso ⁻¹	522,14 a	175,25 a	49,75 a	11,00 a	0,1088 a
Controle	596,26 a	182,25 a	58,5 a	12,25 a	0,0827 a
CV%	26,11	10,50	20,67	7,01	28,17

* médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A análise de variância pelo Teste de F, não revelou diferença significativa ($P < 0,05$) para o teor de Si na planta (folha, caule e raiz), quanto ao teor total desse efeito e teor foliar de cálcio. O teor de Si foliar variou de 3,28 a 3,60g Si/Kg e teor total de 7,28 a 8,38 g Si/Kg, com o menor valor observado na dose de Si vaso⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4. Teor de Si e Ca na planta e teor residual de Si no substrato em função dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Teor de Si g.Kg ⁻¹			Teor residual de Si na areia (mg.dm ⁻³)	Teor de Ca na areia (g/Kg)
	Folha	Caule	Raiz		
Gesso	3,60 a	1,28 a	3,35 a	11,75 a	54,60 a
4,4g Si vaso ⁻¹	3,50 a	1,08 a	3,10 a	63,50 b	47,30 a
8,8g Si vaso ⁻¹	3,35 a	0,85 a	3,43 a	185,50 c	55,75 a
Controle	3,28 a	1,80 a	3,30 a	10,0 a	54,08 a
CV%	29,21	33,19	20,66	17,29	11,83

O teor de cálcio variou de 47,30 a 55,75 g/Kg, não verificando diferença significativa entre tratamentos ($P > 0,05$), conforme mostra a Tabela 4.

Em termos de acúmulo (g/Kg), o teor total de Si foi menos do que o teor de Ca (Tabela 4.) indicando um mecanismo de exclusão do Si pelo tomateiro em favorecimento ao cálcio, devido ter ocorrido aplicações semanais de cloreto de cálcio 5% via foliar.

Observou efeito residual de silício no solo após a aplicação do silicato de cálcio, com diferença significativa dos tratamentos contendo os maiores teores desse elemento em comparação com a aplicação de gesso e o controle, antes contendo apenas o teor de silício original no solo (10 ppm), de acordo com a Tabela 4.

A análise de variância, pelo Teste de F, revelou diferença significativa ($P < 0,05$) para as características químicas; pH em água, teor de cálcio, soma de bases, CTC (T) e saturação de bases (V) (Tabela 3A, apêndice).

A resposta do peso de frutos de tomate (Figura 1.) às doses crescentes de Si aplicadas no solo foi quadrática negativa, com ponto mínimo de 5,1 g Si/vaso, para um peso de frutos de 412,91 g/planta.

