

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

**ESTRESSE HÍDRICO E ADUBAÇÃO SILICATADA
EM BATATA (*Solanum tuberosum* L.) cv. BINTJE**

ADRIANO LUÍS PULZ

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

BOTUCATU - SP

janeiro – 2007

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

**ESTRESSE HÍDRICO E ADUBAÇÃO SILICATADA
EM BATATA (*Solanum tuberosum* L.) cv. BINTJE**

ADRIANO LUÍS PULZ

Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

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

BOTUCATU - SP

Janeiro – 2007

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

P983e Pulz, Adriano Luís, 1979-
Estresse hídrico e adubação silicatada em batata (*Solanum tuberosum* L.) cv. bintje/ Adriano Luís Pulz. - Botucatu : [s.n.], 2007.
ix, 56 f. : il. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007
Orientador: Leandro Borges Lemos
Co-orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Inclui bibliografia

1. Batata. 2. Silício. 3. Plantas - Nutrição. 4. Tubérculo - Produção. 5. Estresse hídrico. I. Lemos, Leandro Borges. II. Crusciol, Carlos Alexnadre Costa. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

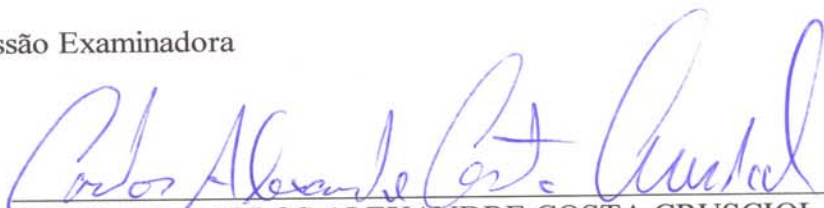
**TÍTULO: “ESTRESSE HÍDRICO E ADUBAÇÃO SILICATADA EM BATATA
CV. BINTJE”**

ALUNO: ADRIANO LUÍS PULZ

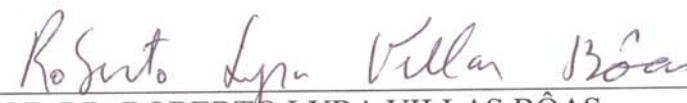
ORIENTADOR: PROF. DR. LEANDRO BORGES LEMOS

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

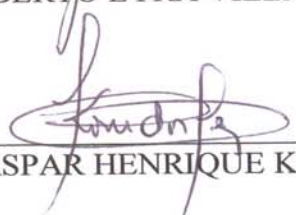
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS



PROF. DR. GASPAR HENRIQUE KORNDORFER

Data da Realização: 31 de janeiro de 2007.

DEDICO A MEUS PAIS
CLAUDIONOR E MEIRE
E AVÓS
EUCLIDES E MADALENA
RAMONA(*IN MEMORIAN*) E ARY

AGRADECIMENTOS

- A DEUS pela beleza existente em todas as coisas, por minha vida, família e proteção.
- À minha família por sempre iluminarem meus caminhos, pelo amor, apoio e compreensão.
- À Maria Fernanda, por fortalecer-me a cada dia, com amor, carinho e esperança; por tornar possível a realização de meus sonhos.
- Aos amigos de república, pela convivência rica em experiências inesquecíveis.
- Ao Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, pela orientação, confiança e ensinamentos.
- Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, entusiasta que contagia e ilumina a todos em sua volta, minha gratidão pela amizade, co-orientação e ensinamentos de imensa preciosidade.
- A Prof.(a) Dra. Guiseppina Pace Pereira Lima, pela orientação e auxílio imprescindíveis para realização do presente trabalho.
- A Universidade Estadual Paulista e ao curso de pós-graduação
- À CNPQ pela concessão da bolsa
- Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal- Setor Agricultura pelo auxílio na realização deste trabalho.
- A todos que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho, minha eterna gratidão

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	8
4.1. Calagem na cultura da batata.....	8
4.2. Estresse hídrico na cultura da batata.....	9
4.3. Silício no solo	11
4.4. Silício nas plantas.....	14
4.5. Alterações metabólicas em plantas submetidas a estresse hídrico.....	16
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
5.1. Localização.....	20
5.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	20
5.3. Instalação e condução do experimento.....	20
5.4. Avaliações.....	25
5.4.1. Diagnose foliar	25
5.4.2. Variáveis bioquímicas.....	25
5.4.2.1. Determinação do conteúdo de açúcares solúveis totais.....	25
5.4.2.2. Determinação do conteúdo de proteínas solúveis totais.....	25
5.4.2.3 Determinação do teor de prolina.....	26
5.4.3. Características agronômicas.....	26
5.4.3.1. Altura de plantas (cm).....	26
5.4.3.2. Numero de hastes por planta.	26
5.4.3.3. Acamamento.....	26
5.4.3.4. Número e produção de tubérculos comerciais e não comerciais por planta.....	27
5.4.3.5. Produção total de tubérculos por planta.....	27
5.4.3.6. Teor de matéria seca nos tubérculos	27
5.4.4. Teor de silício no solo e na planta.....	27

5.4.5. Análise estatística.....	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6.1. Diagnose foliar	28
6.2. Características bioquímicas.....	32
6.3. Características relacionadas à produção e teor de silício nos tubérculos	35
6.4. Atributos químicos do solo após o cultivo.....	41
7. CONCLUSÕES	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Plantio e instalação dos tensiômetros.....	23
2	Redução no acamamento no dia 03 de novembro (40DAE).....	40
3	Visão geral do experimento no dia 18 de novembro (55DAE).....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Atributos químicos do solo utilizado no experimento.....	21
2	Composição química do silicato de cálcio e magnésio e do calcário utilizados no experimento.....	21
3	Tratamentos fitossanitários e controle de pragas realizados no experimento.....	24
4	Teores foliares de macronutrientes e de silício em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.....	29
5	Teores foliares de micronutrientes em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.....	31
6	Desdobramento das interações (AxC) da análise de variância referente aos teores foliares de silício e de manganês.....	32
7	Teores de açúcares solúveis totais, proteínas solúveis totais e prolina em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.....	33
8	Desdobramento das interações (AxC) da análise de variância referente aos teores de açúcares solúveis totais, proteínas solúveis totais e prolina.....	34
9	Altura de plantas, número de hastes e acamamento em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.....	36
10	Número e produção comercial e não comercial de tubérculos, produção total de tubérculos e teores de matéria seca e de Si nos tubérculos em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.....	37
11	Desdobramento das interações (A x C) da análise de variância referente à altura de plantas, acamamento das hastes, produção de tubérculos comerciais , produção total de tubérculos e teor de Si nos tubérculos.....	38

12	Atributos químicos do solo após o cultivo.....	42
13	Desdobramento das interações (AxC) da análise de variância referente aos teores de silício no solo após o cultivo.....	43

1 RESUMO

O presente trabalho de pesquisa teve por objetivo avaliar a influência da aplicação de silício na nutrição, tolerância ao déficit hídrico e nas características relacionadas à produtividade da cultura da batata (*Solanum Tuberosum* L.) cv Bintje. Os tratamentos foram constituídos da combinação da presença e ausência de aplicação de silício (0 e 283 kg ha⁻¹ de Si), por meio da correção do solo com calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio, e presença e ausência de déficit hídrico (-0,020MPa e -0,050MPa de tensão de água no solo, respectivamente). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, num arranjo fatorial de 2x2, com oito repetições. Cada parcela experimental foi constituída de uma planta de batata cultivada em vaso com 50 litros de solo. O controle da irrigação foi realizado com auxílio de tensiômetros de mercúrio. A presença de maiores quantidades de silício solúvel no solo promoveu uma maior absorção de fósforo pelas plantas e aumento do teor de silício nas folhas e tubérculos. O fornecimento de silício na dose de 283 kg ha⁻¹, mediante a aplicação do corretivo agrosilício como substituto do calcário na cultura da batata, promoveu benefícios à cultura proporcionando redução do acamamento em função de hastes mais eretas, maior altura de plantas, aumento no peso médio dos tubérculos e conseqüente aumento da produção comercial e total. Os teores de prolina aumentaram e os de açúcares solúveis totais diminuíram em função da menor disponibilidade hídrica e da maior disponibilidade de silício no solo. O silício promoveu a desorção de fósforo no solo aumentando a quantidade do elemento disponível para as plantas. O corretivo agrosilício

utilizado como fonte de silício proporcionou os mesmos níveis de correção e de fornecimento de cálcio e magnésio que o calcário, podendo ser utilizado em substituição do mesmo.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*, silício, nutrição mineral, produção de tubérculos, déficit hídrico.

WATER STRESS AND SILICON FERTILIZATION IN POTATO (*Solanum tuberosum* L.)
cv. BINTJE. Botucatu, 2006. 56p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) -
Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
Author: ADRIANO LUIS PULZ
Adviser: LEANDRO BORGES LEMOS
Co-adviser : CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

2 SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the influence of silicon application on potato plant, productivity and resistance to water stress.. The treatments was the presence and absence of silicon combination (0 and 283 kg ha⁻¹ of Si), by liming with calcium carbonate and silicate, and presence and absence of water stress (- 0,020MPa and - 0,050MPa of water tension, respectively). The experimental was a completely randomized design with 2x2 factorial arrangement and 8 replications. Each experimental plot was consisted of a cultivar Bintje potato plant (*Solanum tuberosum*) planted in a 50-liter lot. Mercury tensiometers were used for the irrigation control. The presence of higher soluble silicon in the soil increase phosphorus uptake in plants and increase the content of silicon in leaves and tubers. The silicon application of 283 kg ha⁻¹ using silicate provide benefits to the potato crop improving plant architecture by erect stems, increase on plant height, increase tubers weight average and commercial and total yield. The prolina content had increased and the total soluble sugars decresed with the water stress and higher silicon content in the soil. The silicon fertilization provided increase available phosphorus in the soil and uptake by the

plants. The agrosilício material could be use as lime because it has the equability to increase Ca and Mg and have approximately same effect on soil pH and base saturation.

Keywords *Solanum tuberosum*, silicon, mineral nutrition, tuber yield, water deficit.

3 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum Tuberosum* L.) é a quarta cultura na ordem de importância mundial, sendo cultivada em mais de 125 países e consumida por mais de um bilhão de pessoas. A produção mundial de batata é de 300 milhões de toneladas em uma área de 20 milhões de hectares, com produtividade média de 15 toneladas por hectare (PEREIRA & DANIELS, 2003). Sua eficiência produtiva garante um maior aproveitamento de áreas destinadas à produção de alimentos, característica que mostra a tendência do crescimento da cultura num cenário mundial de constante crescimento populacional.

A produção de batata no Brasil, em 2006, alcançou 2,8 milhões de toneladas em 140,8 mil hectares, com produtividade média de $20,9 \text{ t ha}^{-1}$, sendo os principais estados produtores, Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, apresentando produtividades de 26, 25, 22, 14 e 12 t ha^{-1} , respectivamente (IBGE, 2006). No Estado de São Paulo além do município de Vargem Grande do Sul, destaca-se a região Sudoeste, representada pelo pólo de Itapetininga, que cultiva aproximadamente 7.000 hectares de batata, atingindo na safra “de inverno” produtividade média de 30 t ha^{-1} (CEPEA, 2004).

De forma geral, na agricultura nos últimos anos ocorreram ganhos expressivos em produtividade graças ao aumento do uso de tecnologias adequadas. Especificamente na cultura da batata, esse ganho em produtividade se deve ao uso de cultivares adaptadas ao local ou região de plantio e a adoção de corretivos e fertilizantes adequadamente, além do controle correto de pragas e doenças e o fortalecimento de toda cadeia produtiva.

Uma tecnologia que pode ser promissora para a cultura da batata é a utilização de adubação silicatada. A adubação silicatada não é amplamente utilizada na agricultura brasileira, contrariamente ao que se nota em outros países, como no Japão. Isto, possivelmente, deve-se aos poucos dados experimentais obtidos no Brasil, em comparação a outros países (PRADO, 2000).

Em plantas de arroz o Si promove maior resistência à infecção de fitopatógenos, retarda a senescência das folhas, melhora a arquitetura e a taxa fotossintética das plantas, reduz a transpiração e aumenta a tolerância ao déficit hídrico.

