

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura

O efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.): aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade

Silvio Marcos Ferreira

Tese apresentada obtenção do título
de Doutor em Ecologia Aplicada

Piracicaba
2008

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Silvio Marcos Ferreira
Engenheiro Agrônomo

O efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.): aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade

Orientadora:
Prof^a Dr.^a SIU MUI TSAI

Tese apresentada para obtenção do
título de Doutor em Ecologia Aplicada

Piracicaba
2008

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

Ferreira, Silvio Marcos

O efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.): aspectos bioquímicos, qualidade da fibra e produtividade / Silvio Marcos Ferreira. - - Piracicaba, 2008.

67 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2008.
Bibliografia.

1. Algodão 2. Antioxidantes 3. Enzimas 4. Fibras – qualidade 5. Fotossíntese
6. Silício I. Título

CDD 633.51
F383e

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

Aos meus queridos pais,

JOSÉ SOARES FERREIRA e
NILSA ADAME LÉLIS FERREIRA

Que com amor e dedicação, me ensinaram e apoiaram em todos os momentos;

OFEREÇO

Aos meus queridos filhos,

SILVIO FILHO,
BRUNNA e
GABRIEL

A minha companheira e amiga,

JOYMARA

Que com amor e carinho me apoiou e incentivou transmitindo paz e harmonia.

DEDICO

“Há homens que lutam um dia, e são bons;
Há homens que lutam muitos dias e são melhores;
Há homens que lutam muitos anos, estes são muitos bons;
Há homens que lutam toda a vida, estes são impressionáveis”

Bertold Brecht

AGRADECIMENTOS

A DEUS por estar sempre ao meu lado, e por ter me concedido força, saúde e paz, principalmente nas horas mais difíceis de minha vida;

A minha querida orientadora Prof^ª Dr^ª Tsai pela brilhante orientação, pela atenção dispensada e pela amizade cultivada durante minha estada em Piracicaba;

Ao CNPq, pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto e à CAPES, pela bolsa de estudo concedida;

A todo o pessoal do Laboratório de Biologia Celular e Molecular do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, em especial atenção ao Elias, ao Francisco, ao Fábio, ao Wagner e a Gladys que sempre se prontificaram para realização das análises de laboratório;

A Regina da secretaria de pós-graduação em ecologia aplicada, que em todos os momentos se fez presente e contribuiu para realização de meus trabalhos;

A colega Dr^ª Raffaella Rosseto do Instituto Agronômico de Campinas que sempre se prontificou a contribuir no trabalho;

Ao colega da EMBRAPA Dr. Oscar F. Lima Filho pelo apoio no desenvolvimento do trabalho em casa de vegetação e companheirismo nas discussões sobre a tese;

Aos professores da Universidade Federal de Goiás Dr. Kliemann e Dr. Wilson Mozena pelo apoio nas análises estatísticas e discussão do trabalho;

Ao meu inestimável companheiro e amigo Dr. Toshio Yamada da POTAFÓS, pelo apoio, pelos ensinamentos, a sabedoria humana, pela ousadia e arrojo na troca de experiências que me foi concedida durante todo o período de convivência;

Aos colegas de curso, Rafael, a Jeanedy, a Juliana, a Jurema, ao Otton, ao Carlos, ao José Wesley, a Daniela, ao Luiz Antônio, a Tânia, a Lorayne, ao Márcio, ao Élcio, ao João das Graças, pela amizade e convivência fraterna;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, meu eterno agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Silício na agricultura.....	20
2.2 O Silício.....	22
2.3 O Ciclo do Silício.....	23
2.4 O Silício no Solo.....	24
2.5 O Silício nas Plantas.....	27
2.5.1 Essencialidade.....	27
2.5.2 Aquisição de Silício pelas Plantas.....	31
2.5.3 O Silício no Controle de Doenças.....	32
2.5.4 Fontes de Silício para a Agricultura.....	33
2.6 Silício e as Enzimas Antioxidantes.....	34
2.7 Catalase (CAT).....	37
2.8 Peroxidases (POX).....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44

4.1 Análises de silício.....	44
4.2 Análises de Fotossíntese, Transpiração, Condutância Estomática e Concentração de CO ₂	46
4.3 Análises de Potássio na planta.....	50
4.4 Estresse oxidativo em presença de fungos.....	51
4.5 Enzimas antioxidantes – Catalase e Ascorbato.....	51
4.6 Análises de Açúcar na Fibra.....	56
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS	61

RESUMO

O efeito do Silício na Cultura do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.): Aspectos Bioquímicos, Qualidade de fibra e Produtividade

Inúmeros trabalhos evidenciam o efeito do silício nos processos, estruturas e características das plantas que ocorre em várias culturas. Supõe-se que tais efeitos possam estar associados à vários processos fisiológicos, dentre eles a melhoria da qualidade e produtividade, o favorecimento da fotossíntese e a redução de doenças. O presente trabalho tem por objetivo estudar os efeitos do silício nos aspectos bioquímicos, qualidade de fibra e produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) na cultivar BRS-Cedro, material amplamente cultivado na região dos cerrados do Brasil. Realizou-se um experimento em vasos com capacidade de 3,2 litros de solução nutritiva de Johnson et al. (1957), modificada. As soluções nutritivas foram corrigidas para pH inicial igual a 6,0, continuamente arejadas e trocadas quinzenalmente. Conduziu-se o experimento em casa de vegetação, cujo delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com seis tratamentos: (0, 10, 25, 50, 100 e 200) mg.L⁻¹ de silício e 05 repetições. A fonte de silício utilizada nos tratamentos, com exceção da testemunha, foi o metassilicato de sódio (Na₂SiO₃.5H₂O). Os parâmetros avaliados foram os seguintes: teor de silício foliar e radicular, teor de potássio, matéria seca, fotossíntese, transpiração, condutância estomática, e concentração interna de CO₂; e após a colheita e beneficiamento para qualidade de fibra as amostras foram submetidas à análise de HVI (high volume instruments) e assim avaliados os seguintes parâmetros: % de fibra, peso de 100 sementes, peso de capulhos, comprimento da fibra, uniformidade no comprimento da fibra, índice de fibra curta, tenacidade da fibra, alongação, micronaire, maturidade da fibra, finura, teor de açúcar na fibra (deposição), reflectância, cor amarelada e tenacidade do fio. O experimento compreendeu-se no período de abril a novembro de 2005, sendo o ciclo da sementeira até a colheita. As doses de silício utilizadas promoveram aumento considerável nos teores radiculares e foliares do algodoeiro. Os resultados das análises de laboratório evidenciaram interações positivas entre as doses utilizadas com a fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ e para os parâmetros de qualidade de fibra, somente houve interação positiva com o teor de açúcar na fibra, indicando promissor o uso de silício para a cultura. O decréscimo de açúcar na fibra afeta diretamente a qualidade, melhorando e impede o desenvolvimento do fungo *Capnodium sp* (fumagina), que também prejudica a fotossíntese.

Palavras-chave: Silício; Fotossíntese; Enzimas Antioxidantes; Qualidade de Fibra; Algodão.

ABSTRACT

The Silicon effect in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Biochemicals Aspects, Fiber Quality and Productivity

Several works clearly show the effect of silicon on plant processes, structures and characteristics. It is believed that they are associated to crop quality and yield, enhancing photosynthesis and increasing their resistance to diseases. In the present work effects of silicon on the biochemicals aspects, fiber quality and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), BRS-Cedro cultivar, widely cultivated in Brazilian savannahs, were evaluated. A greenhouse experiment using Johnson et al. (1957) modified nutrient solution in 3.2 liters pots, during a complete crop cycle from April to November of 2005, was carried out. Nutrient solutions were corrected to initial pH 6.0, with continuous aeration and biweekly substitution. Six rates of Si (0, 10, 25, 50, 100 and 200 mg L⁻¹), as sodium metasilicate (Na₂SiO₃·5H₂O), in a completely randomized design with five replications, were applied. During the cropping time leaf and root contents of Si and K, dry matter weight, photosynthesis, respiration, stomatal conductance and internal CO₂ concentrations were assessed. After harvest and processing for fiber quality, HVI analyses were performed, and attributes such as percentage of fiber, weight of 100 seeds, cotton balls weight, fiber length and uniformity, short fiber index, tenacity, elongation, micronaire, maturity, thinness, sugar deposition on the fiber, reflectance, yellowish color and fiber tenacity were evaluated. Considerable increases in root and leaf contents of cotton as affected by applied Si rates were found, showing positive relationships among laboratory data with photosynthesis, respiration, stomatal conductance, and internal CO₂ concentrations. Concerning the fiber quality, positive interaction was verified with sugar content in the fiber, indicating that Si application to cotton would be a promising cropping practice. Sugar decrease in the fiber improves its quality, hindering the development of the mushroom *Capnodium sp*, which also harms photosynthesis.

Keywords: Silicon; Photosynthesis; Antioxidant Enzymes; Fiber Quality; Cotton.

LISTA DE ABREVIATURAS

- O₂⁻ - ânion (ou radical) superóxido
- APX - ascorabato peroxidase
- CAT - catalase
- CO₂ – dióxido de carbono
- DHA - deidroascorbato
- GOPX - guaicol peroxidase
- GPX - glucationa peroxidase
- GR - glucationa redutase
- GST - glucationa-S-transferase
- H₂O₂ - peróxido de hidrogênio
- HAS - hidroxialuminosilicatos
- IRGA - analisador de gases por infravermelho (infrared gás analyzer)
- MDA - monodeidroascorbato
- MDAR – monodeidroascorbato redutase
- NADPH – nicotinamida dinucleótido fosfato na forma reduzida
- O₂ - oxigênio molecular
- POX – peroxidases
- PSI - fossistema I
- SOD – superóxido dismutase
- TBA – ácido tiobarbitúrico
- HVI – high volume instruments
- pH – potencial hidrogeniônico

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1 – Ciclo biogeoquímico do Si que ocorre nos oceanos e nas massas continentais. Setas pontilhadas indicam taxas de trocas mais lentas entre os compartimentos. HAS – hidroxialumino-silicatos	24
Figura 2 – Transformações e processos mais importantes que influenciam a concentração de Si na solução do solo.....	25
Figura 3 Papel fisiológico do Si em arroz. (Takahashi, 1995.).....	30
Figura 4 – Isoenzimas SOD de folha (a) e raiz.....	35
Figura 5 – Peroxidação lipídica de folha e raiz.....	36
Figura 6 – Atividade APX de folha e raiz.....	36
Figura 7. Atividade CAT de folha e raiz.....	36
Figura 8 – Atividade GOPX de folha e raiz.....	36
Figura 9 – Semeadura do algodão cultivar BRS-Cedro em bandejas com 24 células com 4 a 6 sementes, utilizou-se substrato de areia grossa e lavada	40
Figura 10 – Situação do experimento após o transplântio do algodão.....	41
Figura 11 – Equipamento IRGA (Infra-red Gás Analyzer). Avaliação da fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO ₂ entre 110 a 165 dias da semeadura	41
Figura 12 – Equipamento HVI (High Volume Instruments) utilizado para realização das análises de qualidade de fibra conforme padrões internacionais – USDA (United States Department of Agriculture).....	42

USDA (United States Department of Agriculture).....	
Figura 13 – Teor de silício contido na folha do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg L^{-1} tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva.....	44
Figura 14 – Teor de silício contido na raiz do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg L^{-1} tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva.	45
Figura 15 – Teor de silício total do algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg L^{-1} tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva.....	46
Figura 16 – Fotossíntese expressa em $\mu\text{mol CO}_2$ folhas s^{-1} em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva.....	47
Figura 17 – Transpiração expressa em $\mu\text{mols H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva utilizando silicato de ódio.....	48
Figura 18 – Concentração de interna de CO_2 expressa em $\mu\text{mol CO}_2$ folhas, em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva.....	48
Figura 19 – Condutância estomática expressa em $\text{mols H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva utilizando silicato de sódio.....	49
Figura 20 – Teor de potássio absorvido na parte aérea e raiz do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg de K por vaso e tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva.....	50
Figura 21 – Atividade Catalase foliar avaliada até onze semanas expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários	

tratamentos com doses com silício.....	52
Figura 22 – Folha do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, sendo atacada por mancha de ramulária <i>Ramularia areola</i> e <i>Cladosporium sp</i> apresentando lesões e a consequente diminuição da área fotossintética.....	52
Figura 23 – MDA – monodeidroascorbato, produto formado pela redução da APX expresso em $\mu\text{mol MDA g}^{-1}$ de folha da cultivar de algodão BRS-Cedro, avaliadas conforme o tempo em semanas. Tratamentos seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente.....	53
Figura 24 – Atividade Catalase foliar avaliada com três semanas expresso em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício.....	53
Figura 25 – Atividade Catalase foliar avaliada com seis semanas expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício.....	54
Figura 26 – Atividade Catalase foliar avaliada com oito semanas expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício.....	54
Figura 27 – Teor de proteína solúvel total expressa em $\text{mg proteína g}^{-1}$ folha avaliadas durante as semanas, do cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício.....	55
Figura 28 – Atividade enzimática APX – Ascorbato Peroxidase foliar avaliada de 1 a 11 semanas expressa em $\mu\text{mol MDA min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida aos tratamentos com silício nas doses de 0, 25, 50, 75 e 100, respectivamente.....	55

- Figura 29 – Atividade catalase após inoculação com fungo, expressa em $\text{mg H}_2\text{O}_2 \text{ min g}^{-1}$ folha, do cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida aos tratamentos com doses de 0, 25, 50, 75 e 100 mg L^{-1} de silício..... 56
- Figura 30 – Deposição de açúcar na fibra do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em percentagem (%) e tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos..... 57
- Figura 31 – Folha do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, sendo atacada por pulgões (*Aphis gossypi*), excretando substância açucarada “honeydew”, a presença de formigas se alimentando do açúcar..... 57
- Figura 32 – Fibra do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, com alto teor de açúcar. Pulgões (*Aphis gossypi*), excretando substância açucarada “honeydew”, promove o desenvolvimento de fungos do gênero *Capnodium* (fumagina), Foto: Ferreira, S.M., 2005..... 58

1 INTRODUÇÃO

O silício representa uma alternativa interessante do ponto de vista nutricional e profilático na cultura do algodoeiro, com perspectivas de aumento de produção, qualidade da fibra e diminuição no uso de defensivos químicos.

Com uma área colhida próxima a 900 mil hectares e produção acima de 2,5 milhões de toneladas, o Brasil volta a exportar um volume significativo de algodão, depois de chegar a ser um dos maiores importadores mundiais da fibra. Com isso surgem novas oportunidades de negócios na cadeia produtiva da fibra, como é o caso de novas fiações e o investimento no óleo de algodão, principalmente na produção de bioenergia.

A cultura do algodoeiro do novo mundo, segundo Fryxell (1984) é do gênero e espécie (*Gossypium hirsutum* L.) no qual é bastante dispendiosa no uso de insumos, principalmente de defensivos. A viabilidade da cultura depende da manutenção de uma produtividade alta e do preço de venda. O manejo nutricional da planta, através da fertilização via solo e/ou foliar, tem um papel fundamental dentro do processo produtivo e de sustentabilidade da cultura algodoeira.

O interesse pela adubação silicatada está aumentando bastante no Brasil, principalmente pela disponibilidade recente de fontes comerciais. Alguns trabalhos mostram o potencial da aplicação de silício na cultura algodoeira.

A produtividade é influenciada por características morfológicas e fisiológicas dos órgãos fotossintetizantes, basicamente as folhas, e dos órgãos consumidores dos metabólitos fotossintetizados, carboidratos principalmente. Toda produção de fitomassa depende da atividade fotossintética do aparelho fotoassimilador. Desta forma, buscar mais informações sobre a fisiologia da fonte torna-se de fundamental importância, e uma forma

muito utilizada para estudá-la é por meio de medidas de trocas gasosas. Apesar de se afirmar sobre os efeitos positivos do silício sobre a fotossíntese, não há estudos diretos que meçam a fotossíntese em função da nutrição silicatada pelas plantas.

A agricultura familiar e/ou orgânica, particularmente, podem se beneficiar da fertilização silicatada, via solo ou foliar. A utilização de métodos biológicos ou outros métodos profiláticos como estratégias alternativas de manejo de controle de doenças têm despertado bastante interesse, principalmente pelo potencial de uso comercial e baixo impacto ambiental.

