

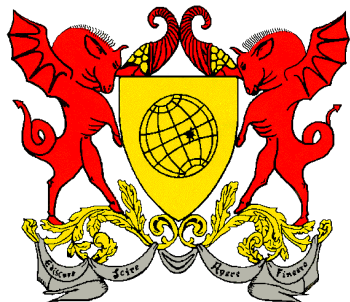
# Relação entre o Silício e as Doenças de Plantas

**Prof. Fabrício Ávila Rodrigues**

**Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitopatologia**

**Laboratório da Interação Planta-Patógeno**

**fabricio@ufv.br**



▶ Porque devemos nos preocupar com o controle das doenças de plantas?

▶ Como controlar as doenças?

a) utilizando cultivares resistentes

b) adotando algumas práticas culturais (ex. rotação de cultura e eliminação de restos culturais)

c) aplicando **pesticidas**

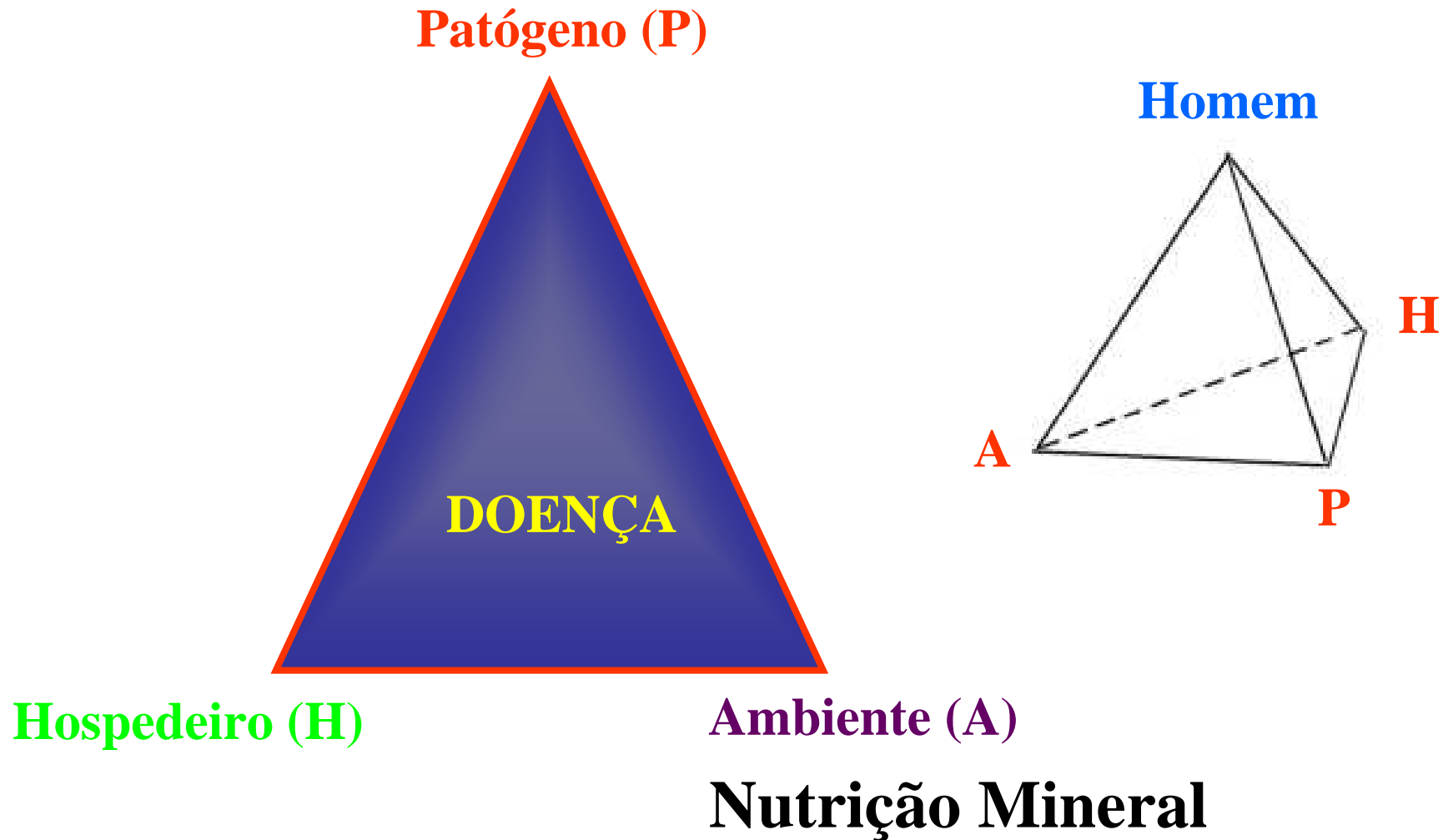
# Manejo Integrado

---

Controlar as doenças integrando todos os princípios e medidas de controle disponíveis para que a intensidade delas fique abaixo do limiar de **dano econômico** e que o **meio ambiente** sofra menor agressão