A batata é uma cultura exigente em água e mais sensível ao estresse hídrico, comparada com outras culturas, pois possui um sistema radicular superficial e seu cultivo é freqüentemente realizado em solos de baixa a média capacidade de retenção de água.

A melhoria da arquitetura da planta na cultura da batata pode possibilitar o adensamento promovendo incrementos na produtividade, como também pode evitar que as hastes toquem o solo e aumentar a aeração na cultura, diminuindo o potencial de ocorrência de problemas fitossanitários.

Os efeitos benéficos da aplicação de silicatos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) estão, normalmente, associados ao aumento na disponibilidade do silício (Si) no solo, à elevação do pH e dos teores Ca e Mg trocáveis no solo. Os silicatos podem, também, atuar nas reduções de toxicidade do ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al) para as plantas, além de aumentar a disponibilidade de fósforo (P) no solo com maior eficiência em relação ao calcário, pois o Si é um ânion competidor com o fosfato pelos sítios de adsorção.

Constata-se na literatura que a grande maioria dos estudos relacionados à viabilidade de utilização de Si na nutrição de plantas foram realizados com gramíneas, notadamente arroz e cana-de-açúcar, sendo incipientes os trabalhos com outras culturas como feijão, soja e batata.

A busca por técnicas que propiciem maiores produtividades e melhor qualidade do produto, com baixo custo, é imprescindível para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Assim, o conhecimento da viabilidade da utilização de Si e seus efeitos na cultura da batata passam a ser interessante, face aos benefícios que esse elemento tem proporcionado a outras culturas. Os benefícios proporcionados pelo fornecimento de Si podem constituir um

grande salto no sistema produtivo da batata, principalmente em relação à tolerância ao déficit hídrico e aumento na produtividade.

O presente trabalho de pesquisa teve por objetivo avaliar a influência da aplicação de silício na nutrição, tolerância ao déficit hídrico e nas características relacionadas à produtividade da cultura da batata (*Solanum Tuberosum* L.) cv Bintje.

4 REVISÃO LITERATURA

4.1 Calagem na cultura da batata

A disponibilidade de nutrientes no solo e sua metabolização nos tecidos vegetais são afetados pelo pH ou reação do solo. A reação do solo é de grande importância para o adequado desenvolvimento da batateira, por ser esta uma cultura de ciclo relativamente curto e extratora de grande quantidade de nutrientes do solo.

A prática da calagem beneficia tanto qualitativa quanto quantitativamente a produção de tubérculos, fornecendo Ca e Mg e aumentando a disponibilidade de nutrientes no solo, melhorando a eficiência da adubação (FONTES, 1999).

A recomendação de calagem no Estado de São Paulo para a cultura da batata visa elevar a saturação por bases a 60% e o teor de magnésio ao mínimo de 8 mmol_c dm⁻³, para cultivares mais exigentes em cálcio recomenda-se complementação com fontes solúveis.

Dos benefícios da calagem para cultura da batata destaca-se principalmente o fornecimento de Ca, pois o teor de cálcio no solo está direta e positivamente relacionado à produtividade e qualidade dos tubérculos. Miranda Filho et al. (1990) testaram os efeitos de diferentes fontes de Ca (calcário e gesso) na produção e qualidade dos tubérculos e na incidência de podridões, utilizando as cultivares Aracy e Itararé. Concluíram que não

ocorreram diferenças entre as fontes, porém o Ca beneficiou significativamente a produção de matéria seca e a qualidade comercial dos tubérculos das duas cultivares.

O aumento nas doses de Ca no cultivo da batata leva a diminuição do número e ao aumento do peso médio dos tubérculos (KLEINHENZ & PALTA, 1996); (PAIVA et al., 1997). Quaggio et al. (1985) verificaram que o Ca é de grande importância para o crescimento de tubérculos de batata e que a calagem aumentou cerca de 30% a porcentagem de tubérculos graúdos.

A estrutura celular dos tubérculos de batata é importante para a conservação e qualidades culinárias. Na ausência de Ca a lamela média se dissolve e as paredes celulares são separadas umas das outras, promovendo desorganização celular e deixando os tubérculos mais susceptíveis a danos mecânicos e infecções por patógenos (VENTER & VILLIERS, 1993).

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo da acidez do solo é o calcário. Todavia, a utilização de alguns resíduos siderúrgicos para a mesma finalidade tem-se mostrado como alternativa viável para o aproveitamento de parte desses resíduos (AMARAL et al., 1994), que além de fornecerem Si, se comportam de maneira muito semelhante ao calcário em relação ao fornecimento de Ca e Mg.

4.2 Estresse hídrico na cultura da batata

Sistemas produtivos agrícolas estão sujeitos a diversos fatores que podem causar perdas econômicas em decorrência da redução da produção. O déficit hídrico é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultivadas (NOGUEIRA et al., 2001) e pode provocar grandes reduções na produção, dependendo do momento de ocorrência, período de duração e da cultura de exploração.

Dentre as espécies vegetais cultivadas pelo homem, a batata é uma das mais sensíveis ao déficit hídrico (SINGH, 1969). A disponibilidade da água no solo é um dos fatores ambientais que mais afetam o desenvolvimento da cultura da batata. O crescimento e o rendimento são consideravelmente afetados pelo estresse hídrico (Doorenbos & Kassam, 1979; Loon, 1981; Miller & Martin, 1987; Jana et al., 1989).

O ciclo da cultura da batata pode ser dividido em quatro estádios de desenvolvimento: inicial (do plantio à emergência), desenvolvimento vegetativo (da

emergência ao início da tuberização), tuberização (formação e crescimento dos tubérculos) e senescência (maturação dos tubérculos). Para obtenção de altas produtividades uma alta disponibilidade de água no solo é exigida pela cultura. O suprimento de água deve ser elevado nos estádios de desenvolvimento vegetativo e tuberização, que compreendem a maior parte do ciclo. Nos estádios inicial e senescência o suprimento de água deve ser menor em função da pouca exigência hídrica da planta e da redução de complicações de ordem fitossanitária, muito favorecidas pela alta disponibilidade de água no solo nestes períodos, como também o excesso de água no solo em qualquer período pode ser prejudicial em relação a fitossanidade da cultura.

A ocorrência de déficit hídrico no estágio de crescimento vegetativo causa redução no número de tubérculos, enquanto que ocorrência no estágio de tuberização é mais acentuada a redução no tamanho dos mesmos (HARRIS, 1978). O momento de ocorrência e a duração do déficit hídrico estão relacionados com a magnitude da redução na produtividade e na qualidade da produção. Déficit hídricos, mesmo em baixa intensidade, podem prejudicar significativamente a produção dependendo do momento em que ocorrem. Segóvia et al. (1972), Dar & Rosário (1981) e Sood (1986), citados por Bezerra et al. (1998), observaram diminuição no número e peso de tubérculos em plantas de batata submetidas a déficit hídrico, sendo esse efeito acentuado quando o déficit foi induzido no estágio de tuberização.

O sistema radicular superficial da planta de batata é um fator agravante da sensibilidade ao déficit hídrico, pois aumenta a probabilidade de ocorrência deste evento, visto que, dependendo das condições climáticas, a camada mais superficial do solo pode perder água rapidamente. A irrigação é comumente empregada em lavouras tecnificadas para viabilizar a obtenção de elevados níveis produtivos, e são muitos os relatos na literatura sobre ganhos na produtividade em função do uso desta técnica, tais como: Wright & Stark (1990), Pereira (1991), Shock et al (1992), Ekanayake (1994) e Frank et al (1994). Portanto, é evidente a sensibilidade da cultura a baixos teores de água no solo e a relação entre esta disponibilidade e produtividade.

Em relação à tensão de água no solo, Epstein & Grant (1973) obtiveram maiores produtividades mantendo esta entre -0,020 e -0,030MPa. Após ampla revisão de literatura, Loon (1981) concluiu que a tensão ideal para a cultura da batata situa-se

entre -0,020 e -0,060MPa. Millar (1984) e Marouelli & Carrijo (1987) relatam que a irrigação na cultura da batata, para maximização da produtividade, deve ser realizada quando os valores de tensão de água no solo estiverem entre -0,030 e -0,050MPa, entretanto Zaag (1982) e Ekanayake (1994) sugerem que os valores de tensão de água no solo, nos quais se deve realizar irrigação, estão entre -0,030 e -0,040MPa.

No presente trabalho serão adotados os valores de tensão sugeridos em comunicado técnico da Embrapa Hortaliças pelos autores Oliveira e Valadão (1997), sendo estes de -0,020MPa, considerado o correspondente a uma condição hídrica adequada, e -0,050MPa, tensão que provocaria, segundo os autores, declínio na produtividade em função da ocorrência de déficit hídrico.

Não existe na literatura evidência de relação entre o fornecimento de silício e tolerância ao estresse hídrico na cultura da batata. Entretanto o fornecimento de Si às culturas tem apresentados aspectos positivos em relação à resistência das plantas, observados em várias espécies vegetais, principalmente quando estas estão submetidas a estresse biótico ou abiótico (SCHIMIDT et al. 1999; FARIA, 2000, TRENHOLM et al, 1999; MA et al, 2001).

Liang et al (2003) e Zhu et al (2004) sugeriram que o silício pode estar envolvido em funções metabólicas em plantas superiores submetidas a estresse hídrico. Gong et al (2005) observaram que os benefícios proporcionados pelo silício em plantas de trigo submetidas a estresse hídrico, estão relacionados com a diminuição dos danos causados por processos oxidativos. Assim na cultura da batata é importante conhecer a influência deste elemento, pois uma maior resistência natural da planta ao déficit hídrico pode manter maiores níveis de produtividade, principalmente em relação à ocorrência deste evento em baixa intensidade.

4.3 Silício no solo

O Si é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, estando logo após o oxigênio, sendo o óxido de Si (SiO_2) o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais. Em solos tropicais, em razão do avançado grau de intemperização, o Si é encontrado basicamente na forma de opala e

quartzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) sendo estas formas não disponíveis às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Na solução do solo encontra-se como ácido monossilícico, estando a maior parte na forma não dissociada, a qual é prontamente absorvida pelas plantas (RAVEN, 1983).

As principais fontes de ácido silícico presente na solução do solo são: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados, e a água de irrigação. Os principais drenos incluem a precipitação do Si em solução, formando minerais, a polimerização do ácido silícico, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1983)

Para Snyder (1991), solos que apresentam teores de Si menores que 10 mg dm^{-3} devem receber adubação silicatada, enquanto os solos com teores iguais ou maiores que 15 mg dm^{-3} não necessitariam de adubação silicatada. Korndörfer et al. (1999) conduziram 28 experimentos de campo no período de 1992 a 1996 com a cultura do arroz e sugeriram os níveis de Si no solo como baixo, menor que 6 mg dm^{-3} , médio entre 6 a 24 mg dm^{-3} , e alto acima de 24 mg dm^{-3} .

Regiões que apresentam altos índices pluviométricos e intensa intemperização apresentam baixos teores de Si no solo (TISDALE et al., 1993). Os óxidos de Fe e alumínio são os principais responsáveis pela adsorção do Si em solução (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Savant et al. (1997b) atribuíram a queda da produtividade do arroz em várias regiões do mundo a uma possível diminuição do teor de Si no solo. Savant et al. (1997a) relacionaram três fatores que podem estar envolvidos nesse fenômeno: a) muitos solos de áreas produtoras de arroz de regiões tropicais e sub-tropicais apresentam graus variados de dessilificação; b) a cinética de dissolução do Si no solo é muito baixa; c) o Si da solução do solo é adsorvido por sesquióxidos que estão presentes em muitos solos tropicais.

Raij & Camargo (1973) encontraram valores variando de 1 a 43 mg dm^{-3} de Si em solos do Estado de São Paulo utilizando cloreto de Ca como extrator, sendo os maiores valores presentes nos Podzólicos argilosos e os menores nos Latossolos fase arenosa.

Uma grande variedade de materiais tem sido utilizada como fonte de Si para as plantas, como escórias de siderurgia, wollastonita, sub-produtos da produção de P elementar em fornos elétricos, metalissicato de Ca, metassilicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de Mg (serpentinóis) e silicato de Ca.