O presente trabalho teve por objetivo estudar os efeitos do silício nos aspectos da bioquímica, qualidade de fibra e produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) na cultivar BRS-Cedro, material amplamente cultivado na região dos cerrados do Brasil. Realizou-se um experimento em vasos com capacidade de 3,2 litros de solução nutritiva de Johnson et al. (1957), modificada. As soluções nutritivas foram corrigidas para pH inicial igual a 6,0, continuamente arejadas e trocadas quinzenalmente. Conduziu-se o experimento em casa de vegetação, cujo delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com seis tratamentos: (0, 10, 25, 50, 100 e 200) mg.L⁻¹ de silício e 05 repetições. A fonte de silício utilizada nos tratamentos, com exceção da testemunha, foi o metassilicato de sódio (Na₂SiO₃.5H₂O). Os parâmetros avaliados foram os seguintes: teor de silício foliar e radicular, teor de potássio, matéria seca, fotossíntese, transpiração, condutância estomática, e concentração interna de CO₂; e após a colheita e beneficiamento para qualidade de fibra as amostras foram submetidas à análise de HVI e assim avaliados os seguintes parâmetros: % de fibra, peso de 100 sementes, peso de capulhos, comprimento da fibra, uniformidade no comprimento da fibra, índice de fibra curta, tenacidade da fibra, alongação, micronaire, maturidade da fibra, finura, teor de açúcar na fibra (deposição), reflectância, cor amarelada e tenacidade do fio. O experimento compreendeu-se no período de abril a novembro de 2005, sendo o ciclo da semeadura até a colheita. As doses de silício utilizadas promoveram melhorias consideráveis nos parâmetros avaliados no algodoeiro.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.24O Silício na Agricultura

Há mais de 2000 anos atrás, os chineses já utilizavam cinzas de palha de arroz, ou cevada, misturadas com esterco para fertilizar o solo. Virgílio (70 – 19 A.C.), poeta e cientista do Império Romano, também sugeria o uso de cinza vegetal para aumentar a fertilidade dos solos já degradados. As cinzas vegetais podem ser consideradas como o primeiro fertilizante mineral complexo, e as cinzas de arroz e outros cereais, que acumulam quantidades significativas de silício, como o primeiro fertilizante silicatado utilizado pelo homem. O famoso agrônomo e químico alemão, Justus von Liebig (1803-1873), foi a primeira pessoa a sugerir o uso do silício como fertilizante em 1840, e o primeiro cientista a conduzir um experimento com silício em casa-de-vegetação. O primeiro experimento de campo com fertilizante silicatado, no mundo, ocorreu em 1859 na Estação Experimental de Rothamsted, na Inglaterra, famosa por seus ensaios seculares, os quais continuam até hoje. Estes são alguns exemplos que mostram que o uso do silício na agricultura não é recente.

Plantas mais produtivas com menos doenças e mais vigorosas, esse é o resultado que muitos agricultores vem obtendo ao utilizar o silício como mais um insumo no manejo do solo. A maioria dos agricultores e técnicos ainda desconhece os efeitos e as vantagens do uso de fontes silicatadas nas suas lavouras.

A pesquisa científica tem demonstrado o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida da planta, com papéis bastante diversos. Além de promover melhorias no metabolismo, ativa genes envolvidos na produção de fenóis e enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta. A essencialidade do silício já foi comprovada para as algas diatomáceas, algumas espécies vegetais, e para os animais, incluindo os seres humanos. Devido aos inúmeros benefícios que a adubação silicatada pode oferecer às plantas, aumentando a produtividade e a qualidade do produto colhido, considera-se o silício um elemento agronomicamente essencial.

A concentração de Si na fibra de algodão aumenta durante a fase de alongamento, alcançando um valor máximo na iniciação da parede secundária, sugerindo que o Si poderia ter um papel na iniciação e alongamento da fibra e, possivelmente, na iniciação da parede secundária. A adubação com Si via solo promoveu um crescimento prematuro do algodão, aumentou significativamente o número total de capulhos e simpódios, tamanho de capulhos e porcentagem de fibra e a produção de fibra aumentou, em média, 11,7% (BOYLSTON et al., 1990).

Uma relação incompleta, mas mesmo assim extensa, com os processos, estruturas e características das plantas que podem ser influenciados pelo silício, todos documentados na literatura, mostra o significado deste elemento na vida e no rendimento das plantas (SHIA E WANG, 1998), dentre eles: aumenta a resistência a pragas e doenças; aumenta o crescimento e a produtividade; aumenta a força mecânica do colmo e a resistência ao acamamento; favorece a penetração da luz no dossel da planta por manter as folhas mais eretas, promovendo assim a fotossíntese; aumenta a atividade radicular, promovendo a absorção de água e nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, e o poder de oxidação das raízes; reduz a lixiviação de P, N e K de áreas cultivadas; neutraliza o alumínio tóxico do solo, bem como diminui a toxidez causada pelo manganês e outros metais pesados; diminui a transpiração excessiva, aumentando a resistência a veranicos; promove a formação de nódulos em leguminosas; aumenta a proteção contra temperaturas extremas, altas ou baixas, e ao estresse salino; aumenta a massa individual das sementes e a fertilidade dos grãos de pólen; aumenta a produção de carboidratos e açúcares (SHI et al, 2001).

Não se pode negar o fato do silício ser um componente majoritário dos vegetais, e dos papéis importantes que desempenha na vida das plantas. A inclusão da adubação silicatada no manejo do solo pode significar um maior retorno econômico para o agricultor. Não se deve subestimar o significado deste elemento dentro da biologia vegetal. A maior disponibilidade de fontes comerciais de silício no Brasil está possibilitando ao agricultor

optar por uma tecnologia que revela-se eficaz, do ponto de vista técnico, no aumento da produtividade e na prevenção ou redução de estresses bióticos e abióticos.

2.2 O Silício

O silício é um elemento cinza escuro com propriedades elétricas e físicas de um semimetal, desempenhando no reino mineral um papel cuja importância pode ser comparável ao carbono nos reinos vegetal e animal. Semelhante a este, porém de modo menos intenso, o Si possui a capacidade de formar longas cadeias, muitas vezes ramificadas. A palavra silício provém do latim *silex*, rocha constituída de sílica (dióxido de silício) amorfa hidratada e sílica microcristalina, a qual era utilizada, pela sua dureza, na confecção de utensílios e armas na Era Pré-Metálica (Paleolítica).

O Si é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, 27% em massa, superado apenas pelo oxigênio. É encontrado somente em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados. Cerca de 80% dos minerais das rochas ígneas e metamórficas são silicatos, enquanto em rochas sedimentárias o conteúdo é menor (JACKSON, 1964). Os silicatos são sais nos quais a sílica é combinada com oxigênio e outros elementos, como Al, Mg, Ca, Na, Fe, K e outros, em mais de 95% das rochas terrestres (cerca de 87% em massa), meteoritos, em todas as águas, atmosfera (pó silicoso), vegetais e animais. Sua presença no sol e outras estrelas também é indicada por espectroscopia. Os minerais silicatados mais comuns são quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios. Os dois últimos são aluminosilicatos, contribuindo significativamente com o conteúdo de Al na crosta.

Todos estes minerais sofrem o processo de intemperização, cuja taxa depende de uma série de fatores, incluindo temperatura, pH, composição iônica do solvente, etc. O quartzo é relativamente estável, intemperizando-se muito lentamente. Portanto, não é considerada uma fonte disponível de ácido silícico. Os feldspatos, por sua vez, intemperizam-se mais rapidamente, resultando em argilas (caulinita ou montmorilonita) e ácido silícico (EXLEY, 1998). A composição isotópica, constante tanto na crosta terrestre como em meteoritos, é a seguinte: ^{28}Si – 92,28%, ^{29}Si – 4,67%, ^{30}Si – 3,05%.

2.3 O Ciclo do Silício

O ácido monossilícico [$(\text{H}_4\text{SiO}_4$ ou $\text{Si}(\text{OH})_4$], também denominado de ácido ortossilícico ou simplesmente ácido silícico, ocorre na solução do solo, nas águas doces e oceanos de todo o mundo. Em pH próximo da neutralidade, o ácido silícico tem solubilidade de 2mM. Acima desta concentração ocorre policondensação, produzindo ácido silícico oligomérico e, eventualmente, partículas coloidais de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). A dissolução e deposição de sílica em água pode ser representada como: $(\text{SiO}_2)_x + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{SiO}_2)_{x-1} + \text{Si}(\text{OH})_4$. A reação para a direita ocorre em condições de hidratação, e para a esquerda em condições de desidratação (BIRCHALL, 1995).

Da mesma maneira como ocorre com o P, Ca e Mg, o ciclo do Si possui um elevado dreno abiótico, impedindo uma alta abundância na biosfera. Um dos drenos abióticos no solo é a reação do ácido silícico com o Al, formando hidroxialuminossilicatos (HAS). Os HAS podem ser considerados como precursores amorfos da imogolita, um aluminossilicato mineral encontrado em diferentes tipos de solos. A condensação de ácido silícico e a polimerização subsequente, formando a sílica biogênica, representa uma perda elevada de ácido silícico da biosfera. O surgimento e o aumento de organismos formadores de sílica, tem contribuído com uma redução significativa na concentração de ácido silícico no meio ambiente, pois a reação reversa é ordens de magnitude menor (EXLEY, 1998).

Estas perdas substanciais do ácido silícico biosférico, para os drenos bióticos e abióticos, podem ser compensadas pela natureza, de modo global, por meio de sua abundância na crosta terrestre. Entretanto, em ecossistemas específicos, o problema da diminuição do Si pode se tornar economicamente importante. Solos utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de Si, podem tornar-se paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação do Si não é compensada, via de regra, com a fertilização silicatada.

A Figura 1 mostra, resumidamente, o ciclo biogeoquímico do Si. Este ciclo inclui os processos que ligam fontes e drenos do ácido silícico, o qual é o único precursor conhecido

na produção e deposição de Si na biota (EXLEY, 1998). A fração sedimentar do ciclo inclui o material acumulado, cuja dissolução ocorre lentamente. O ciclo do Si, na realidade, é duplo, compreendendo os ciclos terrestre e marinho. O ciclo terrestre, que inclui as águas doces, alimenta o ciclo marinho. Os rios, contendo um valor médio de 0,15 mM de Si, contribuem com cerca de 80% do Si dissolvido que flui para os oceanos, totalizando $6,1 \pm 2 \times 10^{12}$ moles por ano (TRÉGUER et al., 1995). Uma parte deste Si é utilizada por organismos marinhos, como diatomáceas, radiolárias e silicoflagelados, na construção de exoesqueletos.

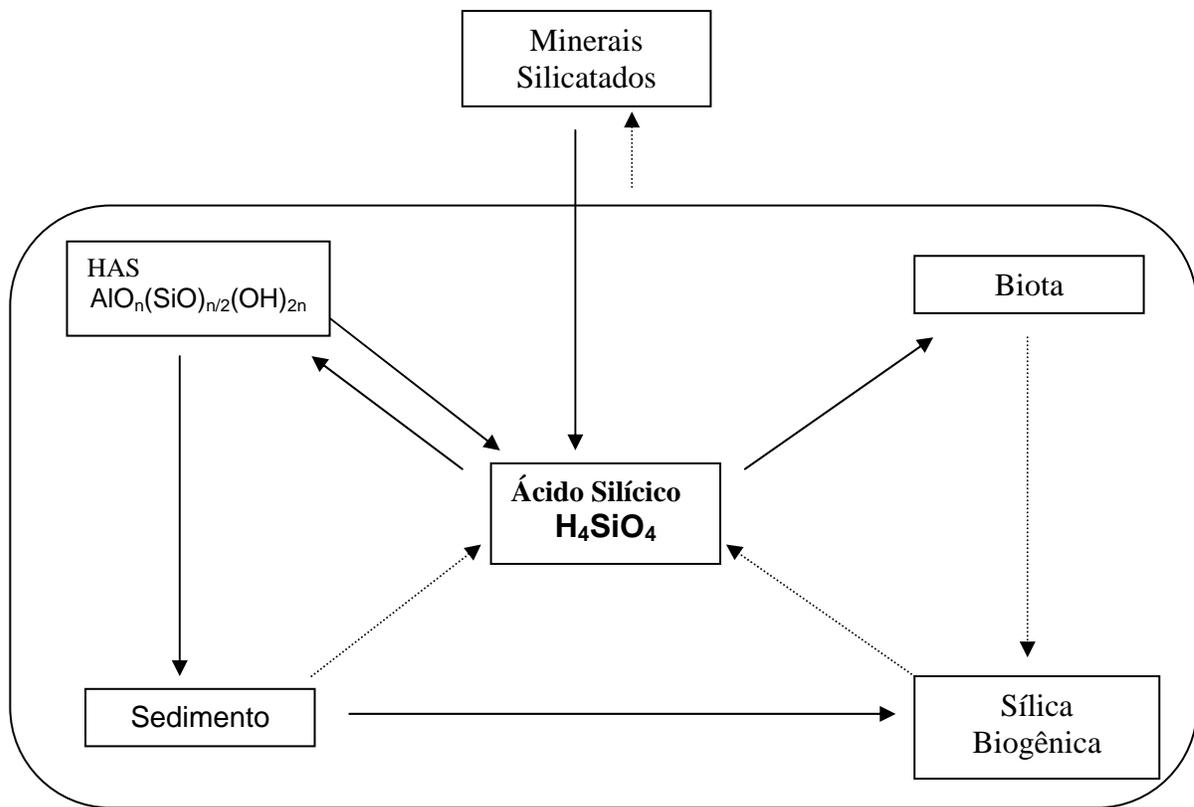


Figura 1 – Ciclo biogeoquímico do Si que ocorre nos oceanos e nas massas continentais. Setas pontilhadas indicam taxas de trocas mais lentas entre os compartimentos. HAS – hidroxialuminossilicatos. (Adaptado de EXLEY, 1998.)

2.4 O Silício no Solo

O Si está presente na solução do solo como ácido monossilícico, a maior parte na forma não dissociada ($pK_1 = 9,6$), o qual é prontamente absorvido pelas plantas (RAVEN, 1983; WERNER E ROTH, 1983; WILD, 1988). 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 (Figura 2).

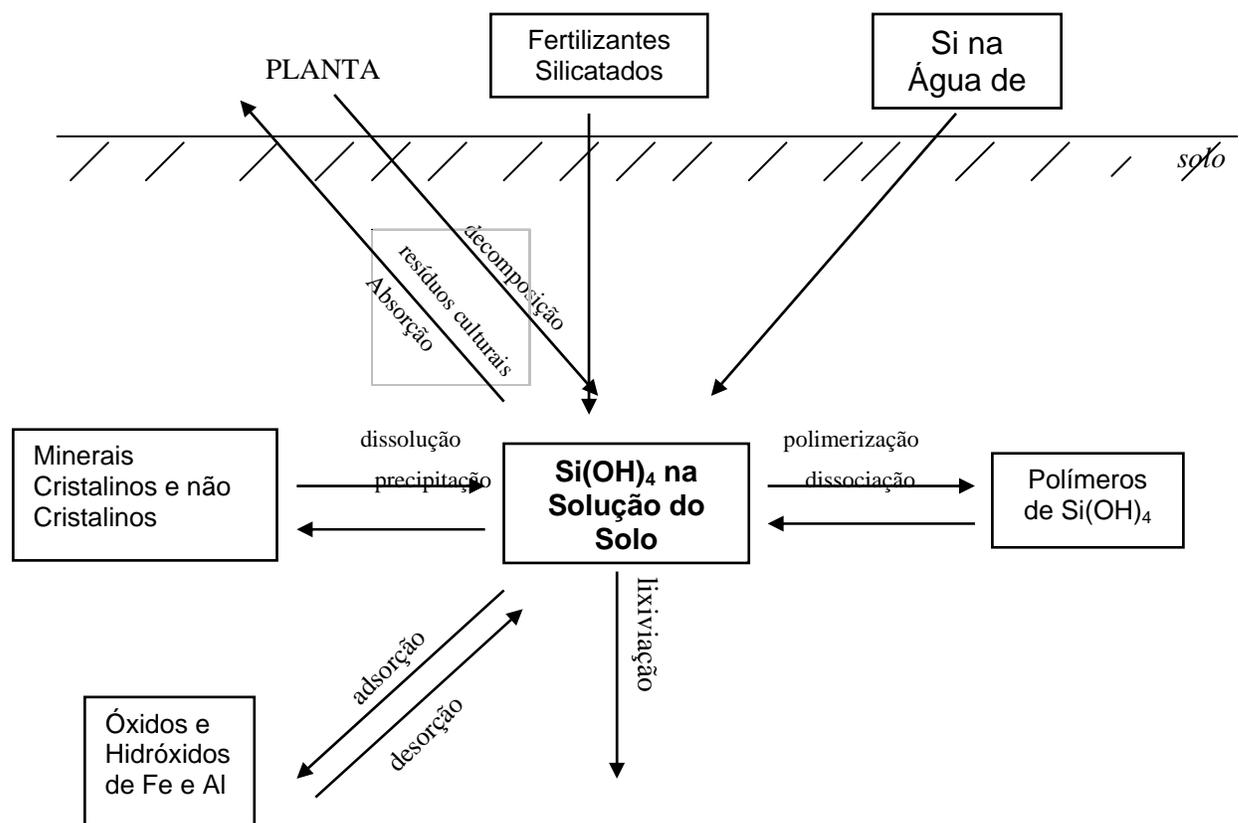


Figura 2 – Transformações e processos mais importantes que influenciam a concentração de Si na solução do solo. (SAVANT et al., 1997b.)