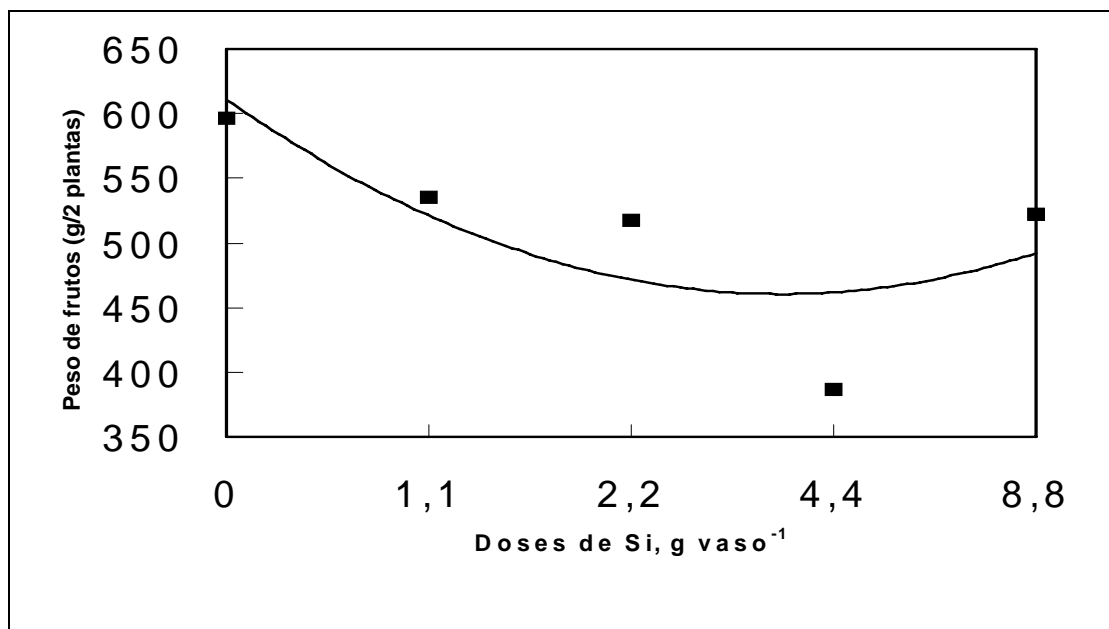


Figura 1. Peso de frutos de tomate em função de doses crescentes de Si adicionado como fertilizante ao substrato ($y = 611,44 - 77,79x + 7,62x^2$; $R^2 = 0,88$).

Houve resposta linear negativa da altura de plantas às doses crescentes de Si, com valores variando de 152,00 a 182,25 cm, conforme mostra a Figura 2.

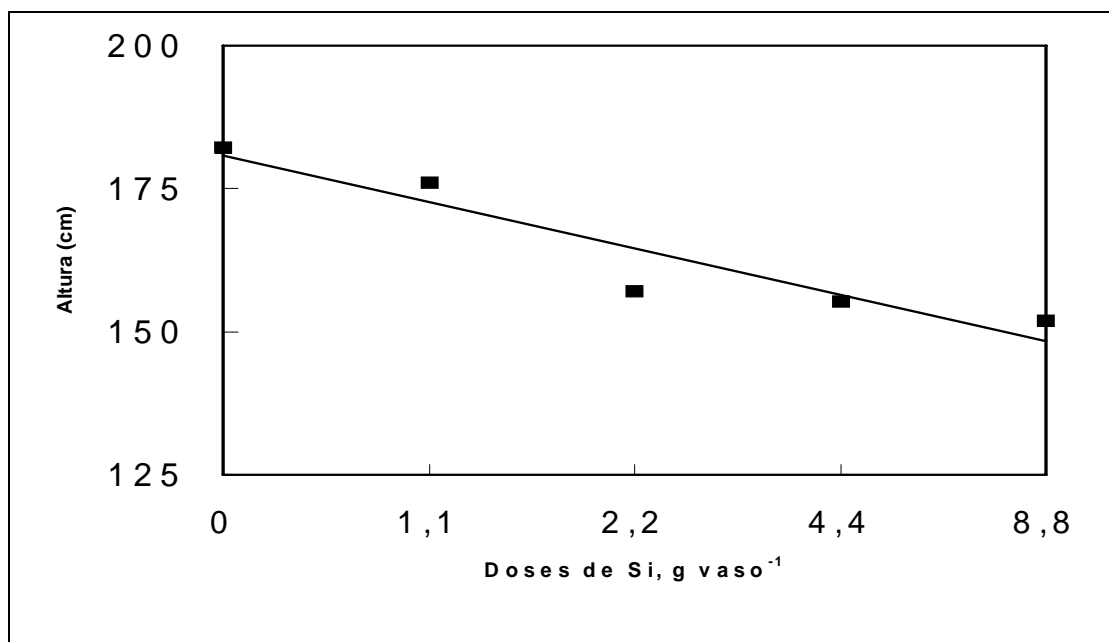


Figura 2. Altura de plantas de tomateiro (cm) em função de doses crescentes de Si ($y = 175,04 - 3,19x$; $R^2 = 0,66$).

A variável diâmetro de caule do tomateiro apresentou comportamento linear negativo às doses crescentes de Si, com valores variando de 11,0 a 12,8 mm (Figura 3.)