# Fatores Essenciais para o Progresso de Doenças em Plantas

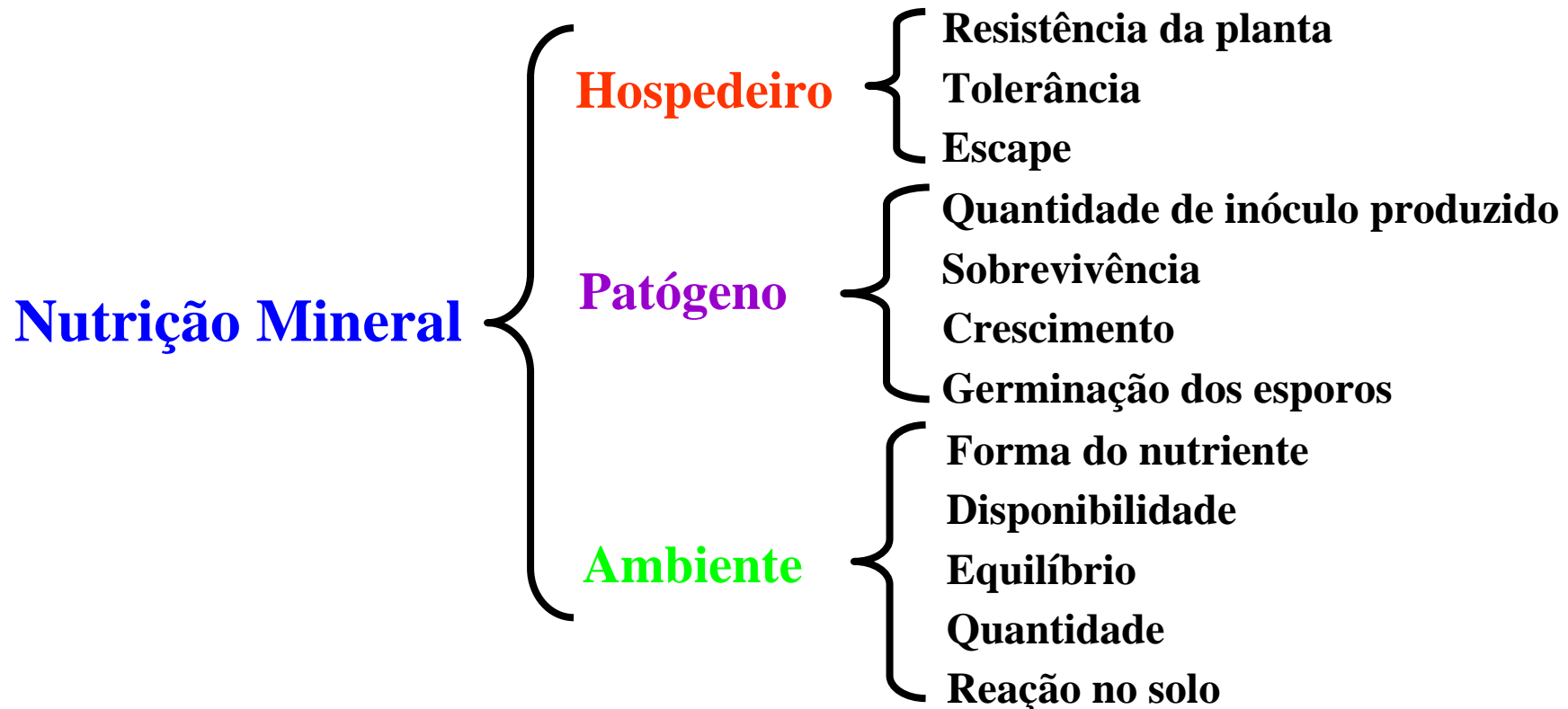
---



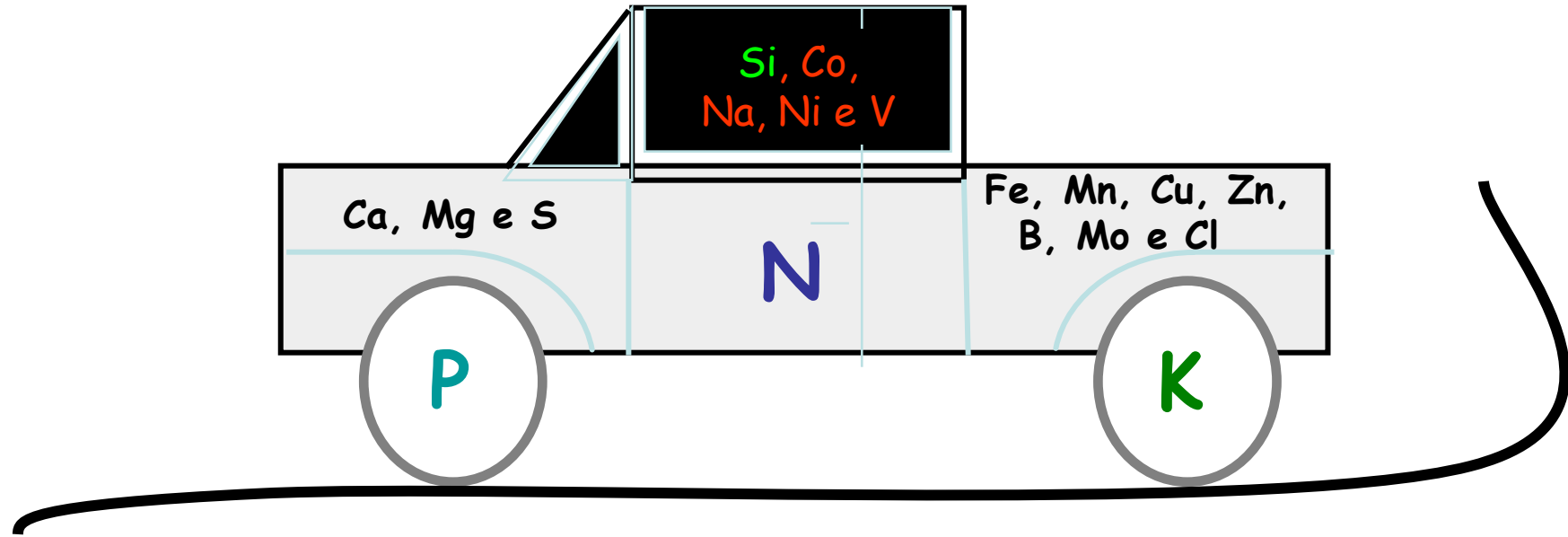


# Efeito da Nutrição Mineral na Resistência das Plantas às Doenças

---



Cada elemento é parte de um sistema interdependente e em equilíbrio com a genética da planta e o meio ambiente





**O silício é o segundo elemento mais abundante na natureza depois do oxigênio e ocupa, em peso, cerca de 25,7% da crosta terrestre**



**Volastonita**

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento :: SISLEGIS - Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do;jsessionid=c0a8017b30d6844771ec7d1941a0b32bcc091e97c62d.e3uQaNuLa3eMe3q5a3eKc3mNc40?operacao=visualizar> Ir Links

Google G decreto 4954 14 01 2004 Go 943 blocked Check Look for Map AutoFill Send to decrete 4954 14 01 2004 Settings

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

# Agricultura

## SISLEGIS - Sistema de Legislação Agrícola Federal

Senado Federal ANVISA Banco Central Sec. do Tesouro Nacional IBAMA Palácio do Planalto Ajuda

**Decreto Nº 4954, DE 14 DE JANEIRO DE 2004**

**Situação:** **Vigente**

**Publicado no Diário Oficial da União de 15/01/2004 , Seção 1 , Página 2**

**Ementa:** Aprovar o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências

**Histórico:**  
**Altera o Decreto nº 99427 31/07/1990**  
**Revoga o Decreto nº 86955 de 18/02/1982**

**Os textos legais disponíveis no site são meramente informativos e destinados a consulta / pesquisa, sendo imprópria sua utilização em ações judiciais.**

DECRETO Nº 4.954 DE 14 DE JANEIRO DE 2004.

Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 84, inciso IV, da Constituição, e tendo em vista o disposto na Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980,

DECRETA:

Art. 1º Fica aprovado, na forma do Anexo, o Regulamento da Lei nº 6.849 de 16 de dezembro de 1980

Art. 2º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 3º Ficam revogados o Decreto nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982, e o inciso IV do art. 1º do Decreto 99.427 de 31 de julho de 1990.

Brasília, 14 de janeiro de 2004; 183ª da Independência e 116ª da República.