Solos tropicais e subtropicais sujeitos à intemperização e lixiviação, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à desilicificação. Estes solos, normalmente, apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação em bases, e alta capacidade de fixação de P, além de uma atividade microbiológica reduzida. A seqüência crescente de desilicificação em solos é a seguinte: Molissol > Vertisol > Inceptisol >

Alfisol > Ultisol > Oxisol (FRIESEN et al., 1994). A compactação do solo também pode reduzir a quantidade de Si disponível para as plantas, pois aumenta o nível de ácidos polisilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico (MATYCHENKOV et al., 1995). Regiões agrícolas importantes são pobres em Si, como o centro-oeste brasileiro. Em um levantamento dos teores de Si em 44 perfis de solos do Estado de São Paulo, incluindo o horizonte superficial, B textural e B latossólico, Raij & Camargo (1973) encontraram valores entre 2,2 a 92,2 mg kg⁻¹. Solos tropicais altamente intemperizados podem apresentar teores de Si menores do que 2 mg kg⁻¹ no extrato saturado (BRADY, 1992). De modo geral, as soluções dos solos apresentam teores de Si dissolvido variando entre 2,8 e 16,8 mg L⁻¹ (EPSTEIN, 1995).

O fenômeno do declínio da produtividade do arroz, em muitas regiões do mundo, pode estar relacionado com a diminuição do Si disponível nestes solos. Há necessidade de se realizar levantamentos nutricionais dos solos e das culturas, em diferentes ecossistemas através do mundo, para que se possa desenvolver um manejo nutricional integrado específico para cada região, incluindo a nutrição silicatada (SAVANT et al., 1997^a).

As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metasilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes. O metassilicato de potássio é utilizado na Europa, principalmente por produtores de pepino e roseiras, para o controle de oídio (BÉLANGER et al., 1995). Comercialmente, as escórias básicas de siderurgia, que são silicatos de Ca e Mg, além de poderem ser utilizadas como corretivos do solo devido à sua basicidade, são fontes de Si. Os termofosfatos magnesianos (silicofosfatos de magnésio) também caracterizam-se como fontes de silício.

A produtividade da cana-de-açúcar e a síntese de açúcar podem aumentar significativamente devido à aplicação de silicatos de cálcio na forma de escória. As maiores respostas são obtidas no primeiro ano após a aplicação da escória, quando a absorção de Si pela planta aumenta (ANDERSON, 1991; RAID et al., 1992). O mesmo ocorre com a cultura do arroz. Isso sem levar em consideração o aumento da resistência destas culturas a inúmeras doenças, pelo incremento no teor de Si nos tecidos da planta

2.5 O Silício nas Plantas

2.5.1 Essencialidade

A relação entre a absorção do Si e o crescimento vegetal foi investigado pela primeira vez há mais de cem anos. O Si é um nutriente em diatomáceas, que o absorvem ativamente, provavelmente através do cotransporte com o Na. A falta de Si afeta negativamente a síntese de DNA e de clorofila nestes organismos (WERNER, 1977; RAVEN, 1983). É essencial, também, para radiolárias e coanoflagelados. Confirmou-se a essencialidade do Si também para os animais, quando ratos e pintos apresentaram redução de peso e mudanças patológicas na formação, e nas estruturas de tecidos conectivos colaginosos e dos ossos. A deficiência de Si afetou a osteogênese em ratos (SCHWARZ & MILNE, 1972), e a síntese de tecidos conectivos em pintos (CARLISLE, 1972). A essencialidade do Si para as plantas superiores, porém, foi demonstrada apenas para algumas espécies, apesar de ser um constituinte majoritário dos vegetais (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995). CHEN & LEWIN (1969) comprovaram a essencialidade do Si para membros da família *Equisitaceae* (“cavalinha” ou “rabo de cavalo”). Os mecanismos bioquímicos, responsáveis pelos efeitos da deficiência de Si, ainda não estão elucidados, não havendo evidência para qualquer ligação orgânica (BIRCHALL et al., 1996).

A comprovação da essencialidade do Si é muito difícil de ser obtida, devido à sua abundância na biosfera. O Si está presente em quantidades significativas mesmo em sais nutrientes, água e ar altamente purificados (WERNER & ROTH, 1983). Apesar disso, o fornecimento de Si é benéfico para muitas espécies vegetais e, em determinadas circunstâncias, para a maioria das plantas superiores (MARSCHNER, 1995). O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal através de várias ações indiretas, como a diminuição do auto-sombreamento, deixando as folhas mais eretas; decréscimo na suscetibilidade ao acamamento, maior rigidez estrutural dos tecidos; proteção contra estresses abióticos, como a redução da toxidez de Al, Mn, Fe e Na; diminuição na

incidência de patógenos, e aumento na proteção contra herbívoros, incluindo os insetos fitófagos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

Adatia & Besford (1986) observaram, em pepineiros, vários efeitos devido à adição de Si (100 mg kg^{-1}) ao meio nutritivo: aumento no teor de clorofila, maior massa foliar (fresca e seca) específica, atraso na senescência, e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais mantinham-se mais horizontais. A melhor arquitetura foliar permite maior penetração de luz solar, maior absorção de CO_2 e diminuição da transpiração excessiva, o que permite o incremento da taxa fotossintética (TAKAHASHI, 1995). Constatou-se, em plantas de arroz, que a suplementação de Si proporciona um aumento na produção e na massa individual das sementes, diminuição da esterilidade e do teor de Mn, e maior taxa fotossintética (MATOH et al., 1991; PERSHIN et al., 1995). A deficiência de Si em soja causa sintomas característicos, como a malformação de folhas novas e redução da fertilidade do grão de pólen (MIYAKE & TAKAHASHI, 1985).

A diferença no comprimento das lâminas foliares, principal fator responsável pela altura do arroz, tende a aumentar de acordo com o desenvolvimento das plantas de arroz. A maior expansão foliar determina maior taxa de assimilação de CO_2 por planta. Com isso, há uma maior translocação de assimilados para a produção de grãos, aumentando a produtividade (TAKAHASHI, 1995).

De modo geral, as plantas terrestres contêm Si em quantidades comparáveis aos macronutrientes, variando de 0,1 a 10%, colocando-se como um constituinte mineral majoritário. Em culturas como o arroz e a cana-de-açúcar, o teor de Si pode igualar ou exceder aquele do N (RAFI et al., 1997; EPSTEIN, 1995). Em média, estima-se que para produzir 5 toneladas de grãos, a cultura do arroz remove de 500 a 1000 kg de SiO_2 por hectare. Culturas acumuladoras de Si, principalmente, beneficiam-se da adubação com este elemento, particularmente em solos altamente intemperizados e desilicatados, aumentando ou mantendo elevadas produtividades. Em arroz, postula-se a essencialidade agrônômica do Si, em vista dos diversos benefícios advindos com a nutrição deste elemento. Estes benefícios incluem o aumento no crescimento e na produção, interações positivas com

fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumento na resistência a estresses bióticos (doenças e pragas) e abióticos (seca, salinidade, acamamento), e aumento na produtividade em solos problemáticos, como os solos orgânicos e solos ácidos com níveis tóxicos de Al, Fe e Mn (SAVANT et al., 1997b).

A contribuição do Si para a planta do arroz pode ser visualizada através da Figura 3. O grau de expressão do Si, nos processos relacionados no fluxograma, está relacionado com o nível de nitrogênio. O efeito do Si tende a ser mais intenso em cultivos com adubações nitrogenadas pesadas (TAKAHASHI, 1995). Os conceitos de essencialidade estabelecidos por Arnon & Stout (1939) são, até hoje, considerados válidos e inteiramente satisfatórios: I) a deficiência do elemento torna impossível para a planta completar a fase vegetativa ou reprodutiva do seu ciclo de vida; II) a deficiência do elemento é específica, sendo impedida ou corrigida com o fornecimento deste elemento; III) o elemento está diretamente relacionado com a nutrição da planta, não levando em conta os possíveis efeitos na correção de quaisquer condições químicas ou microbiológicas do solo, ou outro meio de cultura.

Estes critérios, porém, esbarram nos avanços da microquímica, com técnicas cada vez mais refinadas na remoção de contaminantes dos sais nutrientes, e na própria natureza destes conceitos de essencialidade, que são rígidos (EPSTEIN, 1995).

De acordo com Epstein (1994, 1995), o uso de soluções nutritivas convencionais, ou seja, sem adição de Si ao meio nutriente, pode tornar as plantas “artefatos experimentais”, ou seja, produtos vegetais artificiais. O Si está envolvido em inúmeras características físicas das plantas, e envolvido em uma série de eventos fisiológicos, favorecendo a fotossíntese. A falta do Si pode, portanto, resultar em diminuição da capacidade biológica da planta em resistir às condições adversas do meio ambiente (RAFI et al., 1997).

Quando são realizados experimentos, com o objetivo de selecionar genótipos tolerantes a estresses abióticos, como aqueles relacionados ao complexo de acidez do solo

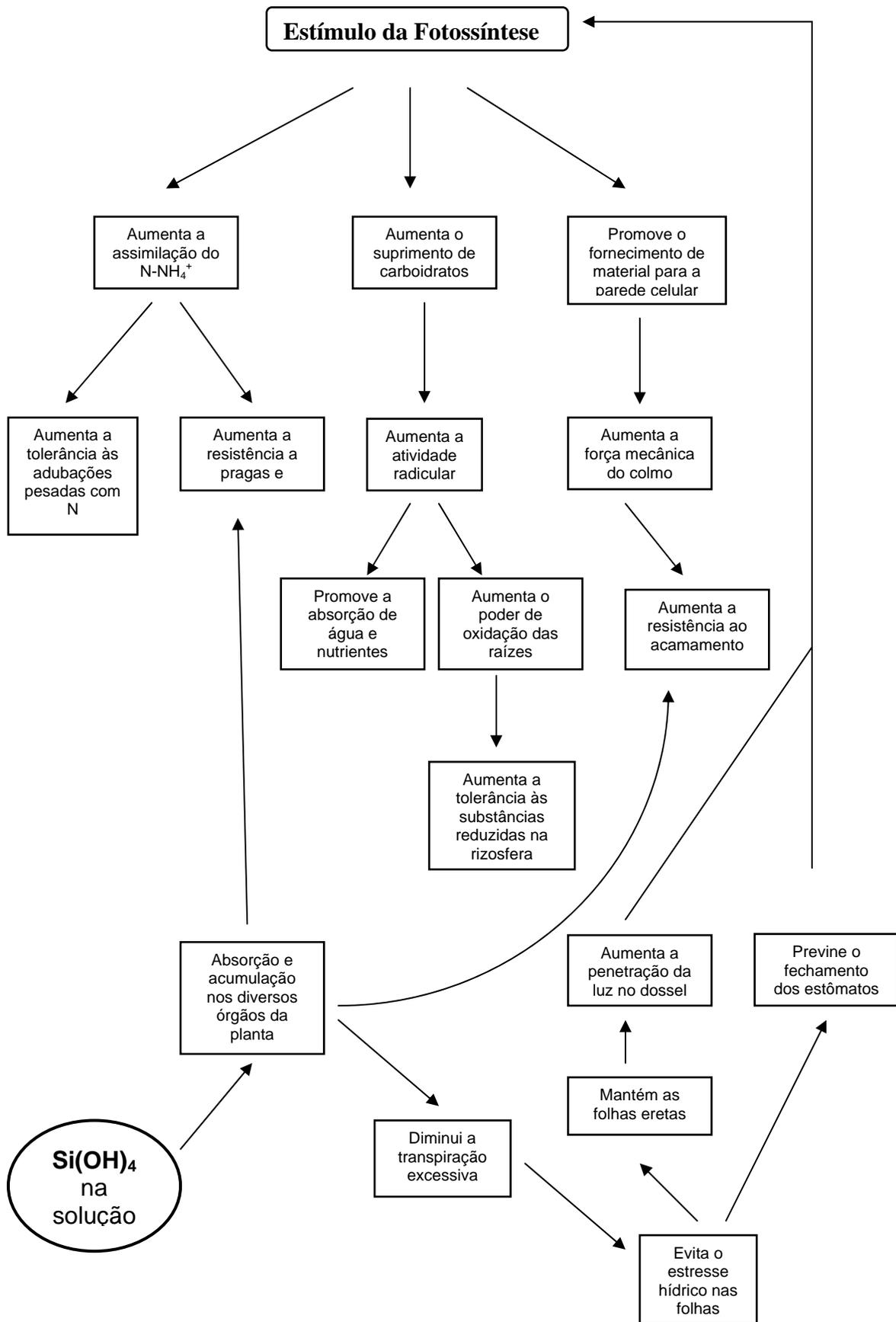


Figura 3 - Papel fisiológico do Si em arroz. (TAKAHASHI, 1995.)

(excesso de Al e Mn), ou à salinidade, com altas concentrações de sais de Na, normalmente o Si não é incluído na formulação das soluções nutritivas usadas em pesquisas de estresses minerais. Todavia, evidências experimentais indicam que o Si deve fazer parte destas soluções.

Plantas selecionadas em condições hidropônicas serão posteriormente cultivadas em solo com Si disponível. Conseqüentemente, a resposta destas plantas ao estresse, em condições de campo, pode ser diferente daquela observada em condições no qual o meio nutriente é deficiente em Si. O Si é normalmente incluído na formulação das soluções nutritivas na Universidade da Califórnia, desde 1988. A concentração utilizada de Si é de $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$, na forma de Na_2SiO_3 (EPSTEIN, 1994; 1995).

Os trabalhos de pesquisa que se propõem a demonstrar a essencialidade do Si, tanto em animais como em plantas, falham em descrever o mecanismo de ação deste elemento. No entanto, a diminuição na resistência a fatores estressantes, bióticos ou abióticos, poderá ocorrer quando a concentração do ácido silícico estiver abaixo de um limite crítico. Nestas condições, se as mudanças bioquímicas que se manifestam em uma planta são danosas a ela, então pode-se definir a essencialidade do Si (EXLEY, 1998).

2.5.2 Aquisição de Silício pelas Plantas

As plantas diferem bastante na sua capacidade de absorver o Si. Até mesmo genótipos de uma espécie podem apresentar concentrações de Si que variam por um fator superior a três, como demonstrado para cevada (NABLE et al., 1990). Lanning (1960) encontrou diferenças marcantes no teor de Si, nos diferentes órgãos, entre cultivares de morangueiros. Genótipos de arroz diferem no teor de Si, respondendo de modo distinto à aplicação do elemento (WINSLOW, 1992; DEREN et al., 1992). Grothge-Lima (1998) observou diferenças genótípicas significativas em soja, quando o substrato apresentava níveis elevados de Si. Com adição de 100 mg L^{-1} de Si à solução nutritiva, o cultivar Garimpo Comum absorveu e translocou para a parte aérea 37% e 22% mais Si que o cultivar Emgopa 301, com a presença ou ausência de nodulação, respectivamente. Em um levantamento com 175 espécies vegetais que cresceram em um mesmo solo, Takahashi & Miyake (1977), distinguiram-nas em acumuladoras de Si – a absorção de Si excedendo a

absorção de água, e não acumuladoras – a absorção de Si sendo similar ou menor do que a absorção de água. Em arroz, genes aditivos e não aditivos parecem estar envolvidos no mecanismo de absorção do silício (MAJUMDER et al., 1985).

Posteriormente, Miyake & Takahashi (1985) caracterizaram as plantas em três tipos, quanto à absorção de Si: 1. Acumuladoras, com um teor bastante elevado de Si, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica. O arroz e a cana-de-açúcar são exemplos típicos deste grupo de plantas; 2. Não Acumuladoras, caracterizando-se por um baixo teor do elemento, mesmo com altos níveis de Si no meio, indicando um mecanismo de exclusão. Exemplo típico é o tomateiro, que acumula a maior parte do Si absorvido nas raízes; 3. Intermediárias, as quais apresentam uma quantidade considerável de Si, quando a concentração do elemento no meio é alta. As cucurbitáceas e a soja, por exemplo, enquadram-se no terceiro tipo, pois translocam o Si livremente das raízes para a parte aérea.