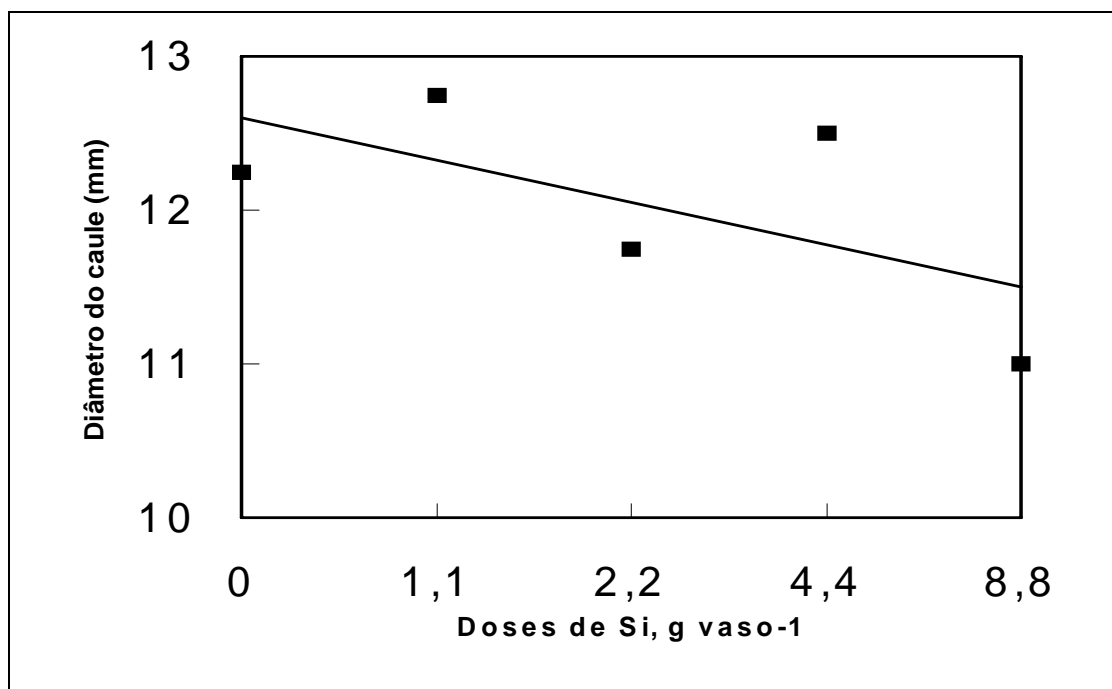


Figura 3. Diâmetro do caule do tomateiro (mm) em função de doses crescentes de Si ($y = 12,54 - 0,15x$; $R^2 = 0,55$).

Conforme mostra a Figura 4, o peso de matéria seca das folhas do tomateiro respondeu de forma linear positiva às doses crescentes de Si adicionadas ao solo com valores variando de 0,07 a 0,42 g / 2 plantas.

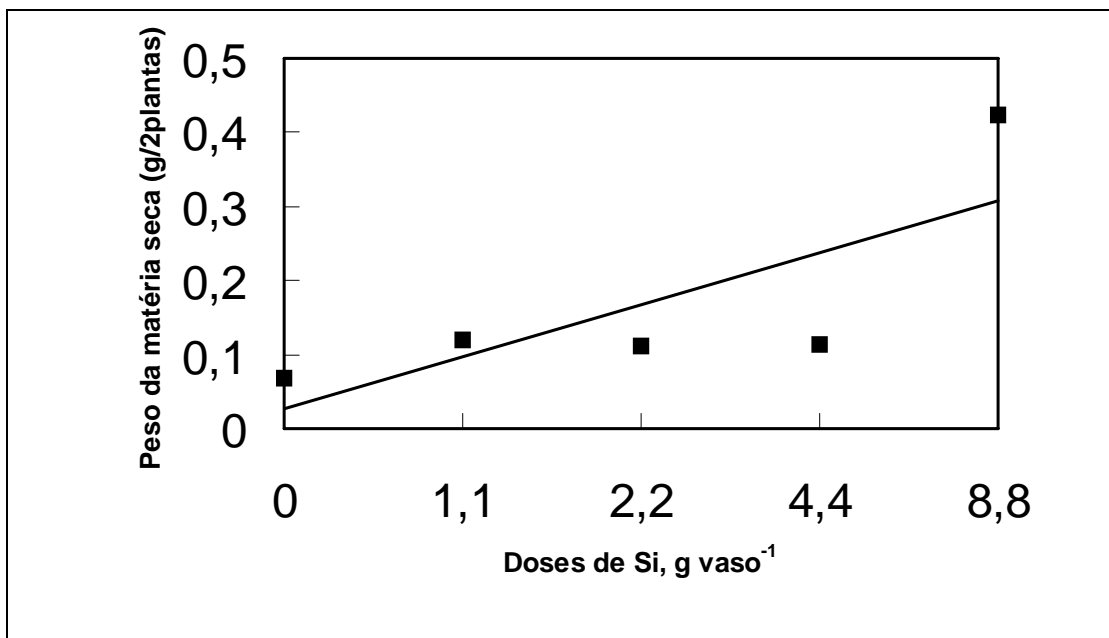


Figura 4. Peso de seco das folhas do tomateiro em função de doses crescentes de Si ($y = 0,42 + 0,38x$; $R^2 = 0,84$).