Concluído Internet

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento :: SISLEGIS - Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do;jsessionid=c0a8017b30d6844771ec7d1941a0b32bcc091e97c62d.e3uQaNuLa3eMe3q5a3eKc3mNc40?operacao=visualizar> Ir Links

Google  Go  Check  AutoFill       Settings

XI - produto: qualquer fertilizante, corretivo, inoculante ou biofertilizante;

XII - produto novo: produto sem antecedentes de uso e eficiência agrônômica comprovada no País ou cujas especificações técnicas não estejam contempladas nas disposições vigentes;

XIII - carga: material adicionado em mistura de fertilizantes, para o ajuste de formulação, que não interfira na ação destes e pelo qual não se ofereçam garantias em nutrientes no produto final;

XIV - nutriente: elemento essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais, assim subdividido:

a) macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), expressos nas formas de Nitrogênio (N), Pentóxido de Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e Óxido de Potássio (K<sub>2</sub>O);

b) macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), expressos nas formas de Cálcio (Ca) ou Óxido de Cálcio (CaO), Magnésio (Mg) ou Óxido de Magnésio (MgO) e Enxofre (S);

c) micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Silício (Si) e outros elementos que a pesquisa científica vier a definir, expressos nas suas formas elementares;

XV - aditivo: qualquer substância adicionada intencionalmente ao produto para melhorar sua ação, aplicabilidade, função, durabilidade, estabilidade e detecção ou para facilitar o processo de produção;

XVI - fritas: produtos químicos fabricados a partir de óxidos e silicatos, tratados a alta temperatura até a sua fusão, formando um composto óxido de silicatado, contendo um ou mais micronutrientes;

XVII - estabelecimento: pessoa física ou jurídica cuja atividade consiste na produção, importação, exportação ou comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes;

XVIII - transporte: o ato de deslocar, em todo território nacional, fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes e suas matérias-primas;

XIX - armazenamento: o ato de armazenar, estocar ou guardar os fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes e suas matérias-primas;

XX - embalagem: o invólucro, recipiente ou qualquer forma de acondicionamento, destinado a empacotar, envasar ou proteger, bem como identificar os fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes;

XXI - tolerância: os desvios admissíveis entre o resultado analítico encontrado em relação às garantias registradas ou declaradas;

XXII - varredura: toda sobra de fertilizantes, sem padrão definido, resultante da limpeza de equipamento de produção, instalações ou movimentação de produtos, quando do seu carregamento ou ensaque;

XXIII - embarço: todo ato praticado com o objetivo de dificultar a ação da inspeção e fiscalização;

XXIV - impedimento: todo ato praticado que impossibilite a ação da inspeção e fiscalização;


XXV - veículo: excipiente líquido utilizado na elaboração de fertilizante fluido.

Art. 3º Compete ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento:

I - a inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes;

II - editar normas complementares necessárias ao cumprimento deste Regulamento.

Art. 4º Compete aos Estados e ao Distrito Federal fiscalizar e legislar concorrentemente sobre o comércio e uso dos