2.5.3 O Silício no Controle de Doenças

Embora sejam geneticamente controlados, a resistência e a tolerância das plantas às doenças são bastante influenciados por fatores ambientais. Neste contexto, a nutrição mineral da planta pode ser considerada como um fator ambiental que pode ser manipulado de modo relativamente fácil, tornando-se um componente importante de controle das doenças. Muitos trabalhos mostram o Si como um fator que influencia o grau de suscetibilidade de cereais e de várias dicotiledôneas ao ataque de fungos (MARSCHNER, 1995).

Em monocotiledôneas, a associação entre o Si e a redução de doenças fúngicas é conhecida há bastante tempo. O efeito inibidor do Si em doenças causadas por fungos, porém, não é restrito somente às gramíneas. Lima Filho et al. (1999b) apresenta exemplos significativos de redução na incidência e desenvolvimento de doenças de mono e dicotiledôneas. O fornecimento do Si através de solução nutritiva aumenta a resistência da soja ao cancro da haste. Em trabalho desenvolvido por Grothge-Lima (1998), a extensão da lesão, provocada pelo fungo na medula de plantas de soja infectadas, diminuiu em até 90%.

A diminuição da lesão foi linear até a adição de 40 mg kg⁻¹ de Si ao meio nutritivo, cerca de 4000 mg kg⁻¹ de Si nas folhas, ou 550 mg kg⁻¹ de Si nas hastes da soja.

Além da barreira física, o silício possibilita que a planta desenvolva uma barreira química. Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e/ou silicificação. A sílica amorfa ou “opala”, localizada na parede celular, tem efeitos notáveis sobre as propriedades físicas desta. O acúmulo e deposição de Si nas células da camada epidérmica pode ser uma barreira física efetiva na penetração da hifa (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

O Si também age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (SAMUELS et al., 1991; CHÉRIF et al., 1992^a, CHÉRIF et al., 1992^b; CHÉRIF et al., 1994). Estes mecanismos incluem a síntese de compostos fenólicos e enzimas, como polifenoloxidasas, peroxidases, quitinases, etc. (MENZIES et al., 1991; CHÉRIF et al., 1994).

2.5.4 Fontes de Silício para a Agricultura

As fontes de Si normalmente utilizadas em pesquisas são os metassilicatos de sódio e potássio, além do ácido silícico, com efeitos semelhantes. O metassilicato de potássio é utilizado, em pulverizações foliares, para o controle de doenças (por exemplo, oídio) de algumas culturas, como roseiras e cucurbitáceas (BÉLANGER et al., 1995). No Brasil esta fonte é pouco disponível no mercado.

Tipo de Escória	Origem	SiO ₂ %
Alto Forno	Manesmann / BH	40-42
Alto Forno	Acesita / Ouro Branco	38-40
Alto Forno	CST / Vitória	36-38
Aciaria	Manesmann / BH	16-22
Aciaria	Acesita / Ouro Branco	12-16
Aciaria	CST / Vitória	16-18

4.□ Piau, W.C. (1999), dados não publicados

Tabela 1 - Teor de Si em algumas escórias agrícolas de aciaria e alto forno*

Comercialmente, as escórias básicas de siderurgia, que são silicatos de Ca e Mg, além de poderem ser utilizadas como corretivos do solo devido à sua basicidade, são as fontes mais importantes de Si.

Os termofosfatos magnesianos (silicofosfatos de magnésio) também caracterizam-se como fontes de Si.

O Tabela 1 apresenta os teores médios de Si em algumas escórias agrícolas brasileiras. Apesar do menor teor nas escórias de aciaria, a liberação do Si é maior, por conter maior proporção de sílica amorfa.

2.6 Sílicio e as enzimas antioxidantes

Muitos pesquisadores tem observado que o silício está envolvido em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos, portanto, o de promover melhorias no metabolismo, ativar genes de produção de fenóis e enzimas relacionadas com mecanismos de defesa da planta (EPSTEIN, 1994). A aplicação de silício ajuda a manter a estabilidade redox de plantas submetidas a estresse salino (AL-AGHABARY et al, 2004; LIANG et al, 2003) mantendo a atividade de enzimas antioxidantes ao nível de controle sem estresse.

De acordo com Moldes, et al. (2006) distintas concentrações de silício promove a atividade de enzimas antioxidantes tais como a catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GOPX) e superóxido dismutase (SOD), a variação dos níveis de peroxidação lipídica e as relações entre o mecanismo antioxidante das folhas e raízes de algodão com o uso de silício.

Segundo Moldes et al. (2006) em análises de regressão linear realizadas, o silício se comporta como se estivesse induzindo a atividade de APX (Figura 6) e SOD (Figura 8) e inibindo a atividade CAT (Figura 5). Por outro lado a atividade GOPX (Figura 8) não varia de forma significativa nas raízes e folhas, o que se tem observado é que basta 50 mg L⁻¹ a atividade de GOPX em raiz diminui fortemente, o que também é observado para APX.

A peroxidação lipídica (Figura 5) praticamente não varia na folha. A diminuição na raiz pode estar sendo provocada por uma mudança em um novo estado homeostático causado por silício em função de sua concentração em solução nutritiva. Pode-se considerar que existe uma tendência geral na diminuição da atividade de enzimas antioxidantes em raiz pelo menos em uma concentração de silício de 50 mg L⁻¹. O decréscimo da atividade de enzimas antioxidantes e a redução da peroxidação lipídica demonstra evidências de um novo estado redox provocado por silício.

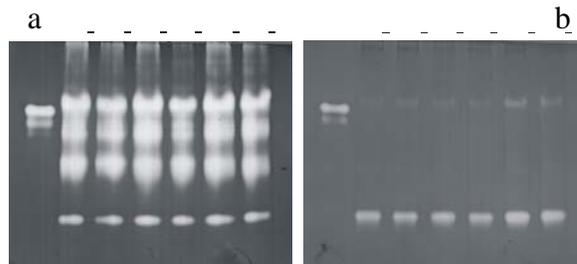


Figura 4 - Isoenzimas SOD de folha (a) e raiz (b)

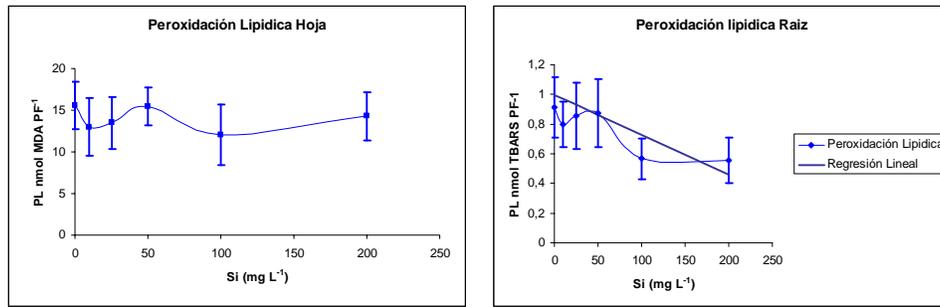


Figura 5. Peroxidación lipídica de folha e raiz.

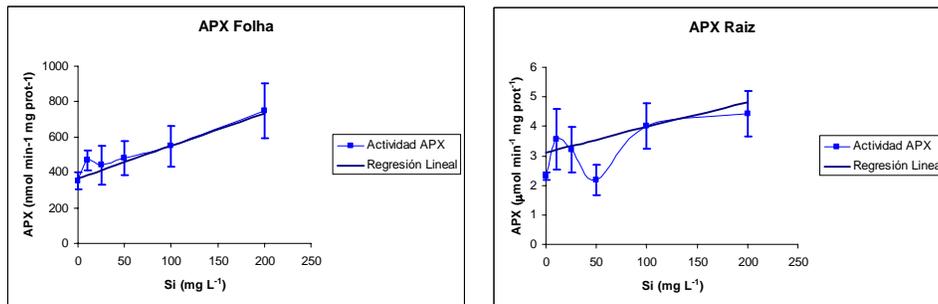


Figura 6. Atividade APX de folha e raiz.

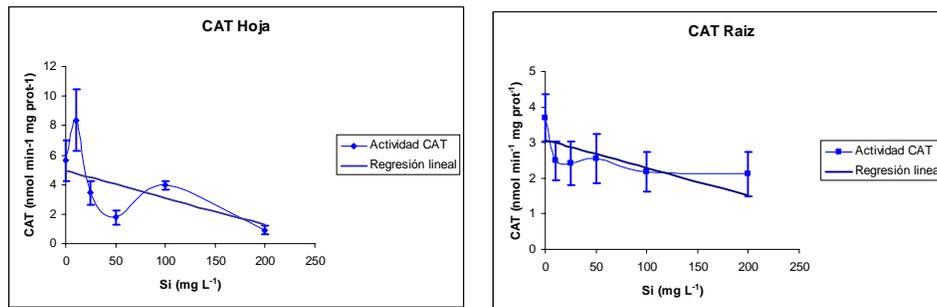


Figura 7. Atividade CAT de folha e raiz.

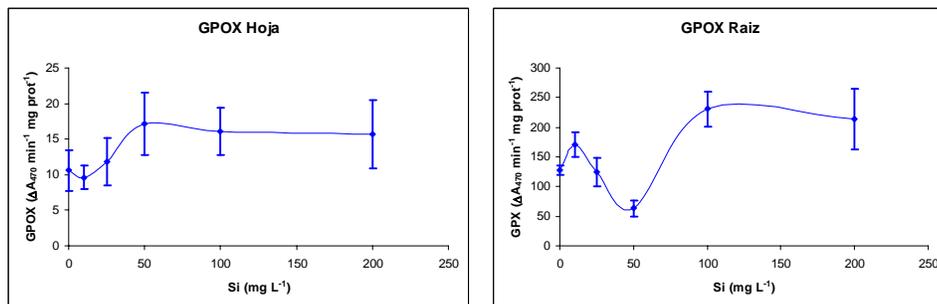


Figura 8 – Atividade GPOX de folha e raiz

2.6 Catalase (CAT)

A CAT é uma enzima que elimina H_2O_2 através de uma dismutação bivalente onde H_2O_2 é transformado em O_2 e H_2O . Alternativamente, as catalases em condições de baixas concentrações de H_2O_2 podem usar outros doadores de elétrons como o metanol, o etanol, o formoldeído, o ácido fórmico, ascorbato e fenóis. No entanto, dados cinéticos sugerem que a CAT mitocondrial é mais eficiente como Peroxidase, enquanto que a CAT do peroxissômo é mais eficiente como dismutase (CHAUDIÉRE; FERRARI-ILIOU, 1999).

A CAT é uma enzima tetramérica que contém grupos heme e é encontrada em todos os organismos vivos. Em plantas existem pelo menos três tipos de CATs distintas, que diferem em termos de localização e regulação biossintética (SCANDALIOS; GUAN; POLIDOROS, 1997): (1) aquelas presentes em sistemas fotossintéticos e que tem funções de eliminação de H_2O_2 durante a fotorrespiração; (2) produzidas pelo tecido vascular que tem papel na lignificação e (3) abundantes em sementes e plantas novas e sua atividade é relacionada com a remoção do excesso de H_2O_2 produzido pela degradação de ácidos graxos no ciclo do glioxilato nos glioxisômos (VAN BREUSEGEM et al, 2001).

As evidências sugerem que a CAT utiliza um mecanismo de dois estágios tanto nas reações peroxidativas como nas catalíticas. No primeiro estágio o ferro do grupo heme da CAT interage com o H_2O_2 para formar o peróxido de ferro rico em oxigênio. Este composto intermediário é denominado componente I. Nas baixas concentrações de H_2O_2 ($< 10^{-6}$ M), o componente I pode ser reduzido a uma variedade de doadores de hidrogênio (por exemplo: o etanol ou ácido ascórbico). Com elevadas concentrações de H_2O_2 , o componente I reage com uma segunda molécula de H_2O_2 para produzir água e e uma molécula de oxigênio (SCANDALIOS, 1994).

4.2.4 Peroxidases (POX)

As peroxidases estão presentes em todos os compartimentos celulares e catalisam a transferência de elétrons de H_2O_2 usando diferentes substratos reduzidos como doadores.

As POXs de plantas aumentam em resposta a vários estresses bióticos e abióticos, participam no catabolismo de auxinas e em processos de síntese de parede celular como a oxidação de fenóis, suberização e lignificação em plantas hospedeiras durante a reação de defesa contra patógenos (SYROS et al., 2004). O aumento de peroxidases tem sido correlacionado com mecanismos de resistência em um grande número de interações plantas-microorganismos (MOHAMMADI; KAZEMI, 2002).

Também a quantificação e caracterização das peroxidases são importantes no sucesso de enxertia de ameixeiras (*Prunus sp*), tanto que seria necessário que houvesse similaridade entre peroxidases do enxerto e o porta-enxerto para que ocorra produção de correlatas ligninas (RODRIGUES et al., 2002).

A atividade POX é aumentada frequentemente em resposta a hormônios relacionados com estresse, tais como ácido abscísico e etileno.

Caminhos metabólicos enunciados anteriormente incluem peroxidases de funções específicas na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio e dentre as peroxidases mais importantes estão a APX e GPX.

A APX, é uma enzima presente em quase todos os compartimentos celulares e faz parte de duas vias metabólicas que agem na desintoxicação de H_2O_2 , o ciclo da água e o ciclo da ascorbato-glutationa (MITTLER, 2002).

O ciclo da ascorbato-glutationa é encontrado em quase todos os compartimentos celulares (RIZHSKY; LIANG; MITTLER, 2003). O ascorbato reduz o H_2O_2 a água pela APX e o produto monodeidroascorbato (MDA) formado, volta a se reduzir a ascorbato por três vias: a

primeira é por causa da dismutação espontânea que sofre a MDA que produz ascorbato e deidroascorbato (DHA): na segunda via, o MDA é reduzido enzimaticamente pela monodeidroascorbato redutase (MDAR); numa terceira via, o DHA formado da primeira via é reduzido a ascorbato pela deidroascorbato redutase, que utiliza glutationa como agente redutor. A glutationa oxidada é regenerada pela GR. Tanto a GR como a MDAR consomem NADPH como fonte de elétrons para reduzir os seus correspondentes substratos (MITTLER, 2002).

No ciclo da água-água também tem participação da APX, porém em via diferente que está localizada no cloroplasto e atua parte do metabolismo da fase “luminosa” da fotossíntese. O $\bullet\text{O}_2^-$ formado pela transferência de um elétron do PSI para o O_2 , é dismutado em H_2O_2 e O_2 pela SOD e seguidamente o H_2O_2 é eliminado pela APX. O ciclo água-água utiliza elétrons da ferredoxina para regenerar ascorbato, portanto não tem consumo de NADPH nesta via metabólica (MITTLER, 2002).

Glutationa peroxidases são uma família de múltiplas isoenzimas que catalizam a redução de H_2O_2 , hidroperóxidos orgânicos e lipoperóxidos por redução de glutationa. A enzima é uma das poucas que contém na sua estrutura primária um raro aminoácido, a selenocisteína que é codificado por um triplete TGA (normalmente é uma sequência de terminação). A substituição do enxofre por selênio contribui para que este aminoácido tenha um grande poder nucleofílico e menor pK do que a cisteína. Assim a enzima GPX na qual o aminoácido selenocisteína é considerado seu sítio catalítico, adquire um grande potencial redox para o seu substrato (CHAUDIÈRE; FERRARI-ILIOU, 1999).

A atividade GPX tem sido detectada em extratos celulares de plantas superiores utilizando H_2O_2 e hidroperóxidos orgânicos como substratos. No entanto, ao menos uma parte desta atividade poder devida à presença de GST que também é conhecido por ter alguma atividade GPX (CHURIN; SCHILLING; BORNER, 1999).

4. □ MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o experimento em condições hidropônicas, utilizou-se de vasos com capacidade de 3,2 litros (Figura 10), de solução nutritiva de Johnson et al. (1957), modificada, dada a seguir (em mL.L^{-1}): KNO_3 M – 4,0; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ M – 3,0; $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ M – 2,0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ M – 1,0; Micronutrientes [KCl 50mM; H_3BO_3 25mM; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2,0 mM; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2,0 mM; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,5 mM; H_2MoO_4 (85% MoO_3) 0,5 mM] – 1,0; Fe-EDTA 20 mM – 1,0. As soluções nutritivas foram corrigidas para pH inicial igual a 6,0, continuamente arejadas e substituídas quinzenalmente.



Figura 9 – Semeadura do algodão cultivar BRS-Cedro em bandejas com 24 células com 4 a 6 sementes, utilizou-se substrato de areia grossa e lavada

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, cujo delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com seis tratamentos: (0, 10, 25, 50, 100 e 200) mg.L^{-1}

de silício, e com 05 repetições. A fonte de silício utilizada nos tratamentos, com exceção da testemunha, foi o metassilicato de sódio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).