Não houve respostas do teor de Si na folha e na raiz, bem como do teor desses elementos na planta, às doses crescentes de Si, no entanto, o teor de Si no caule respondeu de forma linear negativa às doses desse elemento, com valores variando de 0,85 a 1,80 g/Kg conforme mostra a Figura 5.

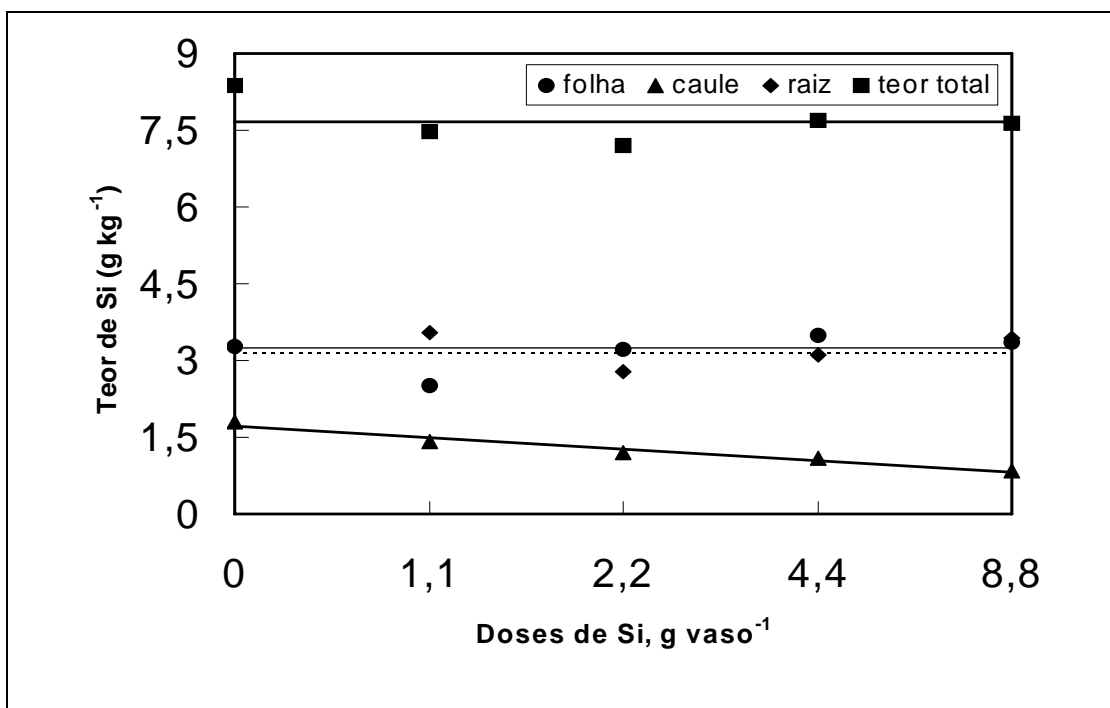


Figura 5. Teor de Si na folha, no caule, na raiz e teor total obtido em plantas de tomate em função de doses crescentes de Si (Si na folha = 3,17; Si no caule = 1,58 – 0,094x; R² = 0,81; Si na raiz = 3,23 e Si total = 7,67).

A resposta de teor residual de Si no solo às doses crescentes de Si (0 a 8,8 g Si/vaso⁻¹), foi quadrática positiva, não sendo possível detectar o ponto de máxima dentro do espaço exploratório empregado nesse estudo (Figura 6).