Concluído  Internet



# Principais Fontes de Silício

---

**silicato de cálcio (volastonita e escórias de siderurgia):  
aplicação via solo**











Gesso

Silicato de cálcio





# Principais Fontes de Silício

---

**silicato de sódio: aplicação via foliar e uso no preparo de solução nutritiva**



# Principais Fontes de Silício

---

**silicato de potássio: aplicação via foliar e uso no preparo de solução nutritiva**

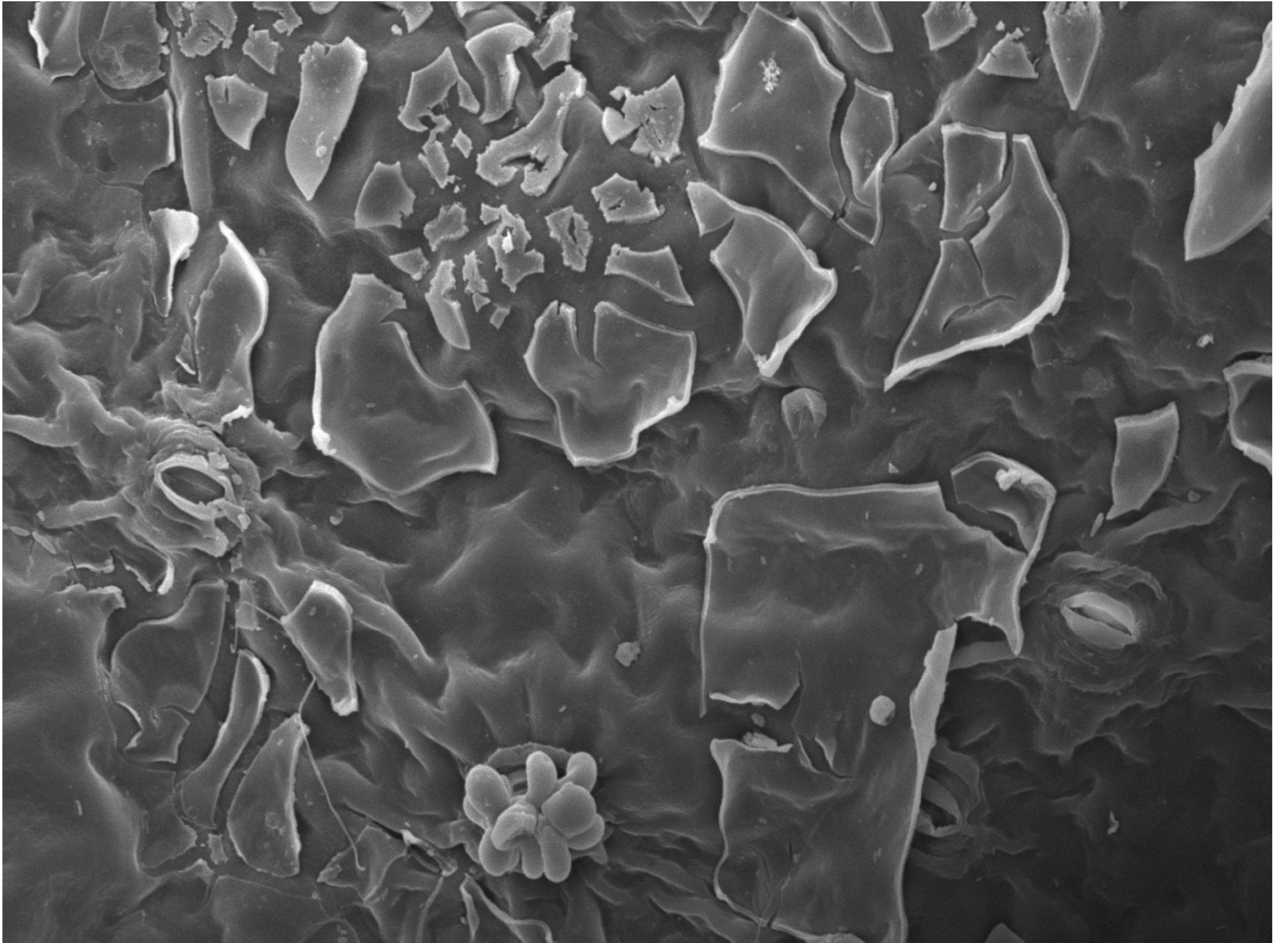




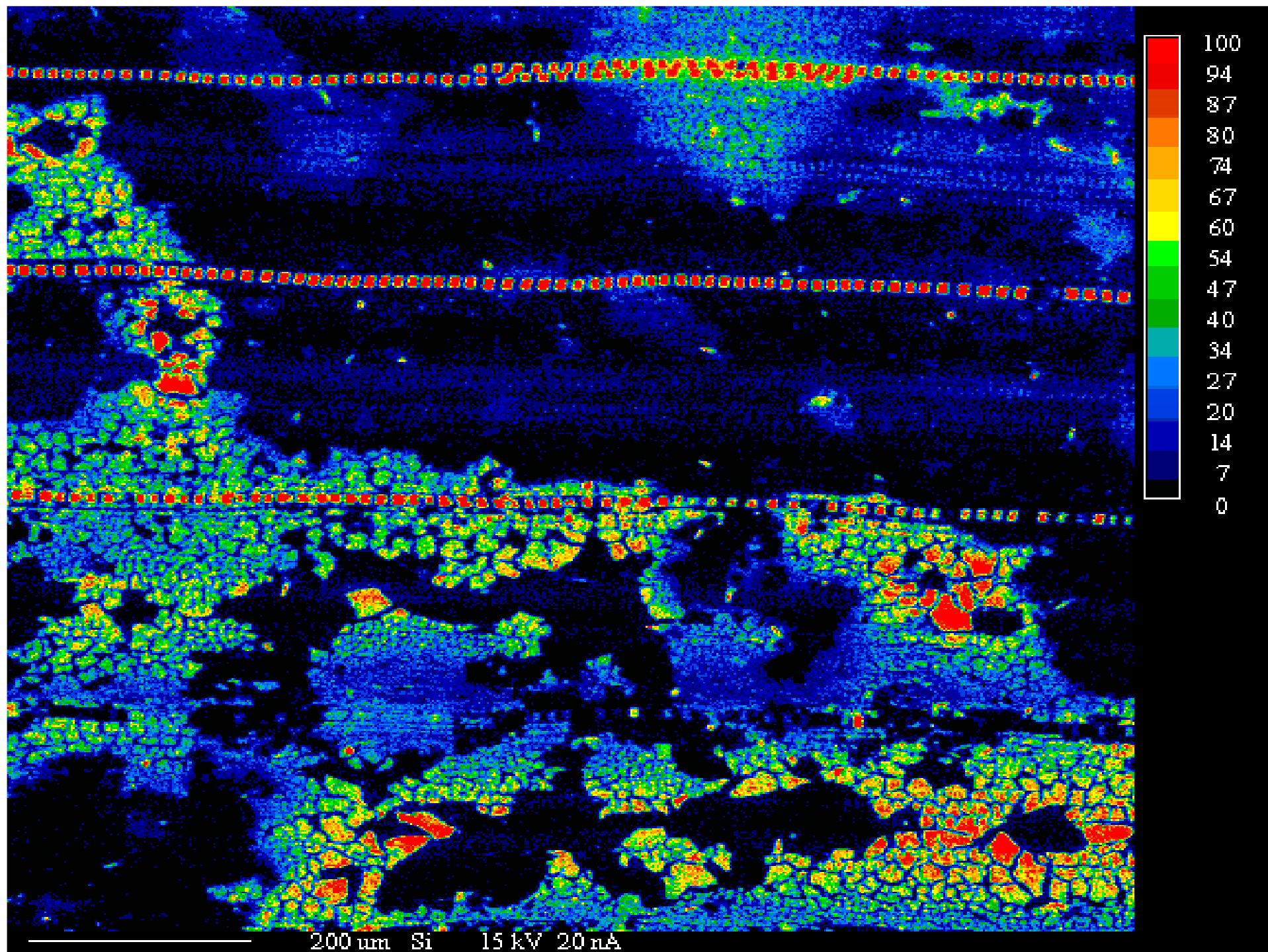




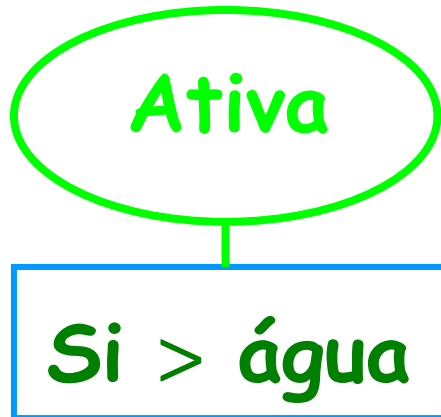








# As plantas absorvem o Si de diferentes maneiras

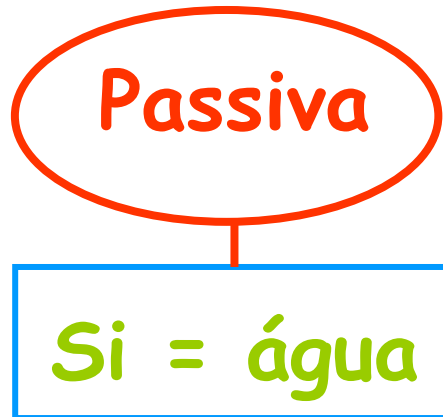


Arroz

Banana

Cevada

Trigo



Arroz

Pepino

*Arabidopsis*

Alface

Morango

Videira



Tomate

Batata

Gerânio

Begônia





-Si ( $0 \text{ mmol L}^{-1}$ )

+Si ( $2 \text{ mmol L}^{-1}$ )





## Effect of Silicon and Host Resistance on Sheath Blight Development in Rice

F. Á. Rodrigues, Graduate Research Assistant, University of Florida-IFAS, Plant Pathology Department, Gainesville, FL, 32611-0680; L. E. Datnoff, Professor of Plant Pathology, University of Florida-IFAS, Everglades Research & Education Center, Belle Glade, FL, 33430-8003; G. H. Korndörfer, Professor of Soil Science, Federal University of Uberlândia, ICIAG, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil, 38400-902; K. W. Seebold, Former Graduate Research Assistant, University of Florida-IFAS, Plant Pathology Department, Gainesville 32611-0680; M. C. Rush, Professor of Plant Pathology, Department of Plant Pathology, LSU, Baton Rouge, LA 70803

Plant Disease / Vol. 85 No. 8

**Table 1.** Concentration of Si (dag kg<sup>-1</sup>) in straw of rice cultivars grown in pots nonamended and amended with Si<sup>a</sup>

Cultivars	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	- Si	+ Si	- Si	+ Si	- Si	+ Si
Jasmine	0.56	2.10	0.72	2.98	0.76	3.15
LSBR-5	0.52	2.90	0.70	3.33	0.87	3.92
Drew	0.50	2.70	0.67	3.82	0.80	4.05
Kaybonnet	0.56	2.46	0.62	3.83	0.84	4.48
Lemont	0.52	3.48	0.70	4.03	0.83	4.53
Labelle	0.50	3.08	0.65	3.72	0.76	4.27
FLSD ( $P \leq 0.05$ )	0.06	0.32	0.08	0.36	0.09	0.30

<sup>a</sup> Si analysis in the rice straw was determined by first digesting 0.1 g of dried tissue, then performing automated colorimetric analysis.