Figura 10 – Situação do experimento após o transplante do algodão

Os parâmetros avaliados foram os seguintes: teor de silício foliar e raiz, matéria seca, teor de potássio na planta, e por meio do aparelho IRGA (Infra-red Gás Analyzer) conforme demonstrado na Figura 11, a fotossíntese, transpiração, condutância estomática, e concentração interna de CO_2 ;

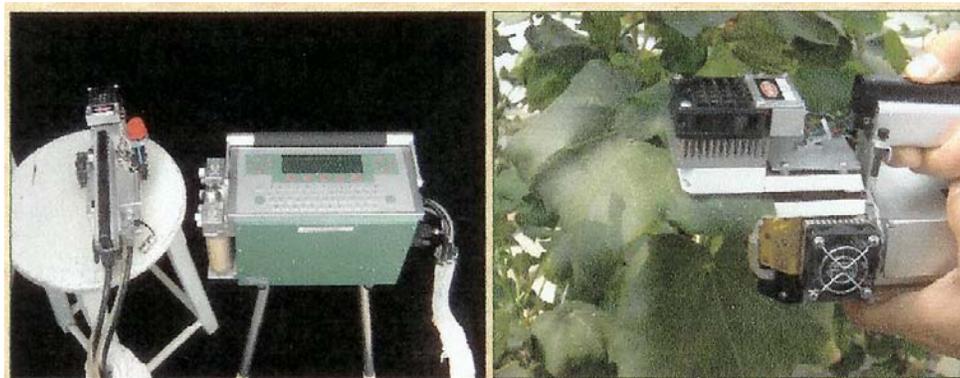


Figura 11 – Equipamento IRGA (Infra-red Gás Analyzer). Avaliação da fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO_2 entre 110 a 165 dias da semeadura

Após a colheita e o beneficiamento para qualidade de fibra, submetida a análise de HVI (High Volume Instruments) conforme figura 12, os seguintes parâmetros: % de fibra, peso de 100 sementes, peso de capulho, comprimento da fibra, uniformidade no comprimento da fibra, índice de fibra curta, tenacidade da fibra, alongação, micronaire, maturidade da fibra, finura, teor de açúcar na fibra (deposição), reflectância, cor amarelada e tenacidade do fio.



Figura 12 – Equipamento HVI (High Volume Instruments) utilizado para realização das análises de qualidade de fibra conforme padrões internacionais – USDA (United States Department of Agriculture)

A cultivar utilizada no experimento foi a BRS-Cedro, produzida em parceria da EMBRAPA com a FUNDAÇÃO-GO, material amplamente cultivado na região dos cerrados do Brasil. A semeadura foi realizada em bandejas (Figura 9) com 24 células e como substrato foi utilizado areia grossa e lavada, onde semeou-se 4 a 6 sementes por célula.

As plantas permaneceram nas bandejas até o décimo segundo dia, quando foram transplantadas com o número de duas para cada vaso com os devidos tratamentos em condições de hidroponia.

Na colheita, realizou-se 2 coletas, a primeira ocorreu no início do florescimento para avaliação da absorção, distribuição e acumulação de silício e demais nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) (MALAVOLTA et al., 1997). A colheita final da pluma em caroço iniciou-se quando a cultura atingiu maturação fisiológica, e quando os capulhos estavam aproximadamente 95% abertos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de Silício

Conforme os resultados das análises de silício foliar (Figura 9) verifica-se que os teores aumentam de acordo com o aumento nas doses de silício na solução.

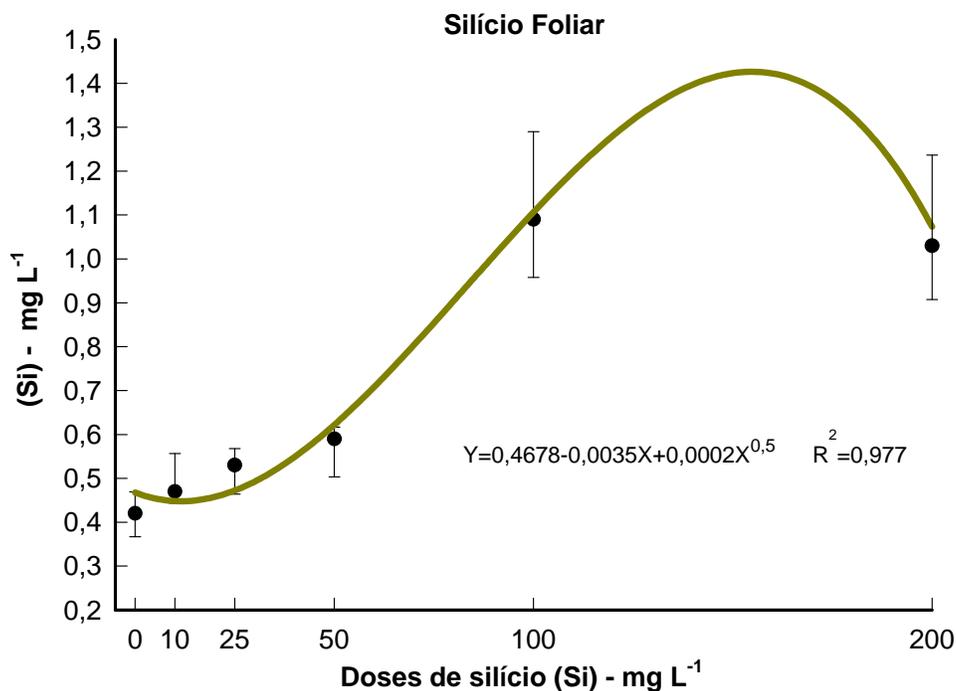


Figura 13 – Teor de silício contido na folha do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg L⁻¹ tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva

Observa-se que o algodoeiro absorveu quantidades crescentes de silício conforme o aumento na concentração na solução nutritiva, porém em maior quantidade nas raízes (Figura 14).

Observação visual durante a condução do experimento, notou-se um nível bastante baixo de oxidação nas raízes nos tratamentos com silício acima de 50 mg.L⁻¹, as quais

apresentaram raízes bastante translúcidas e cristalinas, o que corroboram com os dados citados por Moldes et al, (2006).

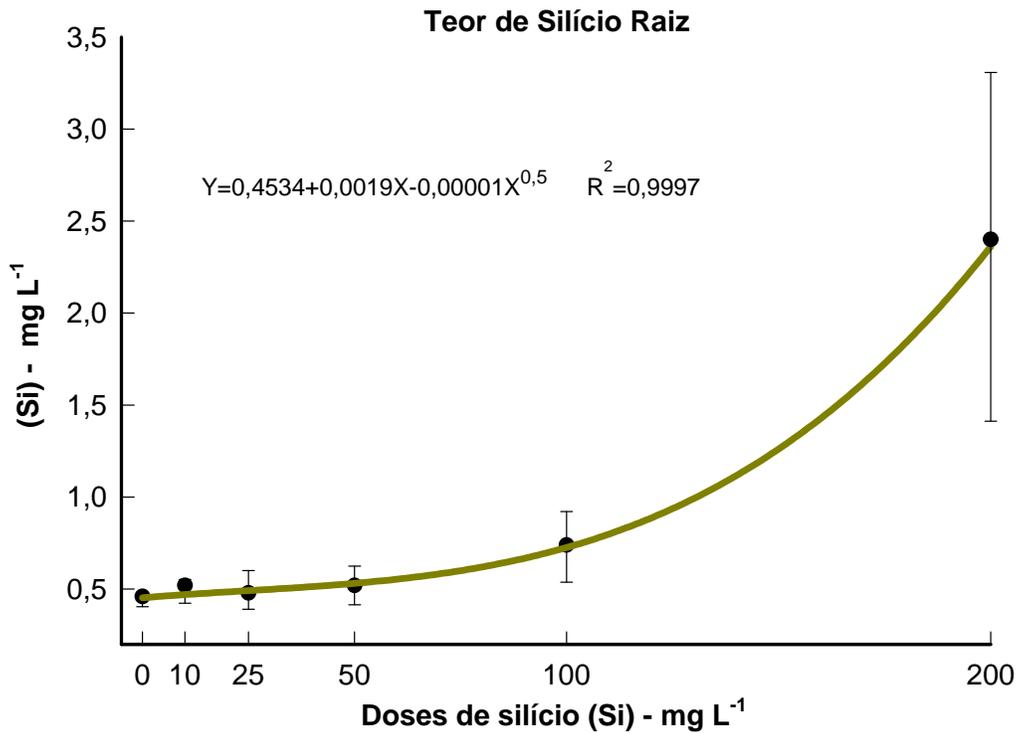


Figura 14 – Teor de silício contido na raiz do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg L⁻¹ tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva

Conforme os resultados das análises de silício total (Figura 15), verifica-se que os teores aumentam de acordo com o aumento nas doses de silício na solução nutritiva, indicando uma elevação gradual até o tratamento de 200 mg L⁻¹ de silício.

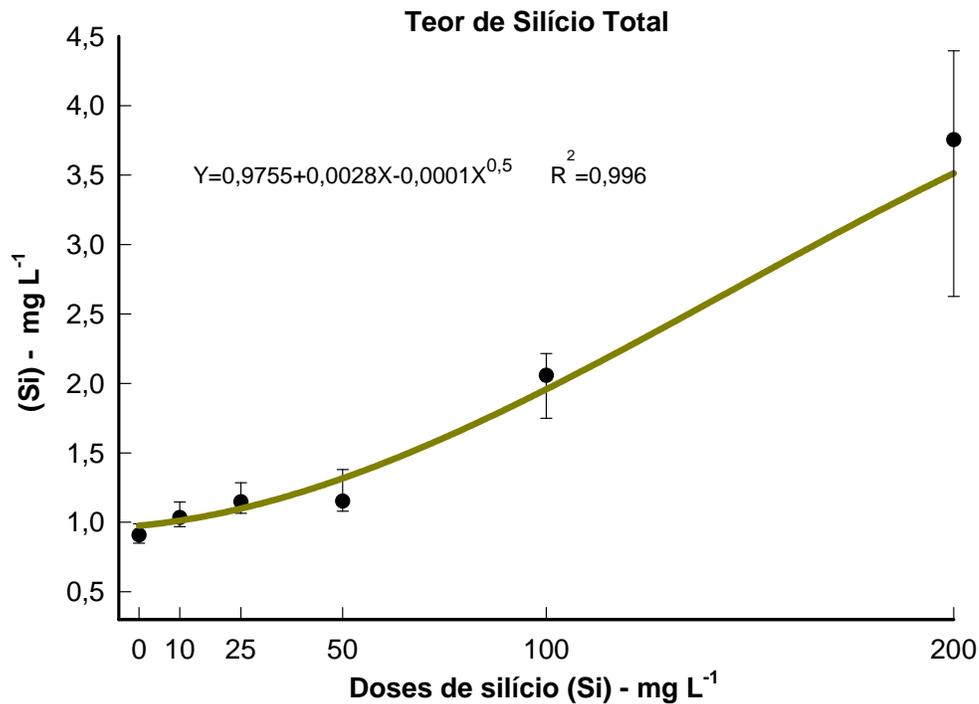


Figura 15 – Teor de silício total do algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg L⁻¹ tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva

4.2 Análises de Fotossíntese, Transpiração, Condutância Estomática e Concentração de CO₂

O silício é considerado por muitos autores como um promotor de fotossíntese melhorando a penetração da luz no dossel da planta por manter as folhas mais eretas; aumenta a atividade radicular, promovendo a absorção de água e nutrientes, (SHI et al, 2001).

Conforme os resultados apresentados a seguir (Figura 16) a fotossíntese respondeu gradativamente de acordo com o aumento das doses de silício nos tratamentos, estes dados corroboram com autores citados anteriormente neste trabalho

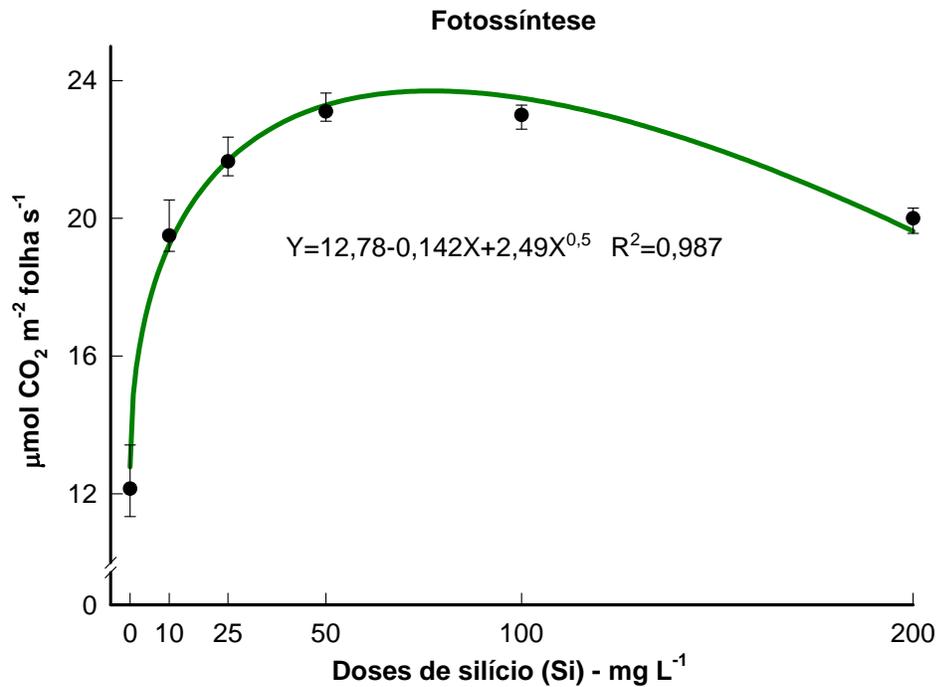


Figura 16 – Fotossíntese expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ folhas s}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva

Resultados de transpiração ocorreram interações positivas (Figura 17), pois, a presença do silício demonstra equilíbrio evitando a transpiração excessiva, citado por (TAKAHASHI, 1995).

O dados apresentados de transpiração implica dizer que houve uma diminuição da perda de água da planta para a atmosfera, ou seja, a planta suportará melhor aos estresses hídricos provenientes dos veranicos que acontecem frequentemente na maioria das regiões brasileiras.

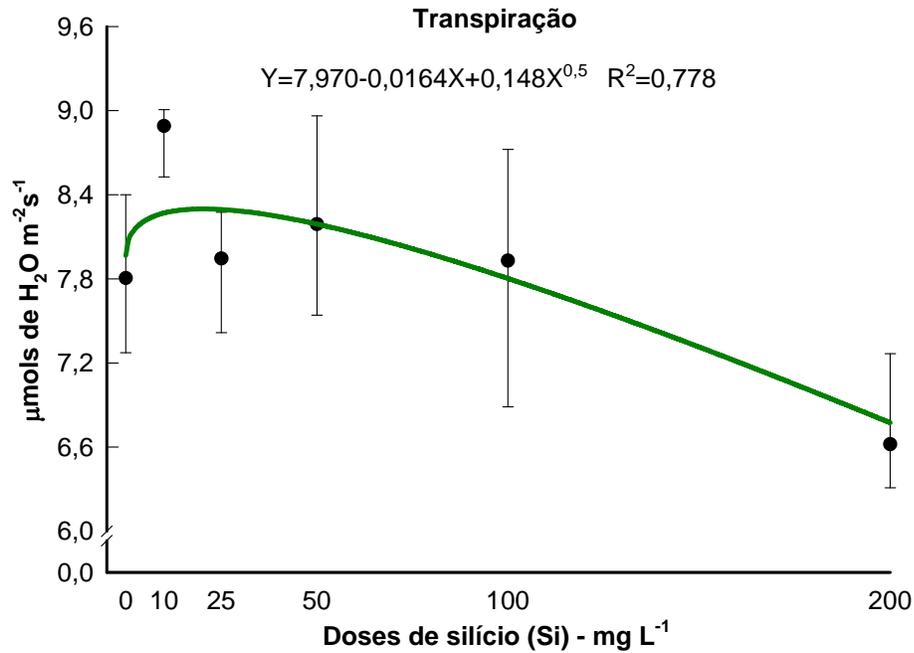


Figura 17 – Transpiração expressa em $\mu\text{mols H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva utilizando silicato de sódio

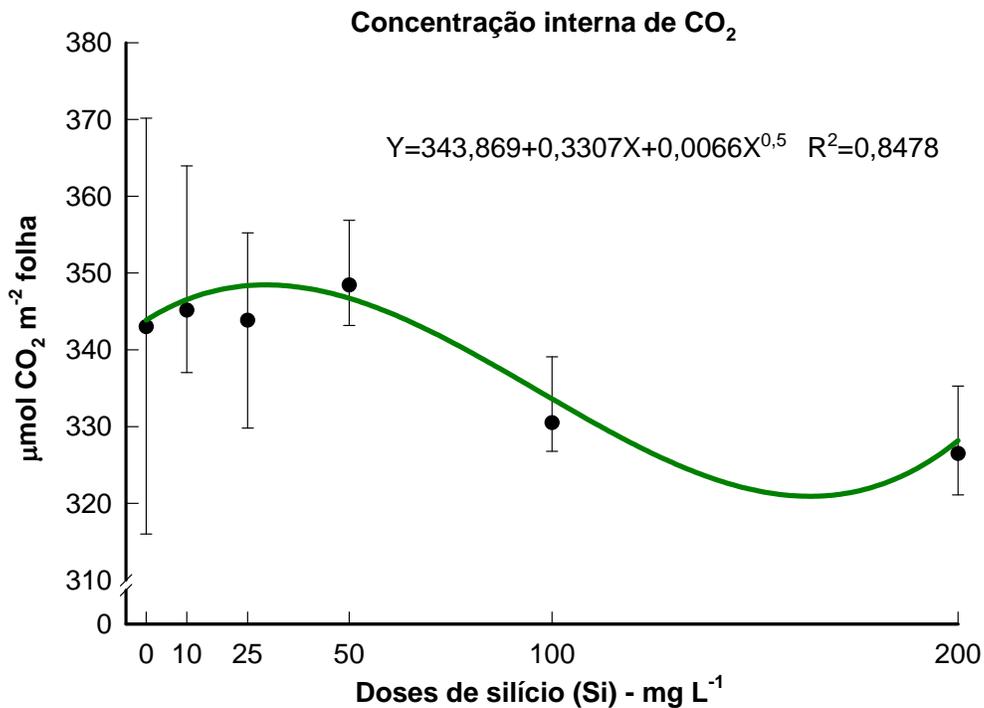


Figura 18 – Concentração de interna de CO₂ expressa em $\mu\text{mol CO}_2$ folhas, em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva

A maior absorção de CO_2 nos tratamentos de 25 a 50 mg.L^{-1} , permitiu um incremento na expansão foliar consequentemente maior taxa fotossintética (Figura 18), desta forma há uma elevação na translocação de assimilados para a produção de grãos e fibras, aumentando a produção (TAKAHASHI, 1995).