As escórias básicas de siderurgia podem ser utilizadas como corretivo do solo e fonte de Si e outros nutrientes. São constituídas principalmente de silicatos de Ca e Mg, podendo conter impurezas como P, S, Fe, Zn, Cu, B, Mo, Co e outros. Os silicatos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo e são capazes de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos (ALCARDE, 1992). Em seu estado original, a escória é um material de composição química e granulometria bastante variável, em função do tipo de processo, do minério de Fe e do sistema de forno utilizado.

O Si interage com o Al diminuindo seu efeito tóxico através da diminuição da sua absorção pelas plantas. Alguns autores afirmam que a atenuação da toxidez de Al, induzida pelo Si, pode ser devido ao aumento do pH, e não a um efeito direto do Si em solução (GALVES et al., 1987). No entanto, vários trabalhos demonstram que o Si solúvel pode formar compostos inertes com o Al na solução do solo. Baylis et al., (1994) observaram que os efeitos benéficos do Si foram independentes dos efeitos do metassilicato de sódio sobre o pH. Outros trabalhos dão suporte à hipótese de que a interação Si-Al no tecido vegetal tem um papel significativo na diminuição da toxicidade do Al (HODSON & WILKINS, 1991; HODSON & SANGSTER, 1993; CORRALES et al., 1997).

Prado & Fernandes (1999) estudaram o efeito da escória de siderurgia comparado ao calcário no aumento do P disponível em duas classes de solos ácidos (Areia Quartzosa e Latossolo Vermelho-Escuro) cultivado com cana-de-açúcar. Concluíram para a Areia Quartzosa a escória foi superior em relação ao calcário na ordem de 27%. Para o Latossolo Vermelho-Escuro a escória de siderurgia foi semelhante ao calcário no incremento do P disponível apenas com a metade da dose equivalente a CaCO_3 .

Estudando diferentes fontes de P na cultura da batata, Maciel (1983) observou que na dose de 100kg ha^{-1} de termofosfato a produção foi de $44,3\text{ t ha}^{-1}$, enquanto superfosfato simples e fosfato natural, na mesma dose, resultaram em $33,8$ e $16,0\text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. A superioridade do termofosfato em relação ao superfosfato simples pode estar relacionada com a fixação do P no solo, sendo esta maior para o superfosfato simples.

Uma das formas de aumentar a eficiência da fertilização fosfatada segundo Fassbender (1987) seria na utilização de ânions competidores com fosfatos pelos sítios de adsorção. O Si pode exercer esta função melhorando o aproveitamento do P no solo.

4.4 Silício nas plantas

A absorção do Si da solução do solo pelas plantas ocorre quando este se encontra na forma de ácido silícico H_4SiO_4 (TISDALE et al., 1993). Em plantas de arroz esse processo parece ser ativo, enquanto que para outras espécies como trigo, girassol e soja, esse mecanismo parece ser passivo (VORN, 1980). Segundo Deren et al. (1994) as plantas diferem bastante quanto à capacidade de absorver Si.

Savant et al. (1997b) afirmam que após o Si ser absorvido pelas plantas e a água ser perdida pela transpiração, este fica depositado no tecido da epiderme das folhas das plantas de arroz.

O transporte do Si é feito pelo xilema e sua distribuição depende das taxas de transpiração dos diferentes órgãos da planta. O elemento é imóvel na planta e em plantas de arroz é depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes (YOSHIDA et al., 1962), sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar (TANAKA & PARK 1966).

O Si acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca das mesmas. Não é considerado parte do grupo de nutrientes essenciais ou funcionais do ponto de vista fisiológico para o crescimento e desenvolvimento das plantas, porque a sua função ainda não foi bem esclarecida (EPSTEIN, 1999).

A não identificação de uma única molécula orgânica que contenha ou exija Si ou ligações conhecidas na natureza de Si-O-C ou Si-C torna difícil a comprovação de essencialidade desse elemento para as plantas (EXLEY, 1998).

Segundo Yoshida et al. (1959), a maior absorção do Si proporciona uma proteção mecânica da epiderme capaz de reduzir a infecção de fitopatógenos e aumenta a resistência à seca. A redução da transpiração pode chegar até 30% em plantas de arroz tratadas com Si. Horiguchi (1988) e Agarie et al. (1998) encontraram menor taxa de transpiração em plantas de arroz que cresceram em meio que havia Si.

Para Yoshida et al. (1962) o Si acumulado nas lâminas foliares provavelmente forma uma dupla camada de sílica-celulose, conferindo resistência à penetração de hifas, diminuição da permeabilidade ao vapor de água limitando a perda de água através da cutícula.

O Si depositado na epiderme das folhas de arroz está diretamente relacionado à resistência das plantas às doenças fúngicas, cujo mecanismo de resistência mais aceito é de natureza mecânica (BARBOSA FILHO et al., 2001). Segundo Agarie et al. (1998), o Si estaria também envolvido na biossíntese dos componentes da parede celular, devido às folhas das plantas de arroz tratadas com Si apresentarem níveis mais altos de polissacarídeos do que as folhas das plantas não tratadas com Si.

Outra hipótese relacionada com o controle de doenças seria a formação de fenóis favorecida pela absorção de Si. Compostos fenólicos e Si acumulam-se nos sítios de infecção, cuja causa ainda não está esclarecida. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 1991).

O uso de Si na cultura do arroz tem promovido melhora na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994), o que pode ser atribuído a uma menor abertura do ângulo foliar, deixando as folhas mais eretas e diminuindo o auto-sombreamento (YOSHIDA et al., 1969; BALASTRA et al., 1989), porém o Si exerce pouca influência no acúmulo de matéria seca (TANAKA & PARK, 1966; LIANG et al., 1994; CARVALHO, 2000).

Mauad et al. (2003) estudaram os efeitos da adubação nitrogenada e silicatada na cultivar de arroz IAC 201, observaram efeito do Si no aumento da massa de 100 grãos e redução no número de espiguetas chochas na maior dose de N com o incremento da adubação silicatada, o que segundo os autores pode estar relacionado à melhoria da arquitetura da planta.

Takatsuka et al. (2001) relacionaram a baixa porcentagem de espiguetas granadas aos baixos teores de Si na planta. Segundo Ma (2004), o número de

espiguetas granadas é o componente da produção mais influenciado pelo Si, tanto em plantas de arroz quanto em cevada.

Carvalho (2000) não encontrou diferença estatística nos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, em função das diferentes fontes e doses de Si na cultura do arroz IAC 202, em condições de campo.

Na cultura da soja, Grothge-Lima (1998) estudou o acúmulo de Si no cultivar Garimpo Comum. Observou que em plantas com cerca de 40 dias após a germinação, as folhas e hastes acumularam Si até os limites de 4500 e 650 mg kg⁻¹, respectivamente. Em contrapartida as raízes acumularam quantidades proporcionalmente crescentes de Si, conforme se aumentou a disponibilidade do elemento no meio. A partir da adição de 30 mg kg⁻¹ de Si a taxa de acumulação no órgão subterrâneo foi superior a dos demais órgãos da planta. Este mecanismo de acumulação radicular contribui para a manutenção dos níveis elevados de Si na parte aérea.

Segundo Datnoff et al. (2001), o fornecimento de Si promoveu incrementos na produção em cana-de-açúcar da ordem de 11 a 16%, na cana planta e de 11 a 20% na cana soca.

Carneiro et al. (2003) avaliaram a redução da severidade da requeima (*Phytophthora infestans*) e os pesos úmido e seco da parte aérea e dos tubérculos, em batata utilizando a cultivar Atlantic, em função de doses de argila silicatada (3, 5 e 7kg/1000L de água) aplicadas via foliar em pulverizações semanais. Concluíram que todos os tratamentos com argila silicatada reduziram a severidade da requeima em até 50% em relação à testemunha, e que os pesos úmido e seco dos tubérculos não foram influenciados.

Pelo exposto, constata-se que a grande maioria dos estudos relacionados à viabilidade de utilização de Si na nutrição de plantas foram realizados com gramíneas, notadamente o arroz, sendo incipientes os trabalhos com outras culturas como feijão, soja e batata.

4.5 Alterações metabólicas em plantas submetidas a estresse hídrico

A tolerância das plantas a condições desfavoráveis, principalmente em relação ao déficit hídrico, tem sido associada ao acúmulo de prolina, o que pode representar um mecanismo regulador de perda de água mediante a redução do potencial hídrico celular (FUMIS et al., 2002), como também ser um marcador bioquímico de alterações metabólicas geradas por diferentes tipos de estresse (Lima et al., 2004).

A redução do potencial hídrico pelo aumento de solutos intracelulares pode atuar como um mecanismo adaptativo ao estresse hídrico, sendo observado em muitas espécies vegetais (HSIAO et al., 1984). Nesse processo, chamado de ajustamento osmótico, plantas superiores acumulam ativamente açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol (BRAY, 1993), o que promove a redução no potencial hídrico da folha mantendo a pressão de turgor das células em níveis próximos ao adequado (CUTLER et al., 1980), protegendo assim as células do estresse hídrico.

O ajustamento osmótico é considerado um dos mecanismos mais eficazes para manutenção da turgescência celular, permitindo principalmente a manutenção da abertura estomática e fotossíntese sob condições de baixo potencial hídrico no solo (FUNKHOUSER ET AL., 1994; KRAMER 1974).

Dos solutos orgânicos acumulados no citoplasma em decorrência do estresse hídrico podem ser destacados a prolina (DINGHUHN et al., 1991; CHEN & KAO, 1993; KUZNETSOV et al., 1997; FUMIS et al., 2002) as hexoses, a sacarose e outros compostos nitrogenados (AZIZE et al., 1997), além de íons como K.

Os carboidratos, como as hexoses e a sacarose, parecem contribuir no ajustamento osmótico nas plantas. Alterações nos níveis de carboidratos podem ser resultado de um mecanismo da planta para regular a perda de água em resposta ao acúmulo de sais no citoplasma (GREENWAY & MUNNS, 1980; LIMA et al., 1998).

A prolina é um aminoácido sintetizado a partir do glutamato e da arginina sob condições fisiológicas normais, sendo o glutamato o caminho preferencial sob condições de estresse hídrico (CHEN & KAO, 1993). Esse aminoácido teria a função de proteger as células dos processos de desnaturação sob condições de estresse hídrico e salino, devido à alta solubilidade em água (SHEVYAKOVA, 1984). A prolina é acumulada no citoplasma (LEIGH et al., 1981) ocorrendo em folhas, colmos e raízes, sendo a capacidade

de acúmulo e a concentração do aminoácido decrescentes com a idade da folha (SAWAZAKI et al., 1981 b).

Lopes & Arieta-Maza (1991) observaram maior acúmulo de prolina no estágio de floração do que no vegetativo em plantas de feijão, constataram também maior teor no cultivar tolerante em relação a suscetível, quando submetidos à diminuição do potencial hídrico.

Sasilaka & Prasad (1994) estudando dez cultivares de batata cultivados sob estresse salino *in vitro*, observaram que os teores de carboidratos mostraram-se menores em algumas cultivares e maiores em outras em relação ao controle e que os teores de prolina nas plantas aumentaram para todas as cultivares estudadas em função da maior salinidade do meio.

Martinez et al. (1992), estudando duas variedades peruanas de batata durante 10 dias de estresse, constataram que a variedade mais tolerante havia acumulado mais que o dobro de prolina ($40 \text{ mg g}^{-1} \text{ M.S}$) quando comparada a mais sensível ($18 \text{ mg g}^{-1} \text{ M.S}$).

Dingkuhn et al., (1991) observaram menores teores de prolina em cultivares de arroz do ecossistema de terras altas em relação às de ecossistema de várzea em função do déficit hídrico, verificando também que algumas cultivares do ecossistema de terras altas apresentavam baixos teores de prolina mesmo sob condições de estresse hídrico.

Lima et al. (2004) estudando os efeitos do estresse salino e teor de prolina nas cultivares de arroz Bojuru e Formosa, mais tolerantes à salinidade, e Agrisul, mais sensível, notaram que a cultivar Agrisul apresentou maior teor de prolina.

A quantidade de prolina pode variar em função de diversos fatores, diferenças no conteúdo de prolina em função de cultivares, período e duração do estresse foram observados em arroz (DINGKUN et al., 1991; LIMA, et al., 2004), trigo (FUMIS, 1996) feijão (SAWAZAKI et al., 1981; LOPES & ARIETA-MAZA, 1991; ROSSI et al., 1997; GUIMARÃES, 2001).