Temperatura média  
dentro da câmara de  
inoculação

22,2°C

Exp. 1

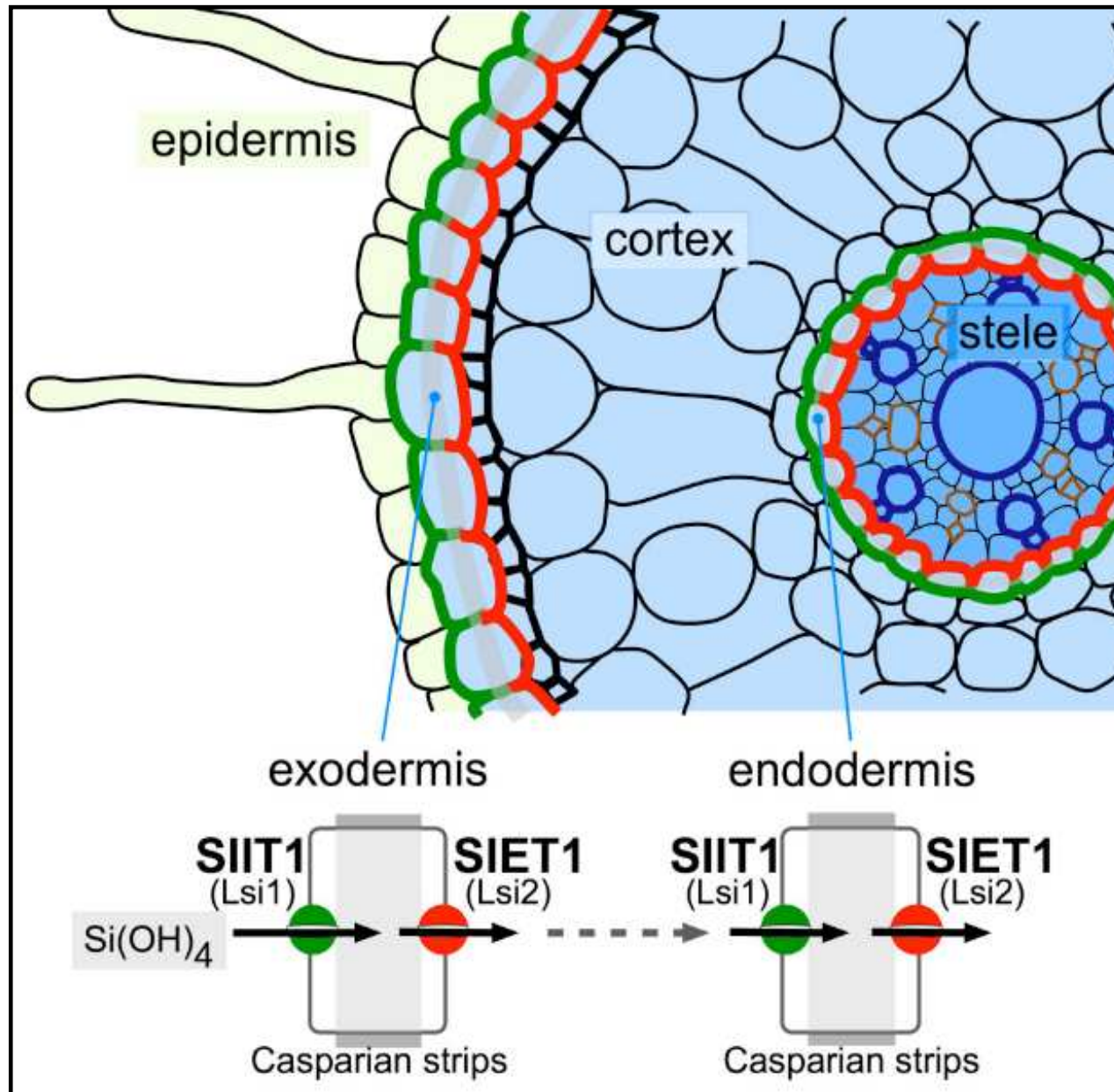
29,8°C

Exp. 2

32,0°C

Exp. 3





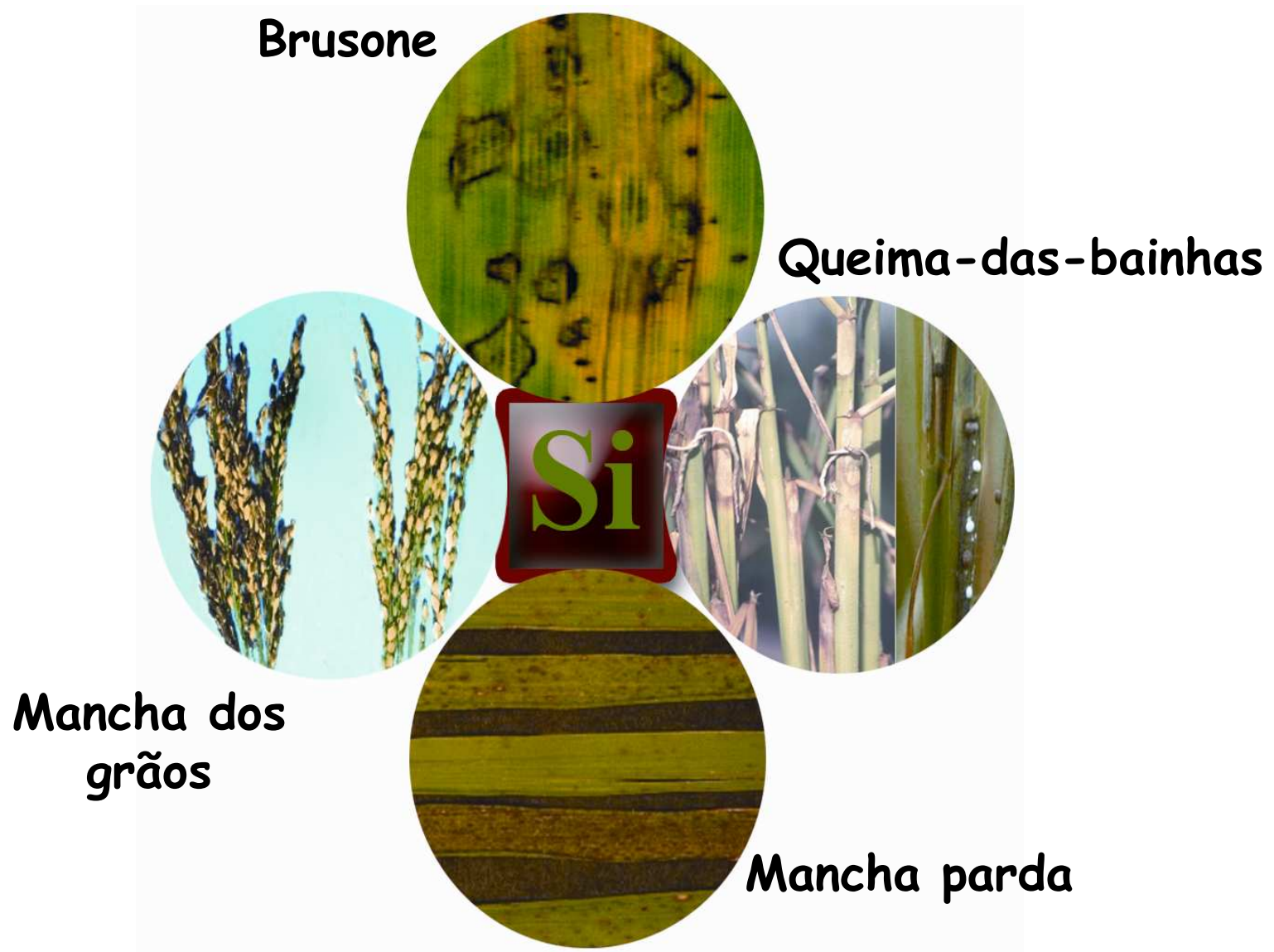
Ma *et al.* (2007)