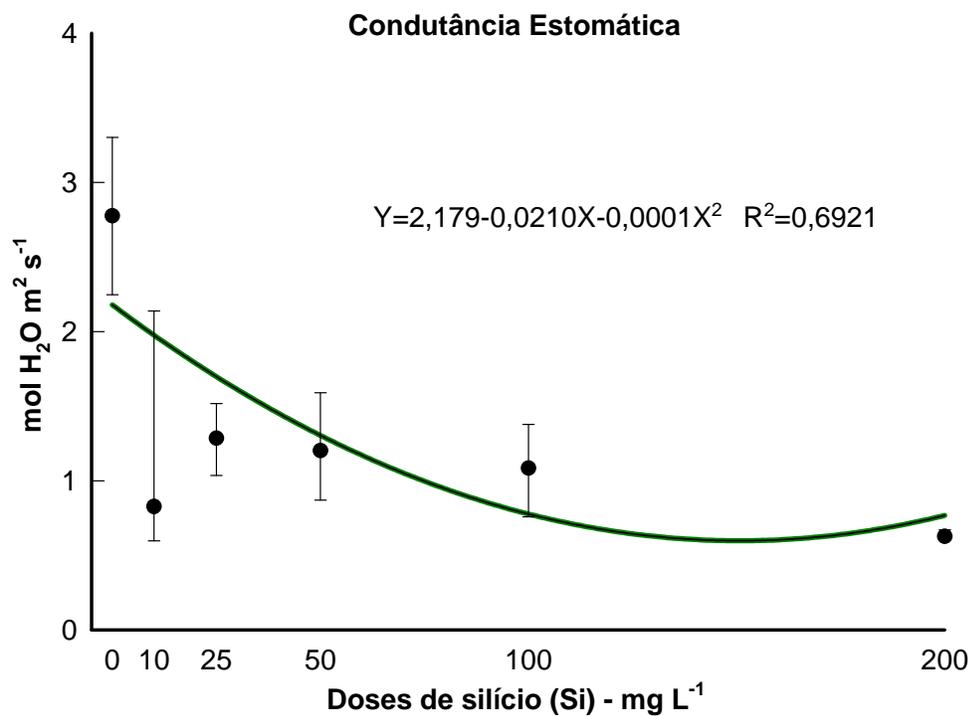


Figura 19 – Condutância estomática expressa em mols $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva utilizando silicato de sódio

A condutância estomática (Figura 19) decresceu em função do maior teor de silício na planta, este resultado corrobora com (TAKAHASHI, 1995), onde ocorre a prevenção e fechamento de estômatos, evitando o estresse hídrico pela cultura.

4.3 Análises de Potássio na planta

Observando os resultados das análises de potássio absorvido (Figura 20) verifica-se que os teores aumentam conforme os valores crescem nas doses de silício, indicando um sinergismo entre os dois elementos. O potássio em maiores teores poderia estar contribuindo num melhor desenvolvimento e vigor das plantas de algodoeiro, assim como na condutância estomática, proporcionando uma maior tolerância a doenças e estresse hídrico.

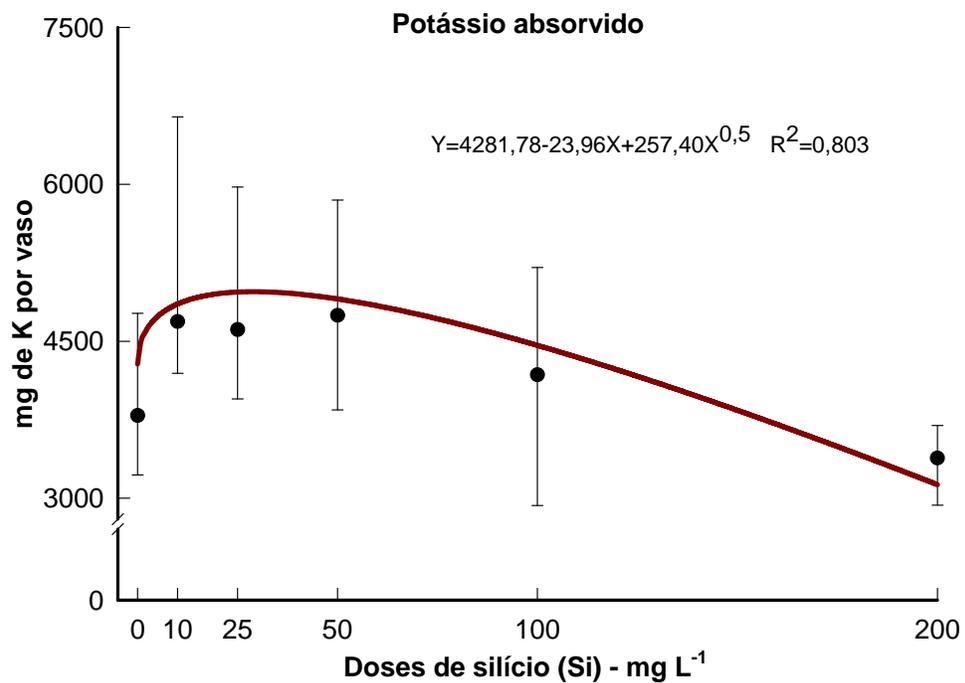


Figura 20 - Teor de potássio absorvido na parte aérea e raiz do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em mg de K por vaso e tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva

As plantas de algodoeiro carentes em potássio apresentam ciclo curto, sendo a maturação dos frutos muito antecipada e aumentando a susceptibilidade ao ataque de fungos, citado por (CHIAVEGATO et al, 1995).

4.4 Estresse oxidativo em presença de fungos

A ocorrência do fungo *Ramularia areola* na planta ocorreu em baixa incidência, assim como um outro fungo patogênico não inoculado foi também detectado, no caso, *Cladosporium sp.*, (Figura 22) não havendo porém significativa variação nos parâmetros avaliados. No entanto, é possível inferir que existem estágios de crescimento do algodoeiro que podem ser mais suscetíveis para serem infestados por fungos. Em casa-de-vegetação, há necessidade de se cuidar melhor das condições ambientais que melhor simulem o campo, como por ex., a umidade e a temperatura ambiente.

Observou-se o comportamento de parâmetros relacionados aos efeitos e respostas ao estresse oxidativo no algodoeiro (Figura 29) inoculado com o fungo fitopatogênico *Ramularia areola*, causador da mancha da ramulária, considerada como uma das maiores ameaças atuais à produção de algodão na região do cerrado brasileiro.

Foram avaliados os teores de proteína solúvel, silício, peroxidação lipídica e as atividades catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX).

4.5 Enzimas antioxidantes – Catalase e Ascorbato Peroxidase

A atividade da catalase se correlacionou com os teores de proteína solúvel (Figura 27) durante as 11 semanas de ensaio. No entanto, se observa que existe um comportamento diferenciado da atividade CAT antes e depois das 6 semanas (Figura 21). Antes da formação dos botões florais houve uma correlação positiva entre a dose de silício e atividade catalase. Mas em 8 semanas essa tendência diminuiu até se tornar uma correlação negativa em 11 semanas.

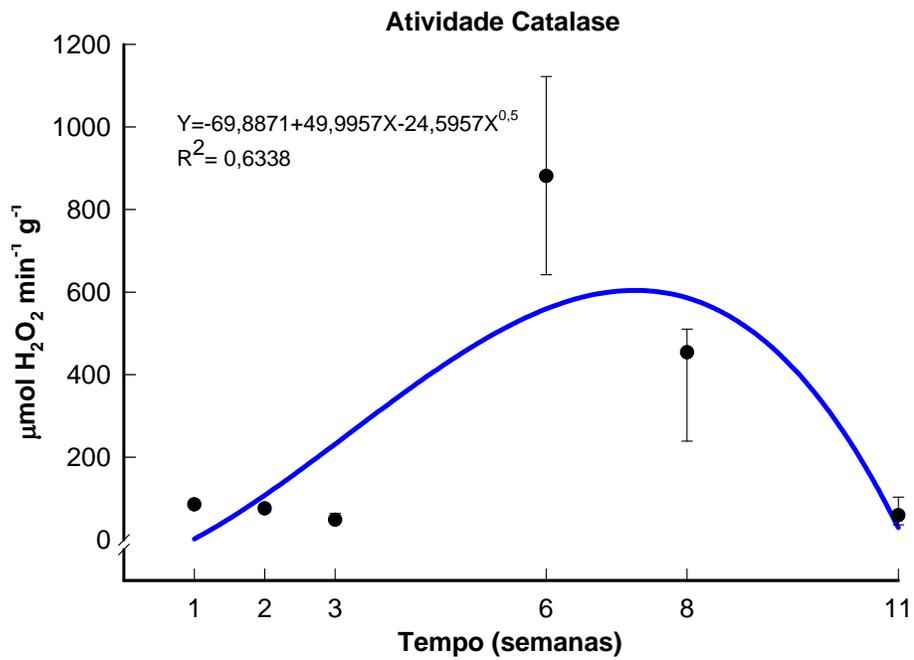


Figura 21 – Atividade Catalase foliar avaliada até onze semanas expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício



Figura 22 – Folha do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, sendo atacada por mancha de ramulária *Ramularia areola* e *Cladosporium sp* apresentando lesões e a consequente diminuição da área fotossintética

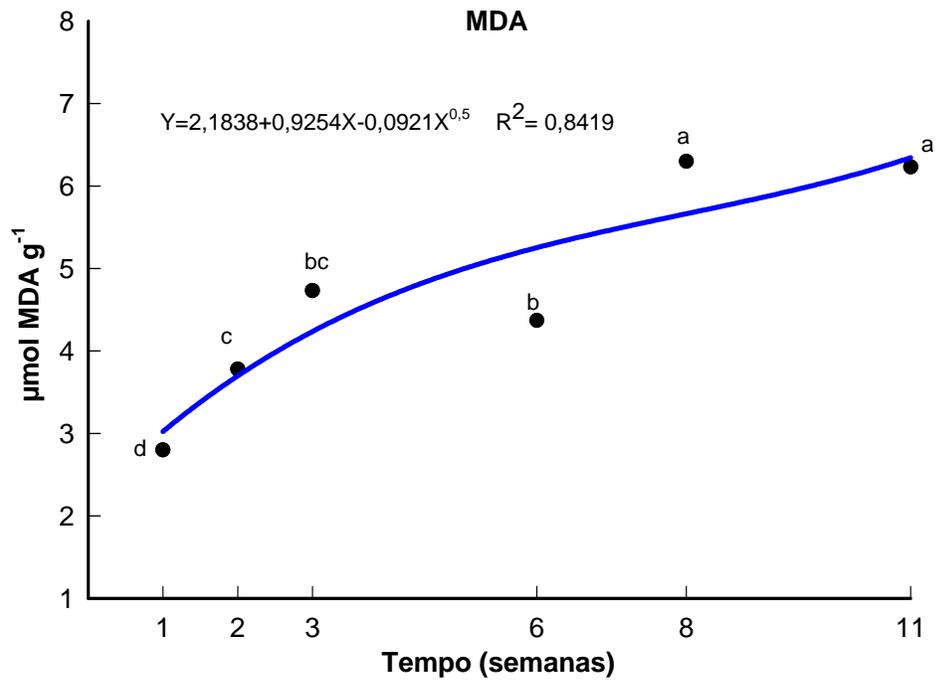


Figura 23 – MDA – monodeidroascorbato, produto formado pela redução da APX expresso em $\mu\text{mol MDA g}^{-1}$ de folha da cultivar de algodão BRS-Cedro, avaliadas conforme o tempo em semanas. Tratamentos seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente

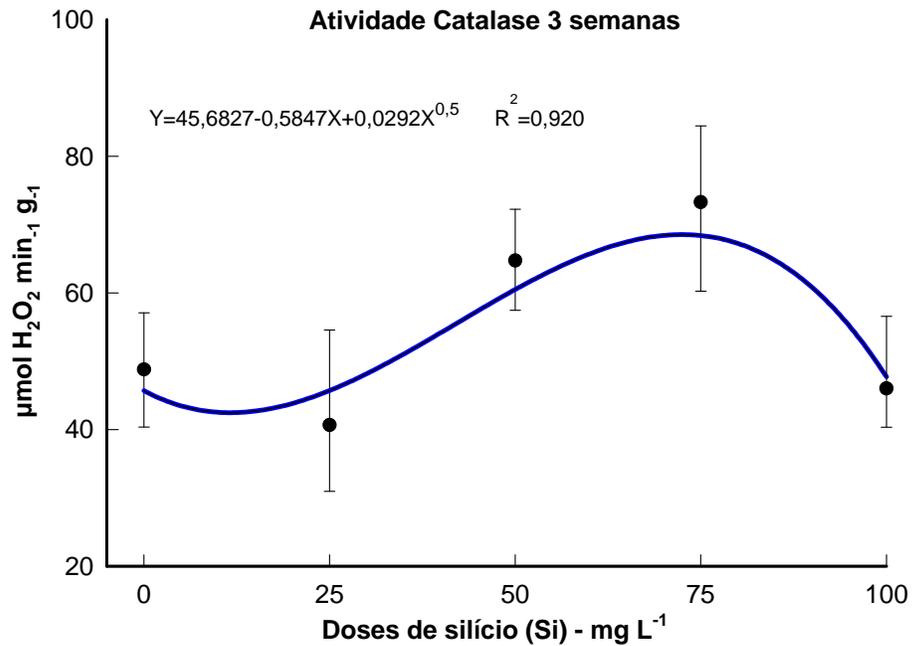


Figura 24 – Atividade Catalase foliar avaliada com três semanas expresso em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício

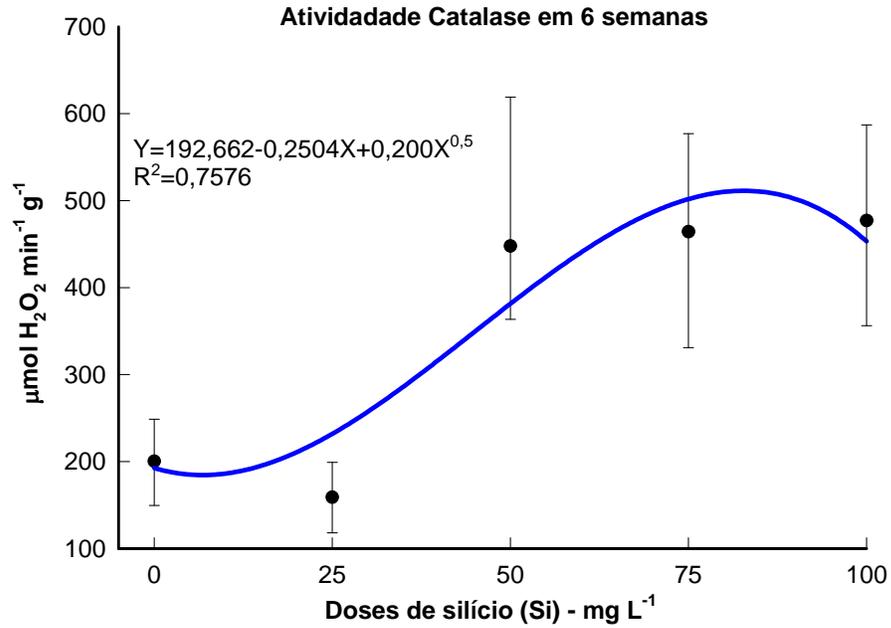


Figura 25 – Atividade Catalase foliar avaliada com seis semanas expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício

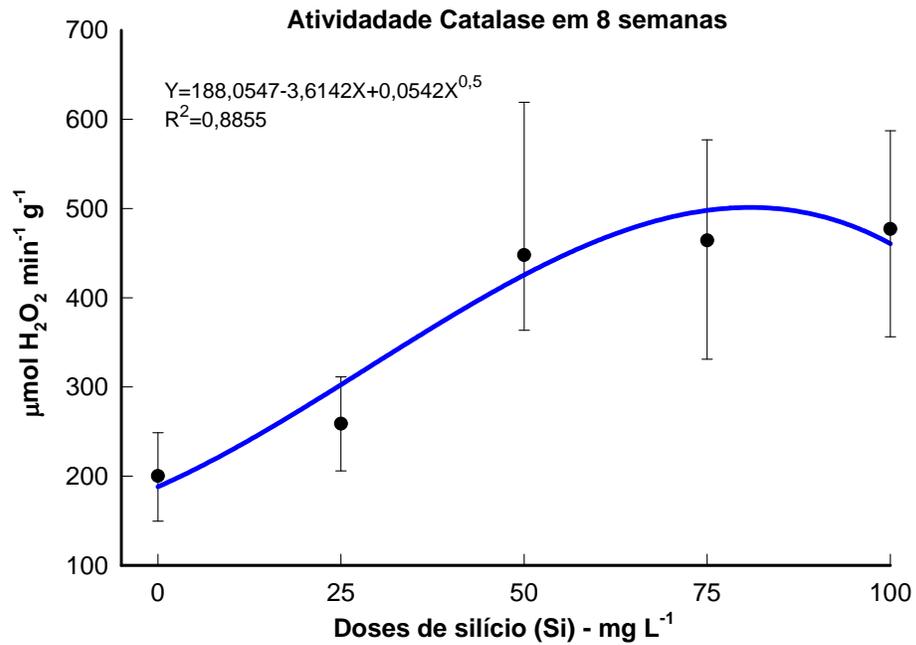


Figura 26 – Atividade Catalase foliar avaliada com oito semanas expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício

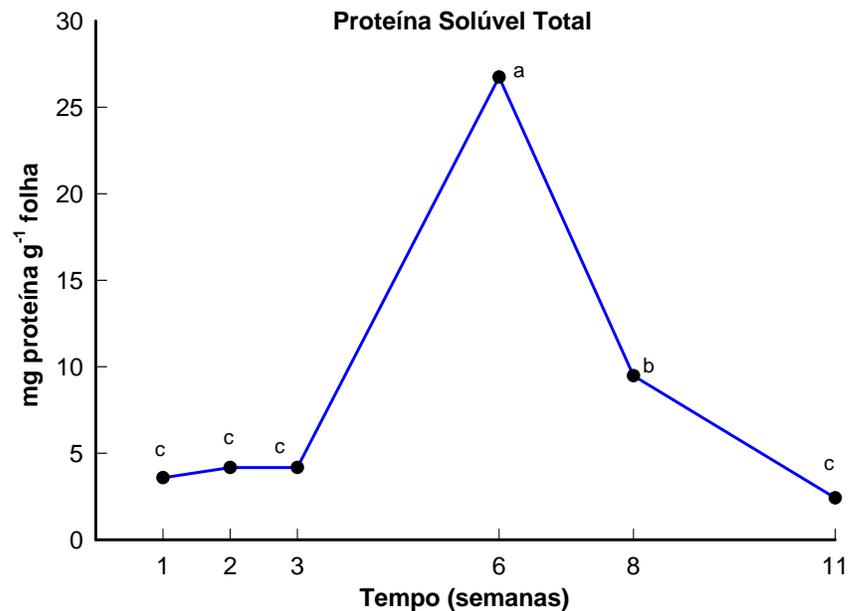


Figura 27 – Teor de proteína solúvel total expressa em mg proteína g⁻¹ folha avaliadas durante as semanas, do cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida a vários tratamentos com doses com silício

Os níveis de peroxidação lipídica incrementaram com o desenvolvimento da planta, sem no entanto, ter sido em função dos tratamentos (Figura 28). A enzima ascorbato peroxidase (APX) não diferiu estatisticamente conforme os tratamentos utilizados.

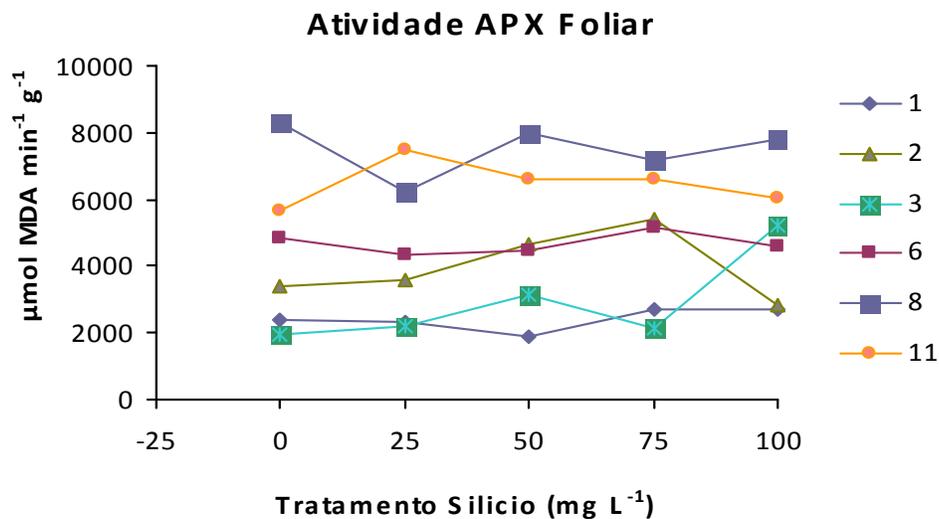


Figura 28 – Atividade enzimática APX – Ascorbato Peroxidase foliar avaliada de 1 a 11 semanas expressa em $\mu\text{mol MDA min}^{-1} \text{g}^{-1}$ em cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida aos tratamentos com silício nas doses de 0, 25, 50, 75 e 100, respectivamente

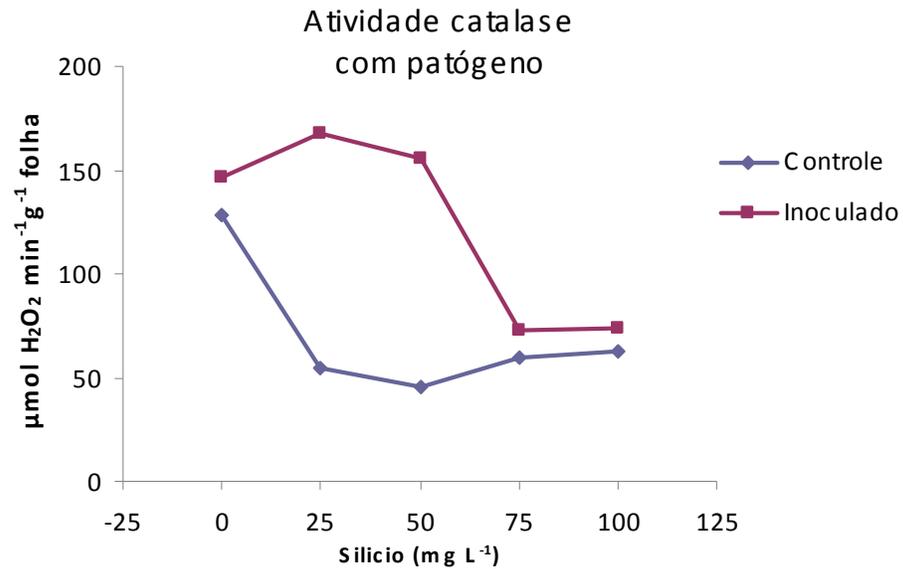


Figura 29 – Atividade catalase após inoculação com fungo, expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min g}^{-1} \text{ folha}$, do cultivar de algodão BRS-Cedro, submetida aos tratamentos com doses de 0, 25, 50, 75 e 100 mg L^{-1} de silício

4.6 Análises de Açúcar na Fibra

Os resultados apresentados do teor de açúcar na fibra (deposição) decresceram em função do aumento das doses de silício utilizadas nos tratamentos (Figura 30).

Observa-se portanto, que, houve interação positiva com o teor de açúcar na fibra, indicando promissor o uso de silício para a cultura. O decréscimo de açúcar na fibra afeta diretamente sua qualidade, dificultando e até impedindo o desenvolvimento do fungo *Capnodium sp* (fumagina), e este quando atinge as folhas reduz a área fotossintética prejudicando a fotossíntese (DEGRANDE, 1998), corroborando com os dados de fotossíntese (Figura 16).

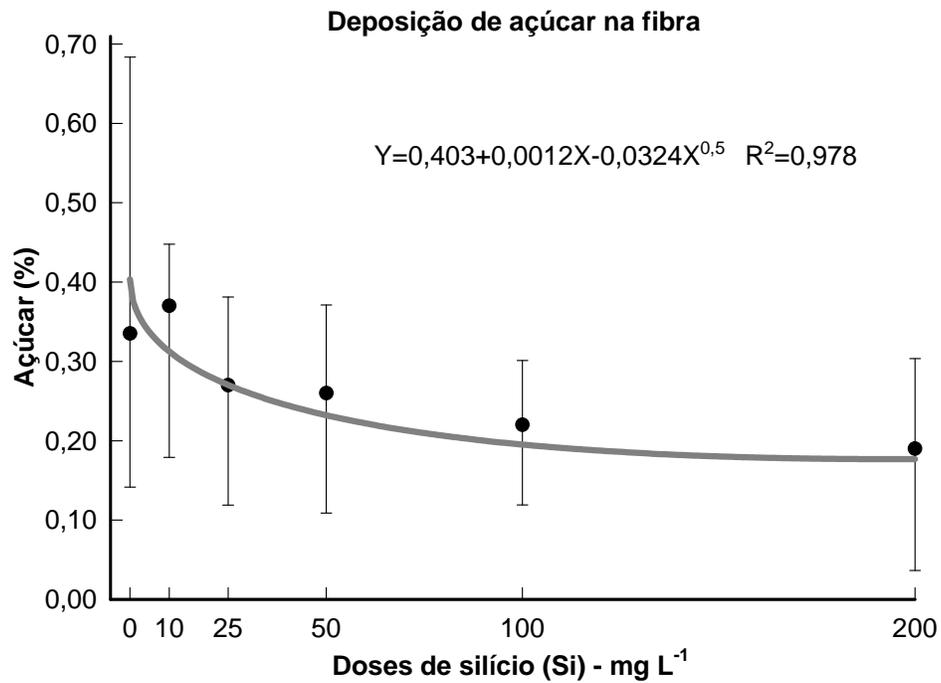


Figura 30 – Deposição de açúcar na fibra do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, expresso em percentagem (%) e tratadas com diferentes doses de Si em solução nutritiva. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos

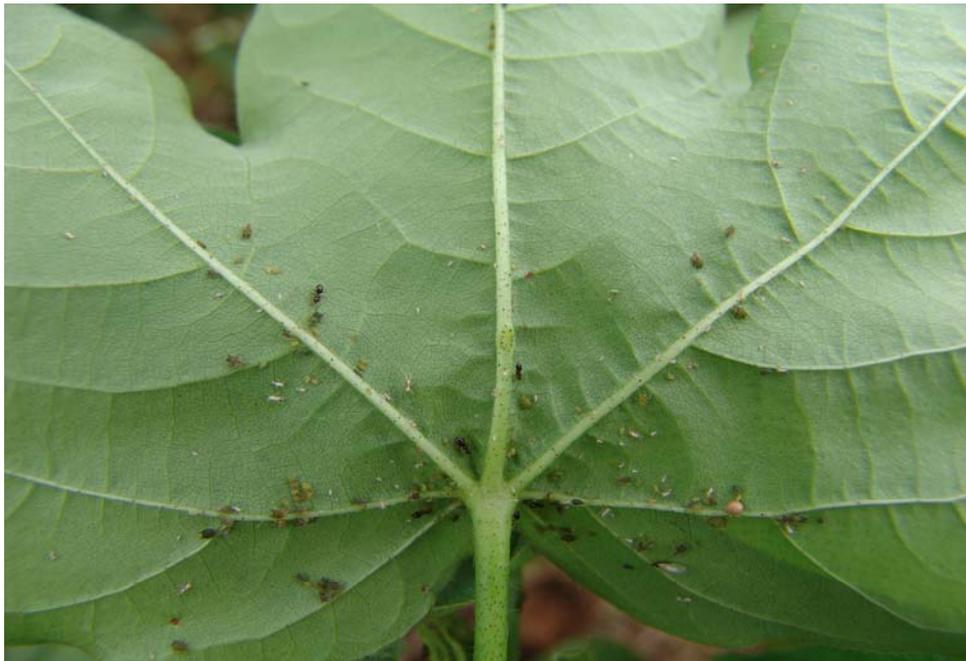


Figura 31 – Folha do Algodoeiro cultivar BRS-Cedro, sendo atacada por pulgões (*Aphis gossypi*), excretando substância açucarada “honeydew”, a presença de formigas se alimentando do açúcar Foto: Ferreira, 2005



Figura 32 – Capulho do algodoeiro cultivar BRS-Cedro, com alto teor de açúcar na fibra. Pulgões *Aphis gossypii*, excretam substância açucarada “honeydew”, e promove o desenvolvimento de fungos do gênero *Capnodium* (fumagina). Foto: Ferreira, S.M., 2005

12 CONCLUSÕES

Dentre os parâmetros analisados pode-se concluir que:

- O teor de silício na planta, raiz e folha elevou os teores conforme o aumento das doses utilizadas nos tratamentos: 0, 10, 25, 50, 100 e 200 mg.L⁻¹ de silício, respectivamente;
- O silício promoveu um aumento nos teores de potássio na planta do algodoeiro até o tratamento de 100 mg.L⁻¹, associado a uma diminuição da condutância estomática indica contribuição significativa no fechamento de estômatos, resultando em menor perda de água para atmosfera, consequentemente maior resistência ao estresse hídrico, maior vigor e tolerância à doenças;
- A presença do silício no algodoeiro indicou uma tendência na diminuição da deposição de açúcar na fibra conforme os tratamentos utilizados, indicando uma diminuição da preferência do pulgão *Aphis gossipy*, esta diminuição ocorreu conforme o aumento de silício na planta, o que poderá resultar em menor incidência de fungos do gênero *Capnodium* (fumagina) e consequentemente uma elevação nas taxas de fotossíntese e melhor qualidade de fibra;
- O Silício promoveu aumento na quantidade de fotossíntese realizada pela cultura, assim como a diminuição na perda de água através da transpiração;

- A ativação de enzimas antioxidantes como a catalase foi acelerada e correlacionou com os teores de proteína e as doses de silício durante as 11 semanas avaliadas. O efeito sistêmico da inoculação produziu um significativo aumento de atividade CAT nos tratamentos de 25 e 50 mg L⁻¹ de silício, mas os valores voltaram ao nível do controle com 75 e 100 mg L⁻¹ de silício.
- A inoculação de fungo produziu efeitos a nível sistêmico sobre a atividade CAT, porém, não afetou os parâmetros medidos da atividade APX – ascorbato peroxidase durante as semanas avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, Oxford, v.58, p.343-351, 1986.
- ANDERSON, D.L. Soil and leaf nutrient interaction following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, The Hague, v.30, p.9-18, 1991.
- AL-AGHABARY, K.; ZHU, Z.; SHI, Q. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n.12, p. 2101-2115, 2004.
- ARNON, D.I.; STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v.14, p.371-375, 1939.
- BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon - its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v.79, n.4, p.329-336, 1995.
- BIRCHALL, J.D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v.24, p.351-357, 1995.
- BIRCHALL, J.D.; BELLIA, J.P.; ROBERTS, N.B. On the mechanisms underlying the essentiality of silicon - interactions with aluminum and copper. **Coordination Chemistry Reviews**, Amsterdam, v.149, p.231-240, 1996.
- BIRCHALL, J.D.; EXLEY, C.; CHAPPEL, J.S.; PHILLIPS, M.J. Acute toxicity to fish eliminated in silicon-rich acid waters. **Nature**, London, n.338, p.146-148, 1989.
- BOYLTON, E.K.; HEBERT, J.J.; HENSARLING, T.P.; BRADOW, J.M.; THIBODEAUX, D.P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.13, n.2, p.131-148, 1990.
- BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 10. ed. New York: Macmillan Publishing, 1992. 621p.
- CARLISLE, E.M. Silicon as an essential element for the chick. **Science**, Washington, v.178, p.619-621, 1972.
- CHAUDIÉRE, J.; FERRARI-ILIOU, R. Intracellular antioxidants; from chemical to biochemical mechanisms. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 37, n. 9. p. 949-962. Sept. 1999.
- CHEN, C.H.; LEWIN, J. Silicon as a nutrient element for *Equisetum arvense*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.47, p.125-131, 1969.