Existem na literatura contradições em relação à função do acúmulo de prolina em plantas submetidas a estresse, alguns autores afirmam que a prolina teria funções ligadas a processos de adaptação ao déficit hídrico (SINGH et al., 1973), contudo outros apontam a prolina como indicador de estresse (BECKER & FOCK, 1986). Apesar de não haver claras evidências de maior acúmulo de prolina em espécies tolerantes que em espécies

sensíveis (GREENWAY e MUNNS, 1980), em alguns casos este mecanismo parece fazer parte do processo de proteção contra o estresse hídrico.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista/UNESP, Campus de Botucatu, apresentado como coordenadas geográficas 22° 51' latitude S 48° 26' Longitude W Grw e altitude de 815 m.

O clima de Botucatu é classificado como Cwa, segundo a classificação internacional de Koppen (CUNHA et al., 1999), que significa clima temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 17°C e do mês mais quente superior a 23°C.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, num arranjo fatorial de 2x2, com oito repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação da presença e ausência de aplicação de silício (0 e 283 kg ha⁻¹ de Si), por meio da correção do solo com calcário dolomítico e agrosilício, e presença e ausência de déficit hídrico (-0,020MPa e -0,050MPa de tensão de água no solo, respectivamente).

5.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado no dia 5 de agosto de 2005 em parcelas experimentais constituídas de vasos com 50 litros de solo. O solo utilizado, Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999) de textura média, foi analisado para fins de fertilidade (Tabela 1), segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001).

Tabela 1 – Atributos químicos do solo utilizado no experimento.

pH	MO	P _{resina}	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H+Al	V
(CaCl ₂)	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	-----	mmol _c dm ⁻³	-----		%
4,3	22	2,1	0,1	6	0,8	53	16

Para estabelecer o tratamento com silício em metade dos vasos foi realizada elevação da saturação por bases a 60% (MIRANDA FILHO, 1997) por meio da aplicação de silicato de Ca e Mg (agrosilício) e a outra metade por meio da aplicação de calcário dolomítico (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição química do Silicato de Ca e Mg (agrosilício) e do Calcário utilizados no experimento.

Corretivos	CaO	MgO	SiO ₂	PRNT
	(%)			
Silicato de Ca e Mg (Agrosilício)	42	12	23	82
Calcário (CAL)	39	13	-	90

A correção do solo foi realizada através de sua homogeneização com a porção granulométrica mais fina dos corretivos, ou seja, partículas menores que 0,3mm não retidas em peneira ABNT N° 50 (BRASIL, 1986), com objetivo de obter total reação destes no solo. No mesmo processo de homogeneização também foram adicionados os fertilizantes superfosfato simples (18% de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O) e FTE BR12 (9% de Zn e 1,8% de B), em doses calculadas para a aplicação de 150 mg kg⁻¹ de P, 150 mg kg⁻¹ de K, 5 mg kg⁻¹ de Zn e 1 mg kg⁻¹ de B, em função de garantir o fornecimento dos nutrientes as plantas em ambiente confinado. Após a aplicação dos corretivos e dos fertilizantes, o solo foi

incubado por 40 dias. Durante esse período os vasos permaneceram cobertos a fim manter a umidade próxima a capacidade de campo para garantir a reação dos corretivos.

O plantio dos tubérculos semente (cv. Bintje) foi realizado em 15 de setembro de 2005. Esses tubérculos foram cedidos pelo grupo Ioshida – Estância Lago, localizado no município de Itaí (SP), colhidos no dia 07 /11/2004 e mantidos em temperatura ambiente até entrada em câmara fria (4°C e 80% UR) em 07/12/2004. Nos 15 dias que antecederam o plantio permaneceram à temperatura ambiente sob luz indireta atingindo brotação plena, foram então selecionados quanto ao tamanho (30 a 50 mm de diâmetro) e vigor das brotações, para que houvesse homogeneidade nas parcelas experimentais.

No plantio foi colocado um tubérculo semente por vaso a 15 cm de profundidade em solo úmido e tratado. O tratamento do solo foi realizado de forma preventiva contra pragas de solo, através da aplicação de Carbofurano na dose de 10 Lha⁻¹ 15 dias antes do plantio. A emergência (50 % das plantas emergidas) ocorreu aos 9 DAP e o ciclo teve duração de 87 dias, considerando seu termino quando 80% das plantas apresentavam amarelecimento das hastes.

O fornecimento de N foi parcelado em três aplicações de uma solução contendo 100g L⁻¹ de uréia, realizadas aos 4, 14 e 25 DAE em quantidades de 44, 17,6 e 14mg de N dm⁻³ de solo respectivamente, sendo a ultima aplicação coincidente com a realização da amontoa, totalizando dose equivalente de 150 kg ha⁻¹ de N.

O potencial de água no solo foi controlado por meio de tensiômetros de mercúrio instalados no dia do plantio na profundidade de 15 cm em 50% das unidades experimentais (Figura 1).

Após a emergência das plantas e anteriormente ao estabelecimento dos tratamentos de tensões de água no solo, as irrigações foram realizadas quando a tensão média era de -0,020MPa. Os tratamentos com as tensões de -0,020 e -0,050MPa água no solo foram estabelecidos aos 30 DAE, e mantidos até os 60 DAE, sendo os valores estabelecidos de acordo com as recomendações de Oliveira & Valadão (1997) e por meio da curva da capacidade de retenção de água do solo. Esse segundo parâmetro foi determinado no laboratório de hidráulica, do Departamento de Engenharia Rural, Unesp/Botucatu. A metodologia utilizada foi a de placas de pressão recomendada por Richards (1949) e Topp et al., (1993) na faixa de -0,01; -0,03; -0,07; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa.

As irrigações foram realizadas manualmente e calculadas de modo a elevar os valores de tensão próximos à capacidade de campo para todos os tratamentos, quando as tensões estabelecidas eram atingidas de acordo com média das tensões registradas pelos tensiômetros. As lâminas totais médias aplicadas nos tratamentos foram de 392 e 323 mm, respectivamente, para -0,020 MPa e -0,050 MPa.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizados tratamentos fitossanitários preventivos quando as condições climáticas eram favoráveis à ocorrência de doenças, como também o controle de pragas quando presentes (Tabela 3).

Além das aplicações de defensivos descritas na Tabela 3, foi realizada aplicação de ácido bórico a 0,5% aos 45 DAE para correção de deficiência de boro constatada visualmente pela diminuição no comprimento dos entrenós.

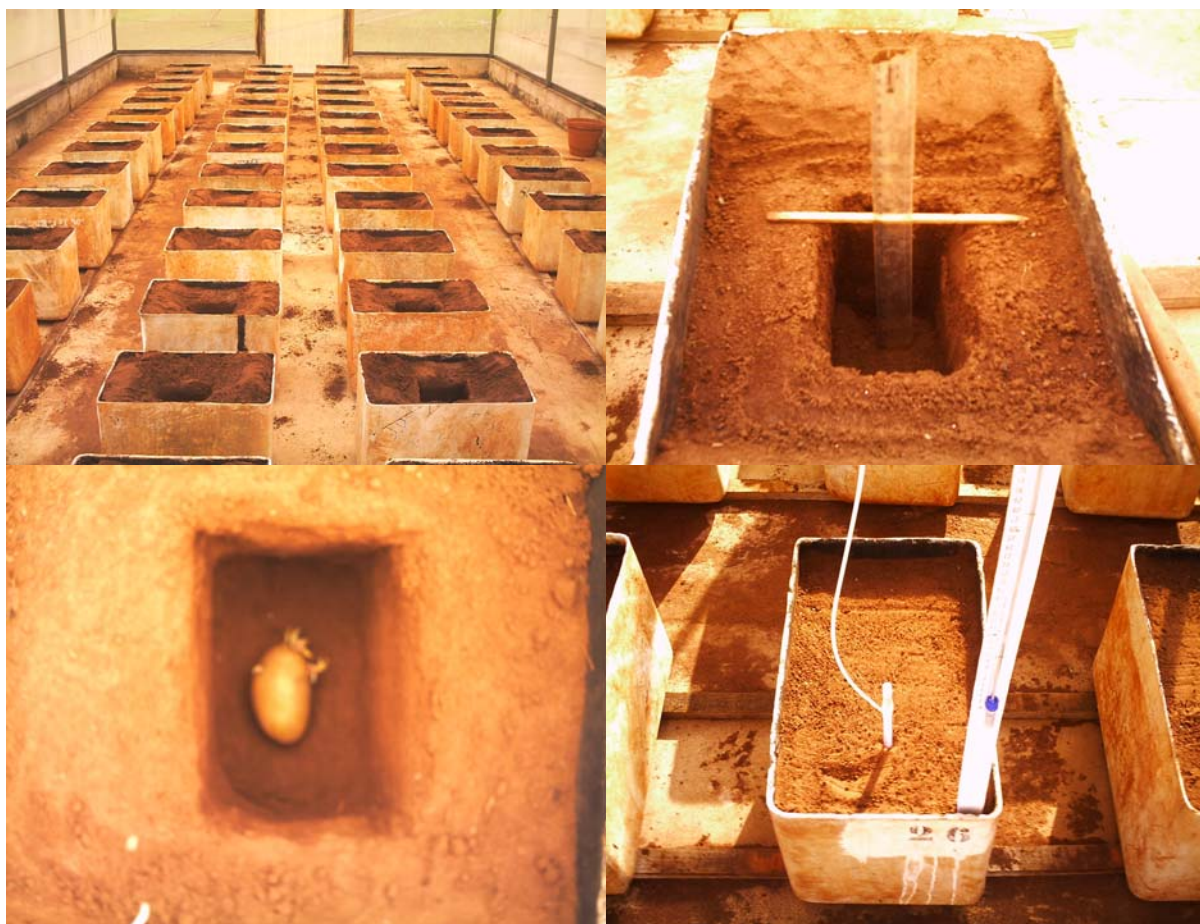


Figura 1. Plantio e instalação dos tensiômetros.

Tabela 3. Tratamentos fitossanitários e controle de pragas realizados no experimento

Data	Nome técnico	Dose	p.c.ha ⁻¹	Praga ou doença
01/out	Azoxystrobin	Amistar	160 g	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>)
	Paration-metílico	Folisuper	0,27 l	Pulgão (<i>Aphis gossypii</i>)
			0,45 l	Vaquinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)
05/out	Cymoxanil+Maneb	Curzate	1,5 kg	Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)
	Clorpirifós	Lorsban	1,5 l	Lagarta rosca (<i>Agrotis ipsilon</i>)
12/out	Azoxystrobin	Amistar	160 g	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>)
	Cymoxanil+Maneb	Curzate	1,5 kg	Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)
21/out	Azoxystrobin	Amistar	160 g	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>)
	Clorpirifós	Lorsban	1,5 l	Lagarta rosca (<i>Agrotis ipsilon</i>)
	Mancozebe	Dithane	3,0 kg	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>) Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)
02/nov	Azoxystrobin	Amistar	160 g	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>)
	Paration-metílico	Folisuper	0,27 l 0,45 l	Pulgão (<i>Aphis gossypii</i>) Vaquinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)
	Mancozebe	Dithane	3,0 kg	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>) Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)
14/nov	Azoxystrobin	Amistar	160 g	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>)
	Clorpirifós	Lorsban	1,5 l	Lagarta rosca (<i>Agrotis ipsilon</i>)
	Mancozebe	Dithane	3,0 kg	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>) Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)
19/nov	Paration-metílico	Folisuper	0,27 l 0,45 l	Pulgão (<i>Aphis gossypii</i>) Vaquinha (<i>Diabrotica speciosa</i>)
23/nov	Azoxystrobin	Amistar	160g	Pinta preta (<i>Alternaria solani</i>)
	Cymoxanil+Maneb	Curzate	1,5 kg	Requeima (<i>Phytophthora infestans</i>)

5.4 Avaliações

5.4.1 Diagnose foliar

Aos 40 DAE foi realizada a amostragem de folhas (terceira folha a partir do tufo apical) em cada unidade experimental, para que fossem realizadas as determinações dos teores de N, P, K, S, Ca, Mg, B e Zn, de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997).