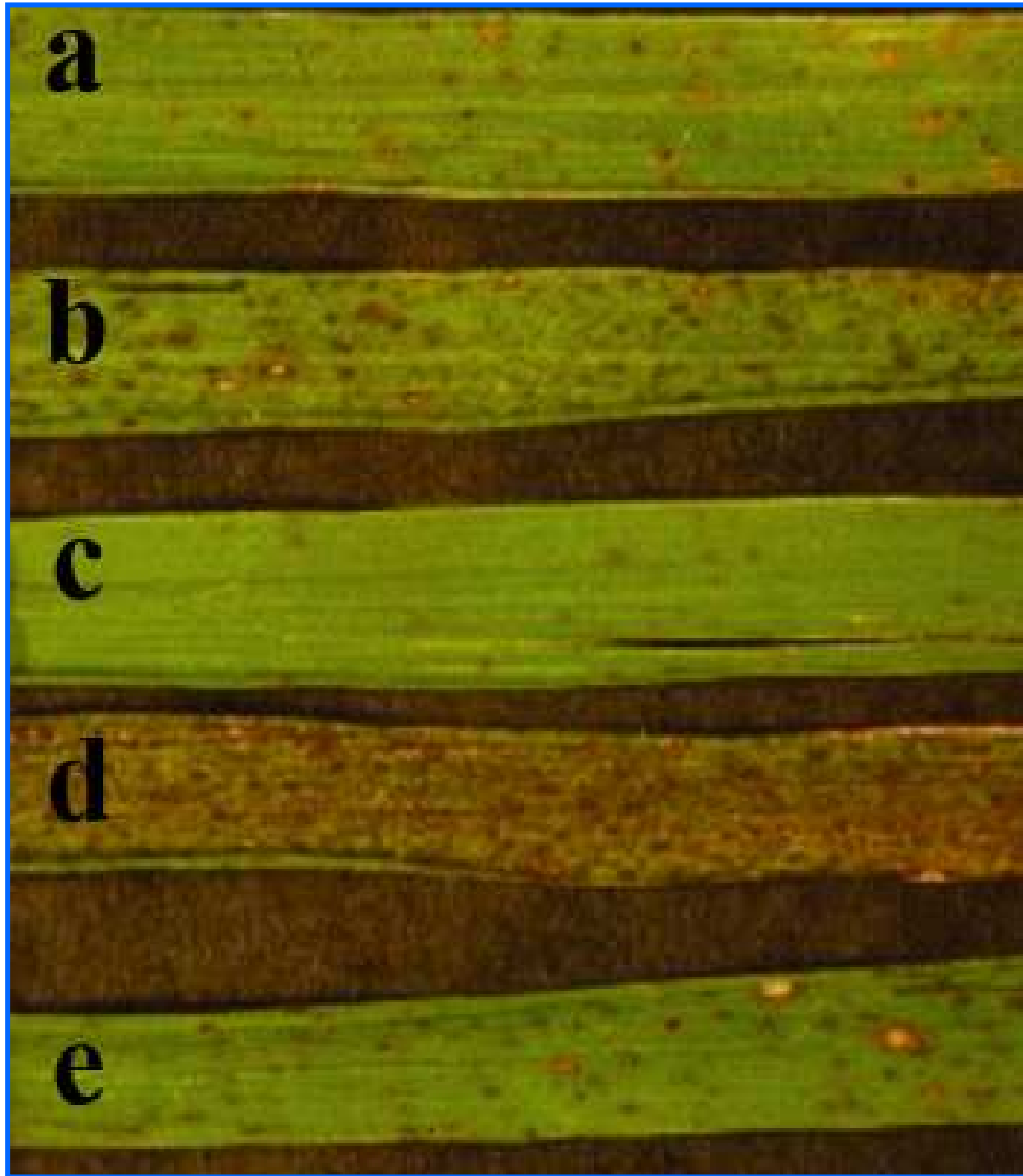






# Silício vs. Doenças do Arroz





# Mancha Parda

## Tratamentos

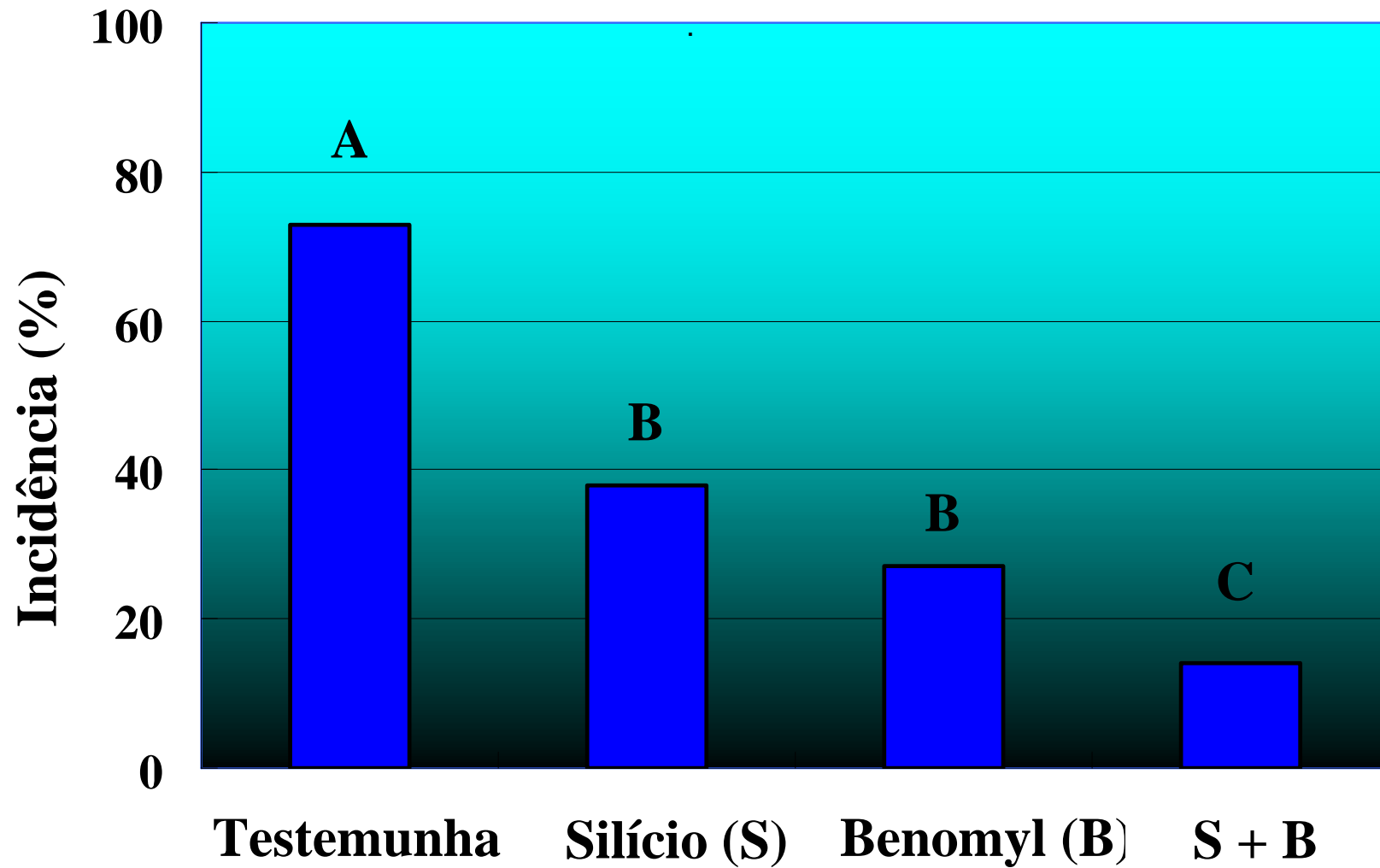
**A e E = silicato de cálcio**

**B = propiconazole**

**C = propiconazole +  
Silicato de cálcio**

**D = testemunha**

## Incidência da brusone do arroz em resposta a aplicação de silício e fungicida

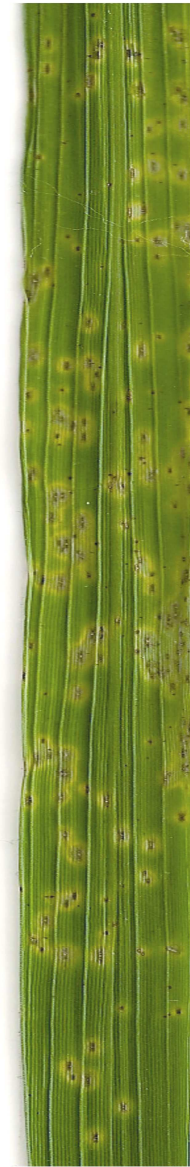




**Oochikara**

***Isi1***

**Sintomas da  
mancha parda**



**-Si**

**+Si**

**-Si**

**+Si**

## Concentração (%) foliar de Si

Material vegetal	-Si	+Si
Oochikara	2,6 bA	8,3 aA
Mutante <i>lsi1</i>	1,4 bB	3,9 aB

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Dados de dois experimentos combinados.

## Área abaixo da curva do progresso da mancha parda

Material vegetal	-Si	+Si
Oochikara	2008 aA	492 bB
Mutante <i>lsi1</i>	1967 aA	984 bA

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Dados de dois experimentos combinados.