- CHÉRIF, M.; BÉLANGER, R.R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber. **Plant Disease**, St Paul, v.76, n.10, p.1008-1011, 1992.
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Lancaster, v.84, n.3, p.236-242, 1994a.
- CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.41, p.411-425, 1992a.
- CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.41, p.371-385, 1992b.
- CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; EHHRET, D.L.; BOGDANOFF, C.; BÉLANGER, R.R. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. **HortScience**, St. Joseph, v.29, p.896-897, 1994b.
- CHIAVEGATO, E.J.; FUSATTO, M.G.; CIA, E.; SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; ALLEONI, L.R.F. **Seja Doutor do seu algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1995. 26p. (Arquivo do Agrônomo, 8).
- CHURIN, Y.; SCHILLINGS, S.; BORNER, T. A gene family encoding glutathione peroxidase homologues in *Hordeum vulgare* (Barley). **FEBS Letters**, Amsterdam, v. 459, n. 1, p. 33-38, 1999.
- DEGRANDE, P.E. **Guia prático de controle de pragas do algodoeiro**. Dourados: Universidade Federal do Estado do Mato Grosso do Sul, 1998. 60p.
- DEREN, L.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Variable silicon content of rice cultivars grown on Everglades Histosols. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.2363-2368, 1992.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v.91, p.11-17, 1994.
- EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v.46, p.37-39, 1995.
- EXLEY, C.; CHAPPELL, J.S.; BIRCHALL, J.D.A. A mechanism for acute aluminum toxicity in fish. **Journal of Theoretical Biology**, London, v.151, p.417-428, 1991.
- FRYXELL, P.A. Taxonomy and germoplasm resources. In: KOHEL, R.J.; LEWIS, C.F. **Cotton**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1984. cap.2, p.27-57.

FRIESEN, D.K.; SANZ, J.I.; CORREA, F.J.; WINSLOW, M.D.; OKADA, K.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. I. Evidence of a major yield constraint. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9., 1994. Goiânia, **Anais...Goiânia**, 1994. 1 CD-ROM.

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

GROTHGE-LIMA, M.T; LIMA FILHO, O.F.; TSAI, S.M. Silício pode aumentar resistência da soja ao cancro da haste. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998, Caxambu. **Resumos expandidos...** Caxambu: SBCS, SBM, UFLA, 1998. p.135.

JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R.; BROYER, T.C.; CARLTON, A.B. Comparative chlorine requirements of different plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.8, p.337-53, 1957.

LANNING, F.C. Nature and distribution of silica in strawberry plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v.76, p.349-358, 1960.

LIMA FILHO, O.F. **Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Amarelo)**. 1991. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

LIMA FILHO, O.F. A importância do boro no cafeeiro. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE O USO DE BORO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS, 1., 1998. Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: IPEF/ESALQ/POTAFÓS, 1998. 1 CD-ROM.

LIMA FILHO, O.F.; MALAVOLTA, E. Evaluation of extraction procedures on determination of critical soil and foliar levels of boron and zinc in coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, n. 7/8, p.825-33, 1998.

LIMA FILHO, O.F.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.P. Avaliação preliminar de um medidor de clorofila manual como auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em cafeeiro. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.40, n.3, p. 642-650, 1997.

LIMA FILHO, O.F.; GROTHGE-LIMA, M.T; TSAI, S.M. Interrelação silício, nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f sp. *Meridionalis*) em duas cultivares de soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. **Resumos expandidos...** Caxambu: SBCS, SBM, UFLA, 1998. p.134.

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

- MAJUNDER, N.D.; RAKSHIT, S.C.; BORTHAKUR, D.N. Genetics of silica uptake in selected genotypes of rice (*O. sativa* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 88, p.449-453, 1985.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 887p.
- MATOH, T.; MURATA, S.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate application on photosynthesis of rice plants. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.63, n.3, p.248-251, 1991.
- MATYCHENKOV, V.V.; PINSKLY, D.L.; BOCHARNIKOVA, Y.A. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, New York, v.27, n.12, p.58-67, 1995.
- MENZIES, J.G; BÉLANGER, R.R. Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crops. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v.18, p.186-193, 1996.
- MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; SAMUELS, A.L. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.39, p.403-414, 1991.
- MENZIES, J.G.; BOWEN, P.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v.117, n.6, p.902-905, 1992.
- MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, Lancaster, v.81, p.84-88, 1991b.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 7, n. 9, p. 405-410, Sept. 2002.
- MOHAMMADI, M.; KAZEMI, H. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and included resistance. **Plant Science**, Amsterdam, v. 162, n. 4, p. 491-498, Apr. 2002.
- MOLDES, C.A.; BATISTA, G.B.; FONTÃO-FILHO, O.; AZEVEDO, R.A.; TSAI, S.M. **Actividad de enzimas antioxidantes en algodón com diferentes dosis de silicio**. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE FISIOLÓGÍA VEGETAL, 26., 2006, Chascomus, Argentina. Chascomus: AAFV, 2006. 1 CD-ROM.
- NABLE, R.O.; LANCE, R.C.M.; CARTWRIGHT, B. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. **Annals of Botany**, Oxford, v.66, p.83-90, 1990.
- PERSHIN, B.M.; PERSHINA, A.N.; EGORINA, L.M. Silicon and rice production in the Primorskii region. **Agrokimiya**, Moscow, v.10, p.68-74, 1995.

- RAFI, M.M.; EPSTEIN, E.; FALK, R.H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.151, p.497-501, 1997.
- RAID, R.N.; ANDERSON, D.L.; ULLOA, M.F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. **Crop Protection**, Guildford, v.11, n.1, p.84-88, 1992.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, p.223-236, 1973.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, A.H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v.58, p.179-207, 1983.
- RODRIGUES, A.C.; DINIZ, A.C.; FACHINELLO, J.C.; da SILVA, J.B.; FARIA, J.L.C. Peroxidases e fenóis totais em tecidos de porta-enxertos de *Prunus sp.* Nos períodos de crescimento vegetativo e de dormência. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.32, n.4, p.559-564, 2002.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.69, n.1, p.140-146, 1991a.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.14, p. 485-492, 1991b.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. **Annals of Botany**, Oxford, v.72, n.5, p.433-440, 1993.
- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; MENZIES, J.G.; EHRET, D.L. Silicon in cell walls and papillae of *Cucumis sativus* during infection by *Sphaerotheca fuliginea*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.44, n.4, p.237-242, 1994.
- SAVANT, N.K.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Depletion of plant-available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, p.1245-1252, 1997.
- SCANDALIOS, J. G Regulation and properties of plants catalase. In: FOYER, C.H.; MULIUNEAUX, P.M. (Ed.). **Cause of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 275-315.

- SCANDALIOS, J.G.; GUAN, L.; POLIDOROS, A.N. Catalases in plants: gene structure, properties, regulation and expression. In: SCANDALIOS, J.G. (Ed.). **Oxidative stress and the molecular biology of antioxidant defenses**. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1997. p.343-406.
- SCHWARZ, K.; MILNE, D.B. Growth promoting effects of silicon in rats. **Nature**, London, v.239, p.333-334, 1972.
- SHIA, S.Y.; WANG, Q.S. Studies on the effect of silicon fertilizer on cotton. **China Cotton**, Beijing, v.25, n.8, p.6-7, 1998.
- SHI, Z.J.; PAN, G.Q.; ZHOU, Q.; XIE, Y.C.; MENG, Q.T. A study on the application of silicon fertilizer to cotton. **China Cotton**, Beijing, v.28, n.7, p.17-18, 2001.
- TRÉGUER, P.; NELSON, D.M.; BENNEKOM, A.J. van; DeMASTER, D.J.; LEYNAERT, A.; QUÉGUINER, B. The silica balance in the world ocean: a reestimate. **Science**, Washington, v.268, p.375-379, 1995.
- VAN BREUSEGEM, F.; VRANOVÁ, E. DAT, J.F.; INZÉ, D. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, Amsterdam, v.161, n.3, p.405-414, 2001.
- WERNER, D. Silicate metabolism. In: WERNER, D. (Ed.). **The biology of diatoms**. Oxford: Blackwell Scientific, 1977. p.110-149.
- WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology**. New Series. Berlin: Springer-Verlag, 1983. v.15B, p.682-694.
- WILD, A. **Russel's soil conditions and plant growth**. 11.ed. London: Longman, 1988. 991p.
- WINSLOW, M.D. Silicon, disease resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1208-1213, 1992.

APÊNDICES

APENDICE A

Tabela 2 - Análises de qualidade de fibra realizada em HVI (high volume instruments) conforme padrões internacionais de qualidade (USDA).

Cul- tivar	Trat	Comp (mm)	Unif. Comp (%)	Unif. Comp Transf.	I. Fibra curta (%)	I. Fibra curta Transf	Tenaci- dade (g/Tex)	Alonga- ção (%)	Along. Transf	Micro Naire	Matura- ção (%)	Maturação Transf.	Finura mTex	Teor de açúcar %	Reflec- tância Rd	Amarel- amento	Tenacida de Fio CSP				
Cedro	0	27,6	49,6	0,7043	0,7814	5,0	0,2236	31,2	6,9	0,2627	0,2658	4,8	75,1	0,8666	1,0484	223	0,18	79,7	10,2	2230	
Cedro	0	28,7	49,7	0,7050	0,7824	3,5	0,1871	0,1882	32,6	6,9	0,2627	0,2658	4,4	76,7	0,8758	1,0671	200	0,38	79,5	10,2	2370
Cedro	0	28,2	51,1	0,7148	0,7964	3,5	0,1871	0,1882	34,9	7	0,2646	0,2678	4,3	65,4	0,8087	0,9419	205	0,80	76,5	8,2	2379
Cedro	0	28,0	50,7	0,7120	0,7924	3,5	0,1871	0,1882	33,5	6,9	0,2627	0,2658	4,9	69,9	0,8361	0,9901	231	0,41	79,1	10,2	2274
Cedro	0	28,1	50,6	0,7113	0,7914	3,5	0,1871	0,1882	31,4	6,9	0,2627	0,2658	4,9	78,0	0,8832	1,0826	225	0,29	78,8	10,6	2242
Cedro	10	27,5	51,7	0,7190	0,8024	3,5	0,1871	0,1882	28,4	6,9	0,2627	0,2658	5,6	79,3	0,8905	1,0985	261	0,41	79,2	10,6	2165
Cedro	10	27,7	50,0	0,7071	0,7854	4,6	0,2145	0,2162	30	6,8	0,2608	0,2638	5,4	74,2	0,8614	1,0380	254	0,31	77,7	9,6	2163
Cedro	10	29,5	48,1	0,6935	0,7664	3,5	0,1871	0,1882	30,9	6,9	0,2627	0,2658	4,8	69,0	0,8307	0,9803	227	0,16	79,0	10,2	2239
Cedro	10	27,1	51,7	0,7190	0,8024	3,9	0,1975	0,1988	32,1	6,9	0,2627	0,2658	5,4	82,5	0,9083	1,1392	247	0,37	78,6	9,3	2229
Cedro	10	29,0	48,3	0,6950	0,7684	4,1	0,2025	0,2039	33,9	7	0,2646	0,2678	4,8	67,7	0,8228	0,9663	227	0,31	75,5	8,0	2262
Cedro	25	28,1	50,7	0,7120	0,7924	3,5	0,1871	0,1882	35,5	6,9	0,2627	0,2658	5,3	71,6	0,8462	1,0088	250	0,25	78,0	8,8	2277
Cedro	25	28,5	50,4	0,7099	0,7894	3,5	0,1871	0,1882	33,9	6,9	0,2627	0,2658	4,8	68,5	0,8276	0,9749	227	0,25	76,9	9,0	2296
Cedro	25	27,9	51,2	0,7155	0,7974	3,5	0,1871	0,1882	30,2	6,8	0,2608	0,2638	5,4	80,6	0,8978	1,1147	249	0,37	78,7	10,1	2205
Cedro	25	27,8	50,4	0,7099	0,7894	4,0	0,2000	0,2014	30,7	6,9	0,2627	0,2658	5,0	73,9	0,8597	1,0346	234	0,27	79,6	10,4	2228
Cedro	25	29,0	51,9	0,7204	0,8044	3,5	0,1871	0,1882	34,2	6,9	0,2627	0,2658	5,0	70,5	0,8396	0,9966	236	0,11	77,9	9,3	2344
Cedro	50	28,4	47,2	0,6870	0,7574	6,0	0,2449	0,2475	29,7	6,8	0,2608	0,2638	4,7	76,8	0,8764	1,0682	216	0,36	76,7	9,5	2163
Cedro	50	27,7	53,2	0,7294	0,8174	3,5	0,1871	0,1882	35,7	6,9	0,2627	0,2658	5,4	76,5	0,8746	1,0647	252	0,24	76,3	8,6	2305
Cedro	50	27,6	51,1	0,7148	0,7964	3,7	0,1924	0,1936	29,9	6,9	0,2627	0,2658	5,0	74,2	0,8614	1,0380	234	0,26	79,2	8,4	2284
Cedro	50	28,5	48,2	0,6943	0,7674	4,9	0,2214	0,2232	28,8	6,9	0,2627	0,2658	4,4	67,6	0,8222	0,9653	208	0,10	80,3	10,5	2241
Cedro	50	27,9	50,1	0,7078	0,7864	4,1	0,2025	0,2039	31,6	6,8	0,2608	0,2638	5,1	75,2	0,8672	1,0495	238	0,24	78,5	10,2	2210
Cedro	100	28,2	49,0	0,7000	0,7754	4,7	0,2168	0,2185	31,4	6,9	0,2627	0,2658	4,5	71,1	0,8432	1,0032	211	0,33	80,7	10,8	2262
Cedro	100	29,7	48,4	0,6957	0,7694	3,5	0,1871	0,1882	34,3	7	0,2646	0,2678	4,3	65,9	0,8118	0,9472	205	0,08	77,5	8,8	2348
Cedro	100	28,2	48,0	0,6928	0,7654	5,6	0,2366	0,2389	31,7	6,9	0,2627	0,2658	4,2	72,7	0,8526	1,0210	195	0,18	79,7	10,5	2260
Cedro	100	29,1	50,2	0,7085	0,7874	3,5	0,1871	0,1882	31,9	6,9	0,2627	0,2658	4,8	79,2	0,8899	1,0972	218	0,22	78,4	10,2	2283
Cedro	100	27,6	49,6	0,7043	0,7814	5,0	0,2236	0,2255	29,5	6,9	0,2627	0,2658	4,8	72,7	0,8526	1,0210	225	0,24	78,9	11,0	2182
Cedro	200	27,9	51,4	0,7169	0,7994	3,5	0,1871	0,1882	28	7,1	0,2665	0,2697	5,2	74,3	0,8620	1,0392	244	0,17	79,1	9,3	2240
Cedro	200	28,1	48,2	0,6943	0,7674	5,5	0,2345	0,2367	31,5	6,9	0,2627	0,2658	4,4	75,8	0,8706	1,0565	201	0,29	80,3	10,6	2247
Cedro	200	29,2	50,9	0,7134	0,7944	3,5	0,1871	0,1882	34,8	6,9	0,2627	0,2658	4,8	76,1	0,8724	1,0600	222	0,27	79,5	10,5	2338
Cedro	200	28,9	50,4	0,7099	0,7894	3,5	0,1871	0,1882	35	6,9	0,2627	0,2658	5,1	74,2	0,8614	1,0380	239	0,01	76,9	7,2	2340
Cedro	200	28,1	50,3	0,7092	0,7884	3,6	0,1897	0,1909	34,7	6,9	0,2627	0,2658	4,5	70,8	0,8414	0,9999	211	0,11	77,0	8,9	2320

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)