5.4.2 Variáveis bioquímicas

Amostras da 3ª folha completamente expandida a partir do ápice, coletadas no estágio de tuberização em cada unidade experimental, foram embrulhadas em papel manteiga e imersas em nitrogênio líquido e em seguida armazenadas em freezer para posteriores determinações.

5.4.2.1 Determinação do conteúdo foliar de açúcares solúveis totais

A partir da metodologia descrita por Bradford (1976), com modificações (Lima, 1999), para o preparo do extrato bruto alíquotas de 0,5 g de material vegetal fresco (folhas) foram triturados em graal de porcelana contendo 5ml de tampão fosfato pH 6,7 0,2M, centrifugados a 5000 rpm durante 10 minutos e o sobrenadante coletado e congelado para posterior determinação.

Baseando-se na metodologia descrita por Dubois et al. (1956) modificada (Lima, 1998), 0,5 mL do extrato bruto e 0,5 mL de solução de fenol (5%) foram acondicionados em tubo de ensaio, homogeneizados e em seguida acrescentou-se 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado, aguardando o esfriamento. Em seguida realizaram-se as leituras em espectrofotômetro a 490 nm, expressando os resultados em açúcares solúveis totais (mg g^{-1} mf).

5.4.2.2 Determinação do conteúdo de proteínas solúveis totais

Para a determinação do teor de proteínas solúveis totais, 100 μL do mesmo extrato bruto utilizado para a determinação do teor açúcares solúveis totais foi

misturado ao reativo (Coomassie Blue G 250 preparado com ácido fosfórico e etanol) para realização de leitura da absorbância em 595 nm. Os resultados foram comparados com a curva de referência de caseína Hammesrten e expressos em percentual de matéria fresca.

5.4.2.3 Determinação do teor de prolina

Foi utilizado o método descrito por Torello & Rice (1986) modificado. Amostras de 0,2 g de peso fresco do tecido vegetal foram homogeneizadas em solução de 5 mL de ácido sulfossalicílico a 3% e submetidas à centrifugação a 5000 rpm durante vinte minutos. Foi retirada alíquota de 1 mL do sobrenadante e colocada em tubo de ensaio, adicionando-se 1 mL de ninhidrina ácida (BATES et al., 1973) e 1 mL de ácido acético glacial. Em seguida as amostras foram colocadas em banho-maria em ebulição por 1 hora e resfriadas em banho de gelo. Após o resfriamento foi realizada a leitura a 520 nm em fotolorimetria. O valor da absorbância foi comparado com curva-padrão de prolina e os resultados obtidos expressos em micromol de prolina por g de material fresco.

5.4.3 Características agronômicas

5.4.3.1 Altura de plantas (cm)

Foi tomada a medida aos 30 DAE da haste principal de cada unidade experimental utilizando-se fita métrica.

5.4.3.2 Número de hastes

Foi avaliado aos 30 DAE das plantas, contando-se o número de hastes em cada unidade experimental.

5.4.3.3 Acamamento

Foi avaliado aos 30 DAE das plantas, em cada unidade experimental, por meio da relação: número de hastes acamadas pelo número de total de hastes, sendo o resultado expresso em porcentagem. Foram consideradas como acamadas as hastes que tocavam o solo.

5.4.3.4 Número e produção de tubérculos comerciais e não comerciais por planta

A partir da produção total de tubérculos em cada unidade experimental, foi feita a classificação de tubérculos pelo diâmetro transversal, sendo considerados como comerciais os tubérculos com diâmetro acima de 23 mm. Os tubérculos foram contados e pesados.

5.4.3.5 Produção total de tubérculos por planta

A avaliação foi realizada na ocasião da colheita na produção total de cada unidade experimental, 10 dias após a seca total das hastes. Os tubérculos foram contados e conduzidos até galpão para pesagem. No galpão foram escovados para a retirada do excesso de solo aderido, realizando-se a pesagem logo em seguida.

5.4.3.6 Teor de matéria seca nos tubérculos

Os tubérculos foram fatiados, pesados e colocados em estufa de circulação forçada a 70°C até peso constante. Através da relação entre o peso seco e úmido foi obtido o teor de matéria seca e expresso em porcentagem

5.4.4 Teor de Si no solo e na planta

A determinação do Si na planta (parte aérea e tubérculos) e no solo foi feita segundo metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004), no final do ciclo em cada unidade experimental.

5.4.5 Análise estatística

Foi realizada a análise de variância e comparação de médias pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Diagnose foliar

Na tabelas 4 e 5 estão contidos os valores referentes aos teores de nutrientes e silício nas folhas da batateira. Analisando as Tabelas 4 e 5 constata-se efeito do fator corretivo nos teores de N, P, Mg, Si e Mn e da interação dos fatores sobre o teor de silício e manganês (Tabela 6).

Em relação ao N, os teores observados estão pouco acima dos relatados por Lorenzi et al. (1996) (40 a 50 g kg⁻¹). Houve diferença significativa nos teores de N entre os tratamentos calcário e silicato, sendo este maiores para o calcário, o que pode ser explicado pelo maior crescimento em altura das plantas no tratamento silicato (Tabela 9), que pode ter ocasionado um efeito de diluição para este nutriente em função de um maior alongamento celular.

Os teores de P estão dentro das faixas estabelecidas como adequadas por Jones Junior et al. (1991) e Lorenzi et al. (1996) exceto no tratamento silicato, que apresentou valores acima desta faixa. Entretanto para Rocha (1995) apenas o teor observado no tratamento silicato é considerado suficiente para elevados níveis produtivos.

Tabela 4. Teores foliares de macronutrientes e de Si em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.

Tratamentos ⁽¹⁾	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	----- g kg ⁻¹ -----						%
Água							
-0,020 MPa	51,8a	5,0a	41,6a	7,8a	2,9a	6,9a	0,39b
-0,050 MPa	52,7a	5,9a	41,8a	7,9a	2,8a	7,5a	0,43a
Corretivo							
Calcário	53,8a	4,7b	43,5a	7,7a	2,7b	7,3a	0,39b
Silicato	50,8b	5,9a	39,9a	7,9a	3,0a	7,2a	0,44a
Valores de F ⁽²⁾							
Água (A)	0,5ns	1,7ns	0,0ns	0,3ns	0,3ns	2,8ns	5,8*
Corretivo (C)	6,5*	6,0*	3,1ns	1,2ns	5,0*	0,2ns	8,8*
AxC	0,1ns	0,2ns	0,5ns	0,0ns	0,0ns	0,1ns	0,3
CV (%)	6,5	24,1	13,9	10,1	13,7	14,6	12,0

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste DMS a 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativos a 1% e 5% - ns: não significativo.

O maior teor foliar de P encontrado no tratamento silicato em relação ao calcário pode ser atribuído aos maiores teores de fósforo encontrados no solo para o tratamento silicato (Tabela 12), o que pode ser explicado pela desorção de fósforo promovida pela presença de silício solúvel na solução do solo, aumentando sua disponibilidade e conseqüentemente a absorção do elemento pelas plantas.

Lorenzi et al. (1996) relataram que a faixa adequada de teores foliares de K para batateira está entre 40 a 65 g kg⁻¹ de massa de matéria seca, na qual se enquadram os teores obtidos no presente trabalho. Já para Jones Junior et al. (1991) essa faixa estaria entre 93 e 115 g kg⁻¹. Fontes et al. (1996) obtiveram máxima produção de tubérculos quando o teor foliar de K foi de 89 g kg⁻¹.

Quanto ao Ca os teores encontrados, estes estão de acordo com teores considerados adequados por Jones Junior et al. (1991), entretanto abaixo do adequado para Lorenzi et al. (1996), porém não foi observado nas plantas nenhum sinal de insuficiência desse elemento na produção de tubérculos.

O teor de Mg foi superior para o tratamento silicato, o que pode ser devido à diferença de PRNT existente entre os corretivos, o que ocasionou a aplicação de quantidade pouco maior do corretivo silicato para obtenção do mesmo nível de correção do solo em relação ao calcário. Essa maior quantidade aplicada pode ter elevado a disponibilidade e a absorção do elemento pelas plantas.

Quanto ao S os teores encontrados estão acima da faixa considerada adequada por Lorenzi et al. (1996) (2,5 a 5,0 kg g⁻¹).

O teor de Si foi afetado pela interação (Tabela 6), assim, desdobrando corretivos dentro de tensões, constata-se efeito apenas na maior tensão, na qual a aplicação de silício proporcionou maior teor do elemento. Desdobrando tensões dentro de corretivos, constata-se que para o tratamento calcário não houve diferença entre as tensões de água, enquanto que o tratamento silicato proporcionou maior teor na maior tensão (-0,050Mpa).

A batata é considerada uma planta não acumuladora de Si (MARSCHNER, 1995) e segundo Jones & Handrek (1967) plantas não acumuladoras possuem um mecanismo que evita a absorção de quantidades elevadas do elemento. Os dados obtidos no presente trabalho podem indicar que em condições de déficit hídrico esse mecanismo de exclusão da absorção de Si é alterado, possivelmente em função de benefícios proporcionados à planta pela maior absorção do elemento, sendo necessária uma maior disponibilidade do elemento no solo para um efetivo aumento da absorção. A presença de uma maior quantidade de silício disponível no solo parece trazer benefícios à cultura em relação ao déficit hídrico, visto que a absorção do elemento foi aumentada quando a disponibilidade de água no solo foi reduzida.

Analisando os resultados obtidos para teores de micronutrientes, constatou-se que os valores de Cu, Mn e Zn estavam dentro das faixas consideradas adequadas por Lorenzi et al. (1996). Entretanto, os teores de B e Fe estavam abaixo e acima das faixas,

respectivamente. Segundo Lorenzi et al. (1996) os teores foliares adequados para a batateira são: 25 a 50, de 20 a 60, de 7 a 20, de 50 a 100 e de 30 a 250 mg kg⁻¹, para B, Zn, Cu, Fe e Mn, respectivamente.

Tabela 5. Teores foliares de micronutrientes em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.

Tratamentos ⁽¹⁾	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----					
Água					
-0,020 MPa	12,3a	19,7a	149,9a	119,6a	62,2a
-0,050 MPa	12,9a	18,9a	152,0a	122,5a	58,8a
Corretivo					
Calcário	12,6a	20,8a	153,9a	85,9b	59,9a
Silicato	12,6a	17,8a	148,0a	156,3a	61,1a
Valores de F ⁽²⁾					
Água (A)	1,6ns	0,2ns	0,1ns	0,1ns	0,7ns
Corretivo (C)	0,0ns	2,6ns	0,5ns	38,1*	0,1ns
AxC	1,6ns	0,2ns	0,1ns	0,3ns	0,1ns
CV (%)	12,2	28,1	15,7	26,7	18,7

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste DMS a 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativos a 1% e 5% - ns: não significativo.

O Mn foi afetado pela interação entre os fatores (Tabela 6). O maior teor do elemento, observado no tratamento silicato na menor tensão (-0,020MPa) em relação ao tratamento calcário, é contrário aos resultados obtidos por Verma & Minhas (1989), que constataram diminuição dos teores de Fe e Mn em plantas de arroz cultivadas em meio onde havia Si, atribuindo essa redução ao acúmulo destes micronutrientes nas raízes e conseqüente redução na translocação para a parte aérea das plantas. Entretanto o corretivo silicato contém

em sua composição 1,8% de MnO, o que pode ter ocasionado uma maior disponibilidade do elemento no solo e assim uma maior absorção pelas plantas.

Tabela 6. Desdobramento das interações (A x C) da análise de variância referente aos teores foliares de Si e Mn.

Água	Corretivos	
	Calcário	Silicato
	Si ----- % -----	
-0,020 MPa	0,37aA	0,42bA
-0,050 MPa	0,41aB	0,47aA
	Mn ----- mg kg ⁻¹ -----	
-0,020 MPa	81,3aB	158,0aA
-0,050 MPa	90,5aA	154,5aA

Letras maiúsculas comparam os corretivos e minúsculas as tensões de água no solo

6.2 Características bioquímicas

Os dados referentes aos teores de açúcares solúveis totais, proteínas solúveis totais e prolina em matéria fresca estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. Pode-se constatar que o fator água influenciou os teores de açúcares solúveis totais e de prolina, enquanto que o fator corretivo e a interação dos fatores influenciaram todas as variáveis analisadas.