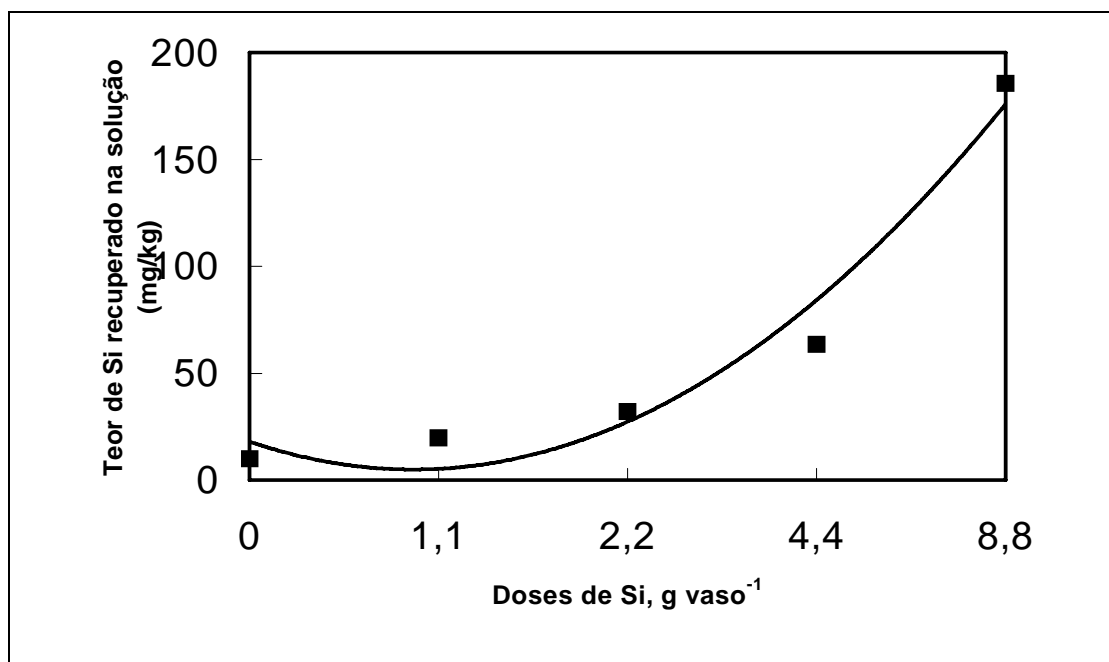


Figura 6. Teor de Si recuperado na solução após o cultivo em função de doses crescentes de Si ($y = 11,38 + 4,78x + 1,70x^2$; $R^2 = 0,99$).

Diante dos resultados neste experimento, observa-se concordância com MIYAKE & TAKAHASHI (1985), que caracterizaram o tomateiro como planta não acumuladora quanto à absorção de Si, mesmo com altos níveis deste no meio. Também, com o objetivo de estudar a absorção e acumulação de Si pela cultura do tomate em condições de campo, MENGELLE (1999), observaram que o tomateiro não acumulou Si, nas condições do experimento.

Nos resultados da análise qualitativa pôde-se observar que as folhas tiveram uma absorção do silício de acordo com as diferentes doses aplicadas em cada tratamento. Sendo que na testemunha e no tratamento com gesso o espectro branco ficou bem claro ou quase que transparente, já nos outros tratamentos contendo silício as folhas com o espectro branco ficaram bem nítidas, sem nenhum provável calcifitólitos. Houve um primeiro teste o qual

falhou, que foi tratado somente com HCl, onde observou-se um aumento do espectro branco, que seria a parte do cálcio (na forma provável de cristais de oxalato de cálcio – Calcifitólitos).



Figura 7. Tratamentos com H_2SO_4 a 10% e HCl.



Figura 8. Resultado do tratamento feito apenas com HCl:

5. CONCLUSÕES

Nas condições de cultivo em substrato de areia adicionando-se diferentes doses de silicato de cálcio e irrigando-se com água não destilada observou-se:

- a- A adição de fertilização silicatada não afetou positivamente as variáveis de crescimento: altura de plantas, diâmetro do caule e peso seco das folhas, e não refletiu em ganho na produção de frutos de tomate;
- b- O tomateiro da variedade Débora Plus do grupo Santa Cruz, não comportou-se como uma planta acumuladora de Si, nas condições deste ensaio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARIE, S. et al. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants. **Journal of Crop Science**, v.61, p. 200 – 209, 1992.

AGRIANUAL. FNP Consultoria e Comércio – Dados de produção e área colhida de tomate no Brasil. 1999, p.227 – 236.

BARBER, D.A., SHONE, M.G.T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal Exp. Botanical**, n. 17, p. 569 – 578, 1966.

BRADY, N.C. **The nature and properties of soil**. 10.ed. New York: Macmillan Publishing, 1992.