O desdobramento para teor de açúcares solúveis totais (Tabela 8) permite constatar redução dos valores no tratamento silicato, sendo esta mais acentuada na maior tensão, justamente o contrário do observado para os teores de prolina. Isto sugere, considerando que a prolina tem grande participação no ajustamento osmótico, que os açúcares

solúveis tiveram menor participação no ajuste do potencial osmótico na planta onde o teor de prolina foi mais elevado, e dessa forma maior disponibilidade para acúmulo nos tubérculos na forma de amido, visto que para o tratamento silicato a produção total de tubérculos e os teores de prolina foram maiores em relação ao calcário.

Tabela 7. Teores de açúcares solúveis totais, proteínas solúveis totais e prolina em matéria fresca em função dos corretivos e da tensão de água no solo.

Tratamentos ⁽¹⁾	Açúcares solúveis totais	Proteínas solúveis totais	Prolina
	mg g ⁻¹	%	μmol g ⁻¹
Água			
-0,020 MPa	2,7a	2,9a	1,1b
-0,050 MPa	2,4b	2,8a	1,9a
Corretivo			
Calcário	2,7a	3,0a	1,4b
Silicato	2,3b	2,8b	1,7a
Valores de F ⁽²⁾			
Água (A)	18,9*	1,6ns	331,5**
Corretivo (C)	50,9*	4,5*	39,9*
AxC	3,1ns	1,6ns	3,8ns
CV (%)	7,1	11,2	8,4

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste DMS a 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativos a 1% e 5% - ns: não significativo.

Segundo Azize et al. (1997) as hexoses e a sacarose fazem parte dos solutos acumulados no citoplasma de células vegetais em condições de déficit hídrico, o que pode estar relacionado ao ajustamento osmótico.

Entretanto, os teores de açúcares e proteínas solúveis em plantas de batata submetidas a estresse hídrico ou salino podem variar em função da cultivar independentemente do acúmulo de prolina (SASILAKA & PRASAD, 1994), sendo possível que os resultados obtidos no presente trabalho em relação aos teores de açúcares solúveis totais e prolina, sejam referentes a uma característica da cultivar.

Tabela 8. Desdobramento das interações (A x C) da análise de variância referente aos teores de açúcares solúveis totais, proteínas solúveis totais e prolina em matéria fresca.

Água	Corretivos	
	Calcário	Silicato
Açúcares solúveis totais		
-----mg g ⁻¹ -----		
-0,020 MPa	2,8aA	2,5aB
-0,050 MPa	2,7aA	2,1bB
Proteínas solúveis totais		
-----%-----		
-0,020 MPa	3,0aA	2,9aA
-0,050 MPa	3,0aA	2,6aB
Prolina		
-----µmol g ⁻¹ -----		
-0,020 MPa	0,9bB	1,3bA
-0,050 MPa	1,9aB	2,1aA

Letras maiúsculas comparam os corretivos e minúsculas as tensões de água no solo

O desdobramento para o teor de proteínas solúveis totais demonstra que este foi menor no tratamento silicato em relação ao calcário somente na maior tensão (-0,050MPa), enquanto que o teor de prolina para este mesmo desdobramento foi o mais elevado (Tabela 8). Possivelmente a quebra de proteínas para o suprimento de esqueleto carbônico para síntese de prolina seja a causa da redução (STEWART, 1981).

Para os teores de prolina, o desdobramento permite verificar que na maior tensão (-0,050MPa) estes foram mais elevados para os dois corretivos estudados (Tabela 8). Esses resultados corroboram com a literatura consultada, onde há relatos de que o aumento da tensão de água no solo incrementou o teor de prolina em plantas de feijão (SAWAZAKI et al., 1981b; ROSSI et al., 1997; GUIMARÃES, 2001), batata (SASILAKA & PRASAD, 1994) e acerola (NOGUEIRA et al., 2001).

Ainda em relação ao desdobramento para os teores de prolina, observou-se que estes foram maiores no tratamento silicato em relação ao calcário nas duas tensões estudadas (Tabela 8), o que pode estar relacionado a um ajustamento osmótico mais eficiente. Entretanto Tonin (2005), estudando a influência da aplicação de silício no solo como corretivo (silicato de cálcio e magnésio) e do estresse salino em plantas de pimentão, não relatou aumento nos teores de prolina em plantas submetidas a estresse salino em função do fornecimento de Si na adubação, porém também não observou incrementos nos teores foliares de silício em função da aplicação no solo e do estresse salino.

Provavelmente um ajustamento osmótico mais eficiente em função de maiores teores de prolina seja parte do mecanismo de tolerância ao déficit hídrico, e o Si parece favorecer esse mecanismo em plantas de batata.

A capacidade de acumular prolina observada durante o período de estresse hídrico, tem sido associada à tolerância das plantas a essa condição desfavorável (SAWAZAKI et al., 1981b). Martinez et al. (1992) constataram maior acúmulo de prolina em cultivar de batata tolerante ao déficit hídrico em relação a susceptível, resultados semelhantes foram obtidos por Lopes & Arieta-Maza (1991) em feijão e por Nogueira et al. (1998) em amendoim.

6.3 Características relacionadas à produção e teor de Si no tubérculo

Os dados referentes à altura de plantas, número de hastes por planta, acamamento de hastes, número e produção de tubérculos comerciais e não comerciais,

produção total de tubérculos e teores de matéria seca e Si nos tubérculos estão apresentados na Tabela 9 e 10.

Verifica-se que as tensões de água no solo influenciaram apenas a produção de tubérculos comerciais e a produção total. O fator corretivo influenciou altura de plantas, acamamento de hastes, produção de tubérculos comerciais e não comerciais, produção total de tubérculos, e teor de Si nos tubérculos.

Tabela 9. Altura de plantas, número de hastes e acamamento em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.

Tratamentos ⁽¹⁾	Altura	Hastes	Acamamento
	cm	nº planta ⁻¹	%
Água			
-0,020 MPa	16,4a	13,9a	50,1a
-0,050 MPa	17,2a	14,2a	49,6a
Corretivo			
Calcário	14,4b	13,7a	61,1a
Silicato	19,1a	14,4a	38,6b
	Valores de F ⁽²⁾		
Água (A)	1,5ns	0,1ns	0,1ns
Corretivo (C)	28,5*	1,0ns	206,8**
AxC	3,9ns	0,3ns	7,2ns
CV (%)	13,7	15,0	8,9

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste DMS a 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativos a 1% e 5% - ns: não significativo.

Quanto à interação dos fatores, houve efeito para acamamento de hastes, produção de tubérculos comerciais e não comerciais, produção total de tubérculos, e teor de Si nos tubérculos (Tabela 11).

Tabela 10. Número e produção comercial e não comercial de tubérculos, produção total de tubérculos e teores de matéria seca e de Si nos tubérculos em função dos corretivos aplicados e da tensão de água no solo.

Tratamentos ⁽¹⁾	Tubérculos comerciais		Tubérculos não comerciais		Produção Total	MS	Si
	nº planta ⁻¹	g planta ⁻¹	nº planta ⁻¹	g planta ⁻¹	g planta ⁻¹	-----%-----	
Água							
-0,020 MPa	22,0a	896,0a	10,4a	45,4a	941,4a	26,1a	0,25a
-0,050 MPa	19,6a	783,8b	10,7a	49,6a	833,4b	27,1a	0,23a
Corretivo							
Calcário	20,7a	778,5b	10,3a	49,9a	828,4b	27,2a	0,22b
Silicato	20,9a	901,3a	10,8a	45,2b	946,4a	26,1a	0,26a
Valores de F ⁽²⁾							
Água (A)	1,6ns	13,8**	0,2ns	3,9ns	13,1**	2,6ns	1,4ns
Corretivo (C)	0,01ns	16,50**	0,5ns	4,9*	15,7**	3,6ns	4,7*
AxC	0,0ns	1,0ns	3,7ns	0,9ns	0,9ns	1,2ns	1,8ns
CV (%)	25,9	10,2	21,9	12,5	9,5	6,5	18,6

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste DMS a 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativos a 1% e 5% - ns: não significativo.

A maior disponibilidade de Si no solo no tratamento silicato (Tabela 12) aumentou a altura das plantas (Tabela 9). Quanto ao acamamento, constata-se em ambas as tensões que a aplicação de silício proporcionou redução dessa variável, sendo da ordem de 40 e 37%, enquanto que com calcário foi de 63 e 59%, respectivamente, para a menor e maior

tensão (Tabela 11). No tratamento calcário verificou-se que a maior disponibilidade hídrica proporcionou índice de acamamento significativamente maior em relação a maior tensão.

Tabela 11. Desdobramento das interações (A x C) da análise de variância referente à altura de plantas, acamamento das hastes, produção de tubérculos comerciais, produção total de tubérculos e teor de Si nos tubérculos.

Água	Corretivos	
	Calcário	Silicato
Acamamento (%)		
-0,020 MPa	63,4aA	36,8aB
-0,050 MPa	58,8bA	40,5aB
Produção de tubérculos comerciais (g planta ⁻¹)		
-0,020 MPa	819,5aB	972,5aA
-0,050 MPa	737,5aB	830,0bA
Produção de tubérculos não comerciais (g planta ⁻¹)		
-0,020 MPa	48,8aA	42,1aB
-0,050 MPa	51,0aA	48,3aA
Produção total de tubérculos (g planta ⁻¹)		
-0,020 MPa	868,3aB	1014,6aA
-0,050 MPa	788,5aB	878,3bA
Si nos tubérculos (%)		
-0,020 MPa	0,22aB	0,28aA
-0,050 MPa	0,22aA	0,24aA

Letras maiúsculas comparam os corretivos e minúsculas as tensões de água no solo

A redução no acamamento de hastes e o aumento na altura das plantas (Tabela 11), proporcionado pela aplicação de silício, podem estar relacionados com a melhor condição hídrica nas células promovida pelo ajustamento osmótico, o que resultou em células

mais túrgidas, beneficiando o alongamento celular e aumentando a resistência mecânica das células.

O acúmulo de silício nas folhas e sua associação com a cutícula, bem como sua polimerização em tecidos vegetais, podem também ter contribuído na redução do acamamento das hastes observada no presente trabalho em razão de proporcionar maior resistência mecânica aos tecidos.

O desdobramento apresentado na Tabela 11 permite verificar que a produção de tubérculos comerciais e total de tubérculos foram maiores no tratamento silicato nas duas tensões estudadas, e quando da utilização do agrosilício o desempenho da batateira é maior com maior disponibilidade de água, o que não é constatado com o uso de calcário. Esse resultado demonstra que a presença de silício no solo é benéfica, também, em condições hídricas adequadas.

Quanto à produção de tubérculos não comerciais, verifica-se que a aplicação de Si sob condições adequadas de disponibilidade hídrica proporciona redução dessa variável, o que comercialmente é uma característica interessante.

O maior teor foliar de P no tratamento silicato pode ter contribuído para o aumento na produção de tubérculos. Resultado semelhante foi obtido por Maciel (1983), que estudando diferentes fontes de P na cultura da batata constatou que o termofosfato foi superior em relação a outras fontes promovendo maior produtividade de tubérculos, o que pode ser atribuído a menor fixação do P em função da presença de Si solúvel nesta fonte.

Entretanto, os benefícios observados na arquitetura das plantas em função da maior disponibilidade de silício no solo parecem ter refletido em maior produção, pois plantas com maior altura de hastes provavelmente produziram maior área foliar, enquanto que plantas mais eretas têm maior eficiência de interceptação da luz. Esses dois fatores associados, como observado no tratamento silicato, permitem melhor desempenho da planta.

Esta hipótese é reforçada pelo fato de que o aumento da produção foi devido ao maior peso médio dos tubérculos e não ao aumento do número, confirmando assim que o benefício na produção foi resultante do maior enchimento dos tubérculos em consequência de uma maior produção de fotoassimilados.

Na figura 2 é possível observar que o tratamento silicato beneficiou a arquitetura das plantas de batata. Na coluna de vasos da esquerda, que corresponde ao tratamento silicato, as plantas são visivelmente mais eretas em relação à segunda coluna que corresponde ao tratamento calcárioo



Figura 2. Redução no acamamento no dia 3 de novembro (40 DAE)

Na figura 3 pode-se observar a diferença entre os tratamentos silicato e calcárioo em relação ao acamamento das hastes. Da esquerda para a direita, a segunda e a última coluna de vasos correspondem ao tratamento silicato.