ELAWAD, S.H. & GREEN, JR., V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, 28: 235 – 253, 1979.

- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v.91, p. 11 – 17, 1994.
- EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, v.46, p. 37 – 39, 1995.
- EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v.69, p. 139 – 144, 1998.
- FILGUEIRA, A.F. **Manual de Olericultura**. Volume 2, Editora Ceres, São Paulo. 1982, 357p.
- HOAGLAND, D.R., ARNON, D.I. The water – culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station, circular 37, 1950, 31p.
- HORIGUSHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Science Plant Nutrition**, n.42, p.111 – 117, 1988.
- JACKSON, M.L. Chemical composition of soils. In: BEAR, S.E. (ed.). **Chemistry of the soil**. 2.ed. New York: Reinhold, 1964. P. 71 – 141.

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

KORNDORFER, G.H., DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma laternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**. Piracicaba. 70: 1-5, 1995.

LEE, T.S., KWON, T.O., PARK, K.H. Influence of nitrogen and silicon on the yield and the lodging related traits of paddy rice. **Soil and Fert**, v.32, n.2, p. 15 – 23, 1990.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. New York: Academic Press, 1995. 887 p.

MATYCHENKOV, V.V.; PINSKLY, D.L.; BOCHARNIKOVA, Y.A. Influence of mechanical compaction of soil on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, v.27, n.12, p. 58 – 67, 1995.

MENGELLE, E.R. **Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de Silício no tomateiro**. UFU, 1999. 28p.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.24, n.2, p. 175 – 189, 1978.

- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.31, p. 625 – 636, 1985.
- RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v.58, p. 179 – 207, 1983.
- SILVA, J.A. **Plant, mineral nutrition**. Mc Graw – Hill Book Co. Inc., Yearbook of Science and technology, 1973.
- SNYDER, G.H., JONES, D.B., GASCHO, G.J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 50: 1259 – 1263, 1986.
- TAKAHASHI, Y. Effect of the form of silicon on the uptake of silicon by rice plant Japanese. **Journal of Soil Science Plant Nutrition**, v.49, p. 357 – 360, 1978.
- WERNER, D., ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A., BIELESKI, R.L. (ed.). **Encyclopedia of plant physiology. New Series**, Berlin: Springer-Verlag, v.15B, p. 682 – 694, 1983.
- YOSHIDA, S. The physiology of silicon in rice. **Technical Bulletin Asian and Pacific Council (ASPAC)**, n. 25, p.27, 1975.

APÊNDICE

Tabela 1A. Quadro de análise de variância para as variáveis de peso de frutos (PF), altura de plantas (AP), comprimento de raiz (CR), diâmetro de caule (DC) e peso seco das folhas (PSF) em função dos tratamentos: gesso, doses 4,4 e 8,8 g Si/vaso e controle.

Causa de Variação	de GL	Quadrado médio				
		PF	AP	CR	DC	PSF
Tratamentos	3	31681,55 ^{NS}	881,40 ^{NS}	60,50 ^{NS}	1,83 ^{NS}	0,79 ^{NS}
Resíduo	12	17824,56	304,35	125,79	0,71	0,25
Total	15					

NS – não significativo

Tabela 2A. Quadro de análise de variância para as variáveis teor de silício na folha (TF), teor de silício no caule (TC), na raiz (TR), teor de silício total (TT), teor residual no solo (TRS) e teor de cálcio nas folhas (TCF).

Causa de Variação	GL	Quadrado médio					
		TF	TC	TR	TT	TRS	TCF
Tratamentos	3	0,86 ^{NS}	0,66 *	0,77 ^{NS}	0,58 ^{NS}	27138,90 **	58,33 ^{NS}
Resíduo	12	1,005	0,17	0,46	1,55	136,90	39,19
Total	15						

NS – não significativo; * - Significativo a 5% e ** - Significativo a 1%

Tabela 3A. Quadro de análise de variância das características químicas: pH em água (pH), teor de cálcio no solo (Ca), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e CTC (T).

Causa de Variação	de GL	Quadrado médio				
		PH	Ca	SB	V	T
Tratamentos	3	2,72 **	0,61 **	0,83 **	348,23 **	0,19 **
Resíduo	12	0,21	0,12	0,11	4,23	0,12
Total	15					

** - Significativo a 1%