Figura 3. Visão geral do experimento no dia 18 de novembro (55 DAE)

Em relação aos teores Si nos tubérculos observa-se que na menor tensão ($-0,020\text{MPa}$) o tratamento silicato proporcionou valores significativamente maiores, enquanto que na maior tensão ($-0,050\text{MPa}$) não houve diferença entre os corretivos estudados, o que pode ser explicado pela redução na absorção de água pelos tubérculos. Esses dados indicam que o Si provavelmente se comporta de maneira semelhante ao Ca em relação à absorção pelos tubérculos, uma vez que os teores de Si nas folhas foram maiores para o tratamento silicato em relação ao calcário apenas na maior tensão, indicando que pode não haver translocação do elemento para os tubérculos.

6.4 Atributos químicos do solo após cultivo

Os atributos químicos do solo após o cultivo da batata estão apresentados na Tabela 12. Os teores de Si no solo foram influenciados pelos corretivos e pelas tensões de água no solo, enquanto que os teores de P sofreram influencia somente dos corretivos.

Tabela 12. Atributos químicos do solo após o cultivo

Tratamentos ⁽¹⁾	pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	Si _{CaCl2} ---(mg dm ⁻³)---	P _{resina}	K ⁺ -----	Ca ⁺⁺ mmol _c dm ⁻³	Mg ⁺⁺ -----	H+Al	V %
Água									
-0,020 MPa	4,4a	21,2a	3,1a	61,1a	2,7a	29,7a	6,2a	55,6a	40,8a
-0,050 MPa	4,4a	20,9a	2,6b	61,2a	2,8a	27,2a	5,6a	56,9a	38,4a
Corretivo									
Calcário	4,5a	20,6a	2,4b	43,9b	2,7a	27,0a	5,7a	55,1a	39,0a
Silicato	4,4a	21,5a	3,3a	78,4a	2,8a	29,9a	6,1a	57,4a	40,1a
Valores de F ⁽²⁾									
Água (A)	0,0ns	0,1ns	22,8*	0,0ns	0,6ns	0,7ns	0,8ns	0,3ns	0,6ns
Corretivo (C)	0,9ns	0,5ns	59,4*	9,8*	0,0ns	0,9ns	0,5ns	0,9ns	0,1ns
AxC	0,0ns	0,1ns	7,9ns	0,0ns	0,6ns	0,7ns	0,8ns	0,3ns	0,6ns
CV (%)	3,7	17,9	11,4	51,0	23,4	29,2	30,4	12,0	22,4

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste DMS a 5%.

⁽²⁾ **, * e ns significativos a 1% e 5% - ns: não significativo.

Analisando a Tabela 12 constata-se que no tratamento silicato o teor de fósforo no solo foi mais elevado em relação ao tratamento calcário, o que pode ser devido a desorção de fósforo promovida pela presença de Si. Os teores foliares também foram mais elevados para o tratamento corretivo silicato, o que confirma esta hipótese. Segundo Fassbender (1987) a utilização de ânions competidores com fosfatos pelos sítios de adsorção

aumenta a eficiência da adubação fosfatada. O Si pode competir pelos mesmos sítios de absorção do P, reduzindo assim sua fixação no solo.

Os corretivos aplicados elevaram os teores de Ca e Mg e a saturação por bases do solo, em relação à análise inicial do solo (Tabela 1), porém os valores esperados de saturação por bases não foram atingidos. Provavelmente isso esteja relacionado à acidificação do meio em função do cultivo em ambiente confinado e às cargas dependentes do pH, que geram poder tampão no solo maior do que o estimado, causando alterações na dinâmica do solo quando a saturação por bases estimada é alta, exigindo doses cada vez maiores para obter o mesmo grau de correção (CAIRES & ROSOLEM, 1993).

Na Tabela 13 estão apresentados os desdobramentos dos dados referentes aos teores de Si no solo. Analisando os dados observa-se que os teores de silício foram maiores para o tratamento silicato nas duas tensões estudadas, e que para o tratamento calcário o teor de silício foi maior na menor tensão (-0,020 MPa).

Tabela 13. . Desdobramento das interações (A x C) da análise de variância referente aos teores de silício no solo após o cultivo em função dos corretivos e das tensões de água no solo

Tensões	Corretivos	
	Calcário	Silicato
	Si (%)	
-0,020	2,9aB	3,4aA
-0,050	1,9bB	3,2aA

Letras maiúsculas comparam os corretivos e minúsculas as tensões de água no solo

Dentre as fontes de silício solúvel no solo estão a decomposição de resíduos vegetais e a dissociação do ácido silícico polimérico (LIMA FILHO et al., 1983), ambos os processos são favorecidos pela presença da água. O teor mais elevado de Si solúvel no tratamento de menor tensão (-0,020 MPa) pode ser resultante desses processos, que foram favorecidos pela maior disponibilidade de água (Tabela 12). O reforço desta hipótese está apresentado no desdobramento para teores de Si no solo (Tabela 13), onde é possível constatar

que a diferença entre os teores em função da disponibilidade de água ocorreu somente no tratamento calcário, no qual a disponibilidade do elemento é mais baixa em relação ao tratamento corretivo silicato, dessa forma, no tratamento calcário, foi destacada a solubilização do Si em função da maior disponibilidade de água.

CONCLUSÕES

A presença de maiores quantidades de silício solúvel no solo promoveu uma maior absorção de fósforo pelas plantas e aumento do teor de silício nas folhas e tubérculos.

O fornecimento de silício na dose de 283 kg ha⁻¹, mediante a aplicação do corretivo agrosilício como substituto do calcário na cultura da batata, promoveu benefícios à cultura proporcionando melhor arquitetura das plantas em função de hastes mais eretas, maior altura de plantas, aumento no peso médio dos tubérculos e conseqüente aumento da produção comercial e total.

Os teores de prolina aumentaram e os de açúcares solúveis totais diminuíram em função da menor disponibilidade hídrica e da maior disponibilidade de silício no solo.

O silício promoveu a desorção de fósforo no solo aumentando a quantidade do elemento disponível à absorção pelas plantas.

O corretivo agrosilício utilizado como fonte de silício proporcionou os mesmos níveis de correção e de fornecimento de cálcio e magnésio que o calcário, podendo ser utilizado em substituição do mesmo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Prod. Science**.v.1, p.96-103, 1998.

ALCARDE, J.C. Corretivo de acidez do solo: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico 6)

AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos de acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.29, 1358p., 1994.

AZIZI, A.; MARTIN-TANGUY, J.; LARHER, F. Plasticity of polyamine metabolism associated with high osmotic stress in rape leaf disc and with ethylene treatment. **Plant Growth Regulation**, v.21, p.153-163, 1997.

BALASTRA, M.L.F.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of sílica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. **Canadian Journal Botanic**, v.67, p.2356-63, 1989.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.325-30, 2001.

BATES, L.S., WALDREN, R.P., TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-7, 1973.

¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT – NBR-6023 – Informação e Documentação – Referências - Elaboração atualizada. Rio de Janeiro, 2002.

- BAYLIS, A.D.; GRAGOPONLON, C.; DAVIDSON, K.J. Effects of the silicone um the toxicity of aluminium to soybean. **Communication in Soil Sci. and Plant Analysis**, v.25, p.537-546, 1994.
- BECKER, T.W.; FOCK, H.P. The activity of nitrate redutase and poll sizes of some amino acids and some sugars in water-stressed maize leaves. **Photosynthese Res.**, v.8, p.267-74, 1986.
- BEZERRA, F.M.L.; ANGELOCCI, L.R.; MINAMI, K. Deficiência hídrica em vários estádios de desenvolvimento da batata.**R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.119-123, 1998
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the qualification of microgram quantities of protein utlizy the principle of protein dye binding. **Anal. Biochem.**, v.7, p.248-254. 1976.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Portaria no 3 de 12-06-1986 da Secretária de fiscalização Agropecuária, 1986.
- BRAY.E.A. Molecular responses to water déficit. **Plant Physiol.** v.103, p.1035-40. 1993.
- CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.193-202, 1993.
- CARNEIRO, L.M.S.; JULIATTI, F. C.; OLIVEIRA, R.G.; KORNDÖRFER, G.H.; AMADO, D.F.; RAMOS, H.F. Uso da argila silício na redução da severidade de *Phytophthora infestans* em batateira. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p.347-348, 2003.
- 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**. Botucatu, 2000. 119p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. In: Comercialização de batata consumo no Brasil (NOVEMBRO/2004).Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/indicador/hort/>>. Acesso em 20 de Nov. 2006.
- CHEN, C.; KAO, C.H. Osmotic stress and water stress have opposite effects on putrescine and praline production in excised rice leaves. **Plant Growth Regulation**, v.13, p.197-202, 1993.
- CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Influence of silicone pretreatment um aluminium toxicity in maize roots. **Plant and Soils**, v.190, p.203-209, 1997.

CUNHA, A.R.; KLOSOWSKI, E.S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Köppen. In: Simposio em energia na agricultura, 1, 1999. Botucatu Anais... Botucatu Unesp-FCA-, P.478-491, 1999.

CUTLER, J.M.; SHAHAN, K.W.; STEPONKUS, P.L. Alteration of the internal water relations of rice in response to drought hardening. **Crop Science**, v.20, p.308 – 310, 1980.

DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. Silicon in Agric., Amsterdam: **Elsevier Sci.**, 424p., 2001. (Studies in Plant Sci., v.8).

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, v.34, p.733-37, 1994.

DINGKUN, M.; CRUZ, R.T.; O'TOOLE, J.C.; TURNER, N.C.; DOERFFLING, K. Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. III Accumulation of abscisic acid and proline in relation to leaf water-potential and osmotic adjustment. **Field Crops Research**, v. 27, p. 103-117, 1991.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**, FAO, 1979. 212p. (Riego drenage, 33).

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.

EKANAYAKE, I.J. **Estúdios sobre el estres por sequia y necesidades de riego de la papa**. Lima: Centro internacional de la papa, 38p., 1994. (Guia de investigación CIP 30)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de classificação dos solos. EMBRAPA/CNPQ, 421p., 1999.

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

EPSTEIN, E.; GRANT, W.J. Water stress relation of the potato plant under field conditions. **Agron. J.**, v.65, p.400-04, 1973.

EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal Inorganic Biochemistry**, v.69, p.139-44, 1998.

FARIA, R.G.d. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo.** Lavras 2000, 47p. Dissertação (Mestrado – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.

FASSBENDER, H.W. Química de Suelos com Ênfase em Suelos de América Latina. 2. *San Jose, IICA*, 420p., 1987.

FONTES, P.C.R. Calagem e adubação da cultura da batata. **Informe Agropecuário**, v.20, n.197, p.42-52, 1999.

FONTES, P.C.R.; REIS JUNIOR, R.A.; PEREIRA, P.R.G. Critical K concentrations and K/Ca + Mg ratio in potato petioles associated with maximum tuber yields. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.19, n.3/4, p.657-67, 1996.

FRANK, A.E. et al. Efeito da irrigação no rendimento e na qualidade dos tubérculos na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ceres**, v.41, p.366-78, 1994.

FUMIS, T.F. **Variação nos teores de prolina e poliaminas em cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidos a déficits hídricos.** Botucatu, 1996, 121p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 1996.

FUMIS, T.F.; PEDRAS, J.F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.449-459, 2002.

FUNKHOUSER, E.A., CAIRNEY, J., CHANG, S., DIAS, M.A.D.L. & NEWTON, R.J. 1994. Cellular and molecular responses to water deficits stress in woody plants. *In Handbook of plant and crop stress* (M. Pessarakli, ed.). Marcel Dekker Inc., New York, p.347-362.

GALVEZ, L.; CLARK, R.B.; GOURLEY, L.M.; MARANVILLE, J.W. Silicon interactions with manganese and aluminium toxicity in sorghum. *Journal of Plant Nutr.*, v.10, p.1139-1147, 1987.

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

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

GROTHGE-LIMA, M.T. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *Meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]**. Piracicaba, 1998. 58p. Tese (doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

GUIMARÃES, V.F. **Efeito do estress induzido por polietileno glicol (PEG 6000) em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu, 2001, 105p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.

HARRIS, P.M. **The potato crop: the scientific bases of improvement**. London: Chapman and Hall, 345p., 1978.

HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. The interaction between silicone and aluminium in *Sorghum bicolor* (L.) Moench: growth analysis and x-Ray microanalysis. **Annals of Botany**, v.72, p.389-400, 1993.

HODSON, M.J.; WILKINS, D.A. Localization of aluminium in the roots of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] inoculated with *Paxillus involutus* Fr. **New Phytologist**, v.118, p.273-278, 1991.

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Science Plant Nutrition**, v.34, p.65-73, 1988.

HSIAO, T.C.; O'TOOLE, J.C.; YAMBAO, E.B.; TURNER, N.C. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Physiology**, v.75, p. 338-341, 1984.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. In: Levantamento sistemático da produção agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/.../Produção_agricola/Levantamento_sistematico_da_produção_agricola_mensal/Fasciculo/12_2006.zip. Acesso em 8 mar. 2007.

JANA, P.K.; DAS, S.; MANDAL, B.B.; BANDYOPADHYAY, P. Effect of soil moisture tension at different physiological stages of growth on yield and consumptive use of water by potato. **Environment and Ecology**, v.7, n.4, p.809-812, 1989.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILL, H.A. **Plant Analysis Handbook**. Georgia: Micro-macro publishing, 213p., 1991.

JONES, L. H. P.; HANDREK, K. A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-147, 1967.

KLENHENZ, M.D.; PALTA, J.P. Combinations of growing temperatura and rhizospheric Calcium level differentially affect biomass accumulation and partitioning. **Am. Potato J.**, v.73, n.8, p.368-376, 1996.

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L.A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia. GPSi – ICIAG-UFU. 39p, 2004. (Boletim Técnico, 02-1º Edição)

KORNDÖRFER, G.H., SNYDER, G.H., ULLOA, M., PERDOMO, R., 4 POWELL, C., DEREN, C., DATNOFF, L.E. Soil and Plant silicon calibration for rice production. editora, p. 14-5, 1999. (Manuscript prepared for the Rice Council Meeting, Belle Glade)

KRAMER, P.J. Tensión hídrica y crecimiento de las plantas. In: KRAMER, P.J. Relaciones hídricas de suelos y plantas una síntesis moderna. EDUTEX - México, 1974, p.393-443.

KUZNETSOV, V.V.; SHEVYAKOVA, N.I. Stress responses of tabacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polpeptides. **Physiologia Plantarum**, v.100, p.320-326, 1997.

LEIGH, R.A.; AHMAD, N.; JONES, R.G.W. Assessment of glicine betaine and praline compartmentation, by analysis of isolated beet vacuoles. **Physiologia Plantarum**, v.153, p.34-41, 1981.

LIANG, Y.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, R. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.), J. **Plant Physiol.** v.160 p.1157–1164, 2003.

LIANG, Y.C., MA, T.S., LI, F.J., FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communication Soil Science Plant Anal**, v.25, p.2285-97, 1994.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Informações agronômicas**, n.87, p.1-7, 1999 (Encarte Técnico).

LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; OLIVEIRA, A.M. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão(*Phaseolus vulgaris* L) cultivado sob estresse salino. **Sci. Agric.**, v.56, n.1, p.21-25, 1999.

LIMA, G.P.P.; FERNANDES, A.A.H.; CATÂNEO, A.C.; CEREDA, M.P.; BRASIL, O.G. Alterações na atividade da peroxidase e no conteúdo de carboidratos em mandioca cultivada *in vitro* sob estresse salino. **Sci. Agric.** V.55 n.3. Piracicaba, 1998.

LIMA, M.D.S.; LOPES, N.F.; BACARIN, M.A.; MENDES, C.R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, v.63, p.335-340, 2004.

LOON, C.D. The effect of water stress on potato growth, development and yield. **American Potato Journal**, v.58, n.1, p.51-69, 1981.

LOPES, N.F.; ARRIETA-MAZA, E.E. Atividade da redutase do nitrato e acúmulo de prolina livre em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de níveis de água e doses de nitrogênio. In: **Congresso Brasileiro de Fisiologia vegetal** 3, 1991, Viçosa. Resumo... Universidade Federal de Viçosa, 1991.p.15

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S.; RAIJ, van B. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, van B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. P.221-23, 1996. (Boletim Técnico, 100).

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistanc of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science Plant Nutrition**, v.50, p.11-18, 2004.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a benefic element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier, 2001. v.8 p.17-39.

MACIEL, C.A.C. **Efeito de diferentes fontes de fósforo na produção de batata**. Escola Superior de Agricultura e Ciencias, 7p., 1983. (Relatório de Pesquisa).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 308p.

MARQUELLI, W.A.; CARRIJO, O.A. Irrigação. In: REIFSCHNEIDER, F.J.B. (Coord.). **Produção de batata**. Brasília: Linha Gráfica, p.57-66., 1987.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London : Academic press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, C.A.; MORENO, U. Expresiones fisiologicas de resistecia a la sequia en dos variedades de papa sometidas a estres hidrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.4, p.33-38, 1992.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C.A.C.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J.C. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. **Scientia Agrícola**, v.60, n.4, p. 761-765, 2003.

MENGEL, K.E., KIRKBY, G.A. Further elements of importance. In: Principles of plant. Institute International Potasa. 4th Edition, 1987, p.573-588

MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; ROCH, C.; SEYWERD, F. Effects of soluble solution on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativa*. **Phytopathology**, v.81, p.84-88, 1991.

MILLAR, A.A. **Manejo racional da irrigação**: uso de informações básicas sobre diferentes culturas. Brasília: IICA, 57p., 1984.

MILLER, D.E.; MARTIN, M.W. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. **American Potato Journal**, v.64, n.1, p.17-25, 1987.

MIRANDA FILHO, H.S. Raízes e tubérculos In: RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, p.221-229, 1997. (Boletim técnico, 100)

MIRANDA FILHO, H.S.; GRANJA, N.P; RAMOS, V.J. Efeito do cálcio na produtividade e qualidade de dois cultivares IAC de batata. I. Produção e classificação. **Horticultura Brasileira**, v.8, n.1, p.53, 1990.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; MORAES, J.A.P.V.; BURITY, H.A.; NETO, E.B. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relação hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.66-74, 2001.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, R.C.; BEZZERA NETO, E.; SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, n.12, p.1963-1969, dez. 1998.

OLIVEIRA C.A.S. & VALADAO L.T. Manejo da água do solo no cultivo da batata. Comunicado Técnico da Embrapa Hortaliças nº3 8p., 1997.

PAIVA, E.A.S.; CASALI, V.W.D.; SILVA, E.A.M.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G. Qualidade de tubérculos de batata em função de doses de cálcio. **Horticultura Brasileira**, v.15, n.2, p.53-57, 1997.

PEREIRA, A.B. **Demanda climática ideal de água e produtividade da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L. cv. Itararé)**. Botucatu, 1991. 86p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. editores técnicos. O cultivo da batata na região sul do Brasil. **Embrapa Clima Temperado**, p.567, 2003.

PRADO, R. M. **Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo**. 2000. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, v. 74, n. 2, p. 235-242, 1999.

QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van; SAKAI, M. Calagem para a sucessão batata-tritcale-milho usando calcário com diferentes teores de magnésio. **Bragantia**, v.44, t1, p.391-406, 1985.

RAIJ, B.van., ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade do solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

RAIJ, B.van., CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, p.223-31, 1973.

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v.58, p.179-207, 1983.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. **Soil Sci.**, v.68, p.95-112, 1949.

ROCHA, F.A.T. **Crescimento, produção e qualidade de tubérculos de batata em função da fertilização fosfatada**. Viçosa, 1995. 77p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa.

ROSSI, C.; LIMA G.P.P.; HAKVOORT, D.M.R. Atividade de peroxidases (EC 1.11.1.7) e teor de prolina em feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. cultivado em condições de salinidade. **Scientia Agrícola**, v.54, n.3, p. 123-127, 1997.

SASILAKA, D.P.P.; PRASAD, P.V.D. Salinity effects on *in vitro* performance of some cultivars of potato. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, p.1-6, 1994.

SAVANT, N.K., DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H. Depletion of plant-avaivable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communication in Soil Science in Plant Analysis**, v.28, p.1245-52, 1997a.

SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. **Advanced Agronomic**, v.58, p.151-99, 1997b.

SAWAZAKI, H.E.; TEIXEIRA, J.P.F. Estresse de água no crescimento, produtividade e acúmulo de prolina em feijão. **Bragantia**, v.40, p.157 -166, 1981a.

SAWAZAKI, H.E.; TEIXEIRA, J.P.F. Variação do teor de prolina em folhas de feijão em função da disponibilidade de água no solo. **Bragantia**, v.40, p.47-56, 1981b

SCHMIDT, R.E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D.R. Response of ptotosynthesis and superoxide dimutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, p.1763-1773, 1999.

SHEVYAKOVA, N.I. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. **Soviet Plant Physiology**, v.30, p.597-608, 1984.

SHOCK, C.C. et al. Impact of early-season water deficits on russet burbank plant development, tuber yield and quality. **Am. Potato J.**, v.69, p.793-803, 1992.

SINGH, G. A review of the soil-moisture relationship in potatoes. **Am. Potato j.**, v.46, p.398-403, 1969.

SINGH, T.N.; ASPINALL, D.; PALEG, L.; BOGGESS, S.F. Changes in praline concentration in excised plant tissues. **Australian Journal Biological Science**, v. 26, p.57-63, 1973.

SNYDER, G.H. Development of silicon soil test for Histosol-grown rice. **Belle Glade: Univ. Florida**, 1991. (EREC Res. Report).

STEWART, C.R. Proline accumulation: Biochemical aspects. In: PALEG, L.G. & ASPINALL, D. ed. **The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in plants**. New York, Academic Press, 1981. p. 243-259.

TAKATSUKA, M.; MAKIHARA, D.; TSUDA, M.; HIRAI, Y.; TAKAMURA. Plant water relacon and silicon concncentration in two rice varieties differing in salinity tolerance. **Japan Journal Tropical Agriculture**, v.45, p.259-265, 2001.

TANAKA, A.; PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v.12, p. 23-8, 1966.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BESTON, J.D.; HAULIN, J.L. Soil fertility and fertilizer. New York: Macmillam, 1993, p.634.

TONIN, F.B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino**. Botucatu, 2005, 93p. Dissertação (Mestrado em

Agronomia – Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2005.

TOPP, G.C., GALGANOV, Y.T., BALL, B.C., CARTER, M.R. Soil water desorption curves. In: Carter, M.R. (Eds). **Soil Sampling and Methods of analysis**. Florida: Lewis Publishers, 1993, p.569-79.

TORELLO, W.A.; RICE, L.A. Effect of NaCl stress and proline and cation accumulation in salt sensitive and tolerant turfgrasses. **Plant and Soil**, The Hague, v.93, p.227-41, 1986.

TRENHOLM, L.E., DUNCAN, R.R., CARROW, R.N., SNYDER, G.H. Influence of silica on growth, quality, and wear tolerance of seashore paspalum. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, p.1763-1773, 1999.

VENTER, M.W.; VILLIERS, O.T. Relationship between Calcium levels and pectin fractions in potato Tobias after storage. **Applied Plant Sci.**, v.7, n.1, p.1-4, 1993.

VERMAS, T.S.; MINHAS, R.S. Effect of iron and manganese interaction on paddy yield and iron and manganese nutrition in silicon-treated and untreated soil. **Soil Science**, v.147, p.107-15, 1989.

VORM, P.D.J. Uptake of Si by five plant species, as influenced by variations in Si-supply. **Plant Soil**, v.56, p.153-6, 1980.

WRIGTH, J.L.; STARK, J.C. Potato. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Eds.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society Agronomy, p.859-88, 1990.

YOSHIDA, S., NAVESER, S.A., RAMIREZ, E.A. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of rice plant. **Plant Soil**, v.31, p.48-56, 1969.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v.8, p.15-21, 1962.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. **Soil Plant Food**, v. 5, p. 127-33, 1959.

ZAAG, D.E. **Abastecimento de água na cultura da batata**. Haia: Instituto Holandês de Consulta sobre a batata, 20p., 1982.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.), **Plant Sci.** v.167 p.527–533, 2004.