Oochikara +Si



Oochikara -Si



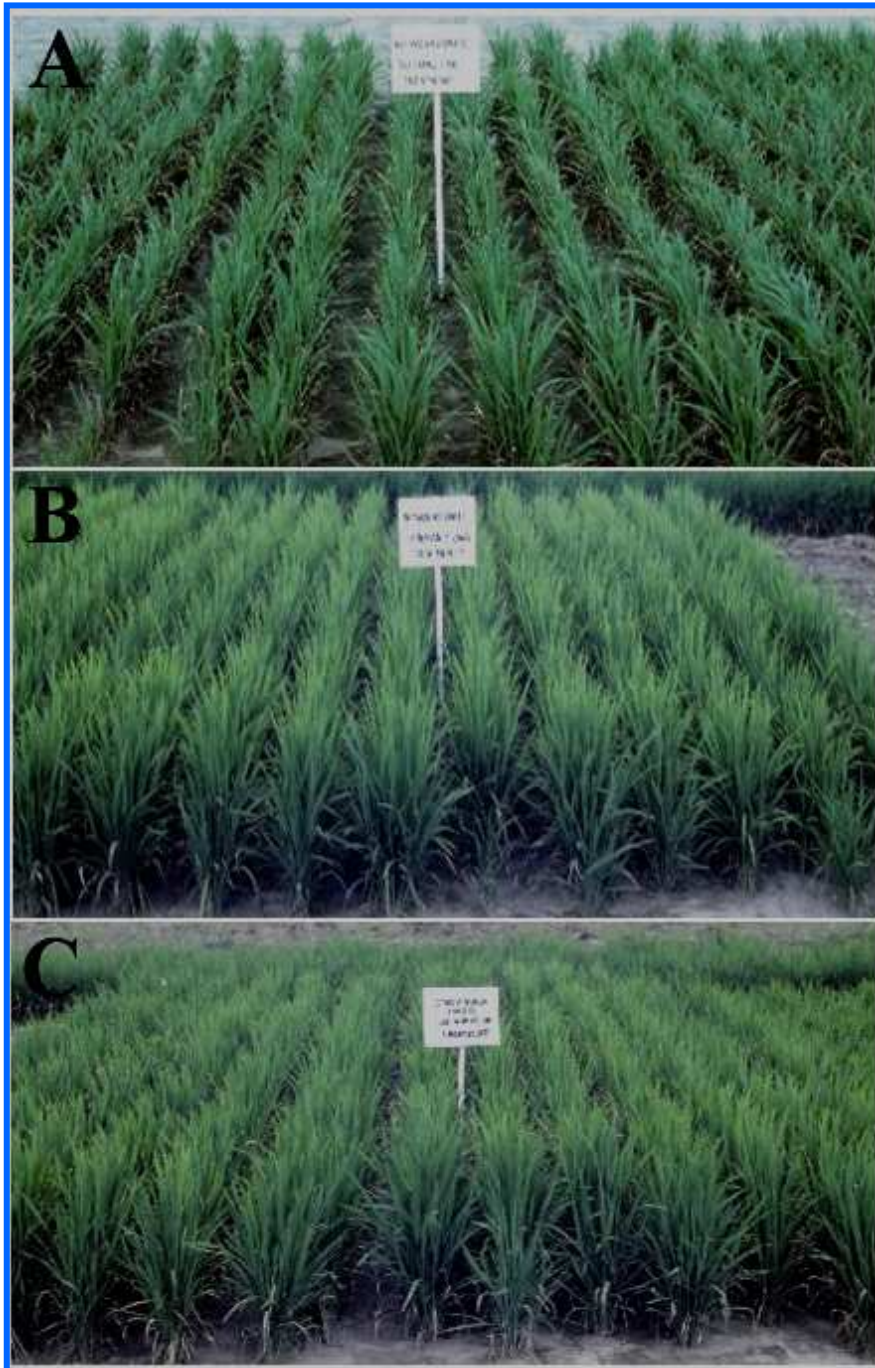
*Isi1* -Si



*Isi1* +Si







# **Brusone em folhas baixeiras**

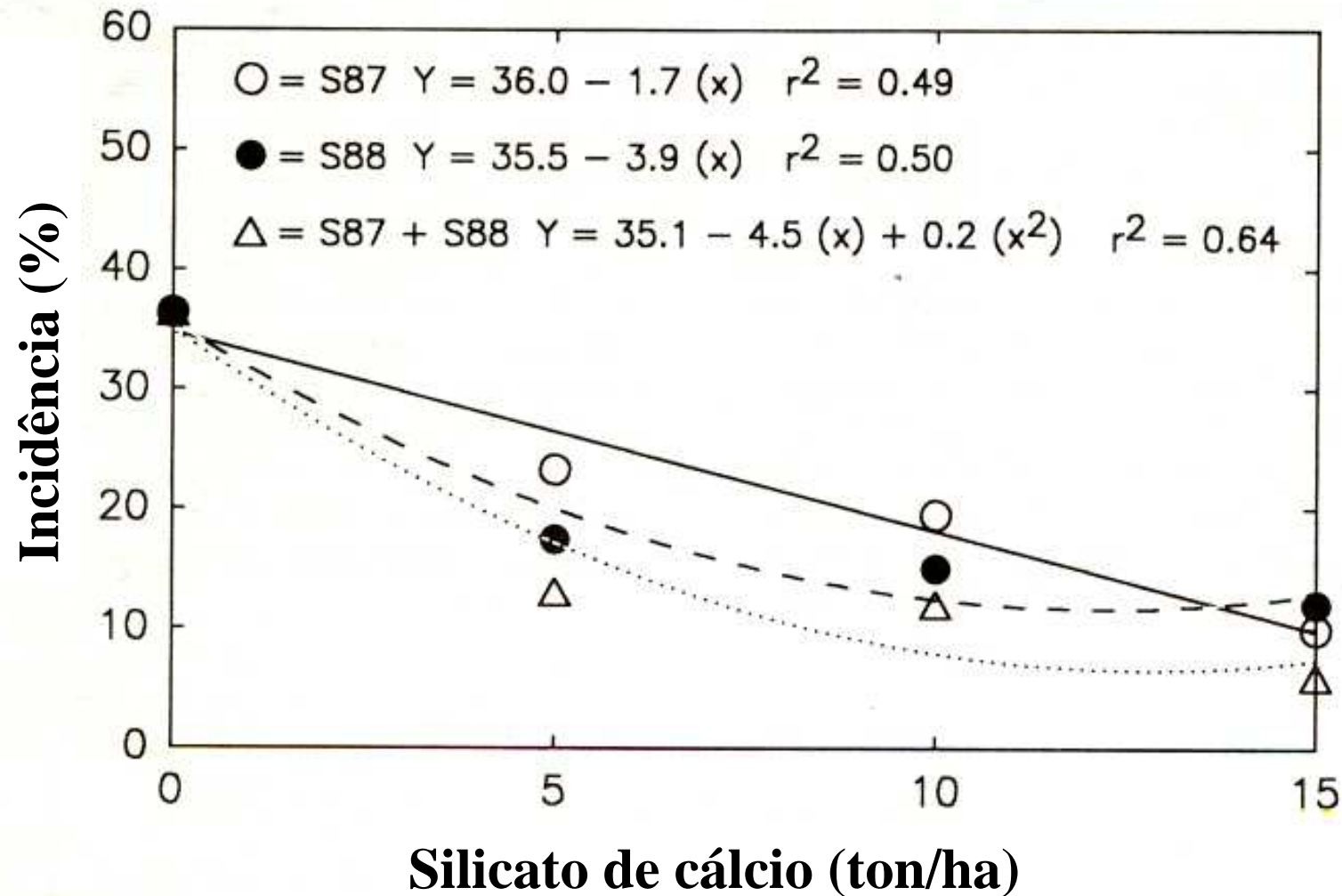
## **Tratamentos**

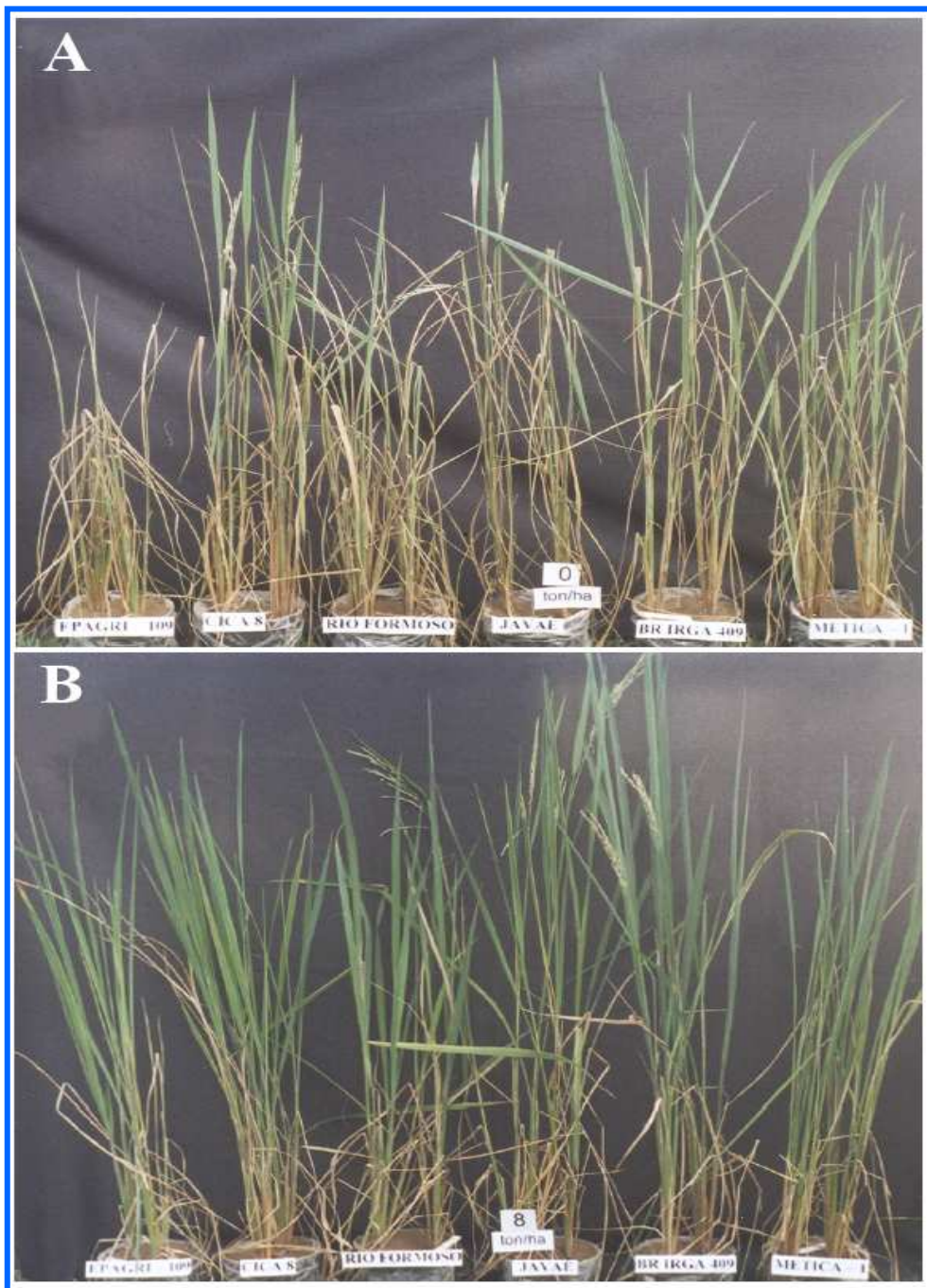
**A = sem silicato de cálcio**

**B = silicato de cálcio**

**C = fungicida**

## Efeito residual do silício no controle da brusone do pescoço em arroz





# Queima das bainhas do arroz

## Tratamentos

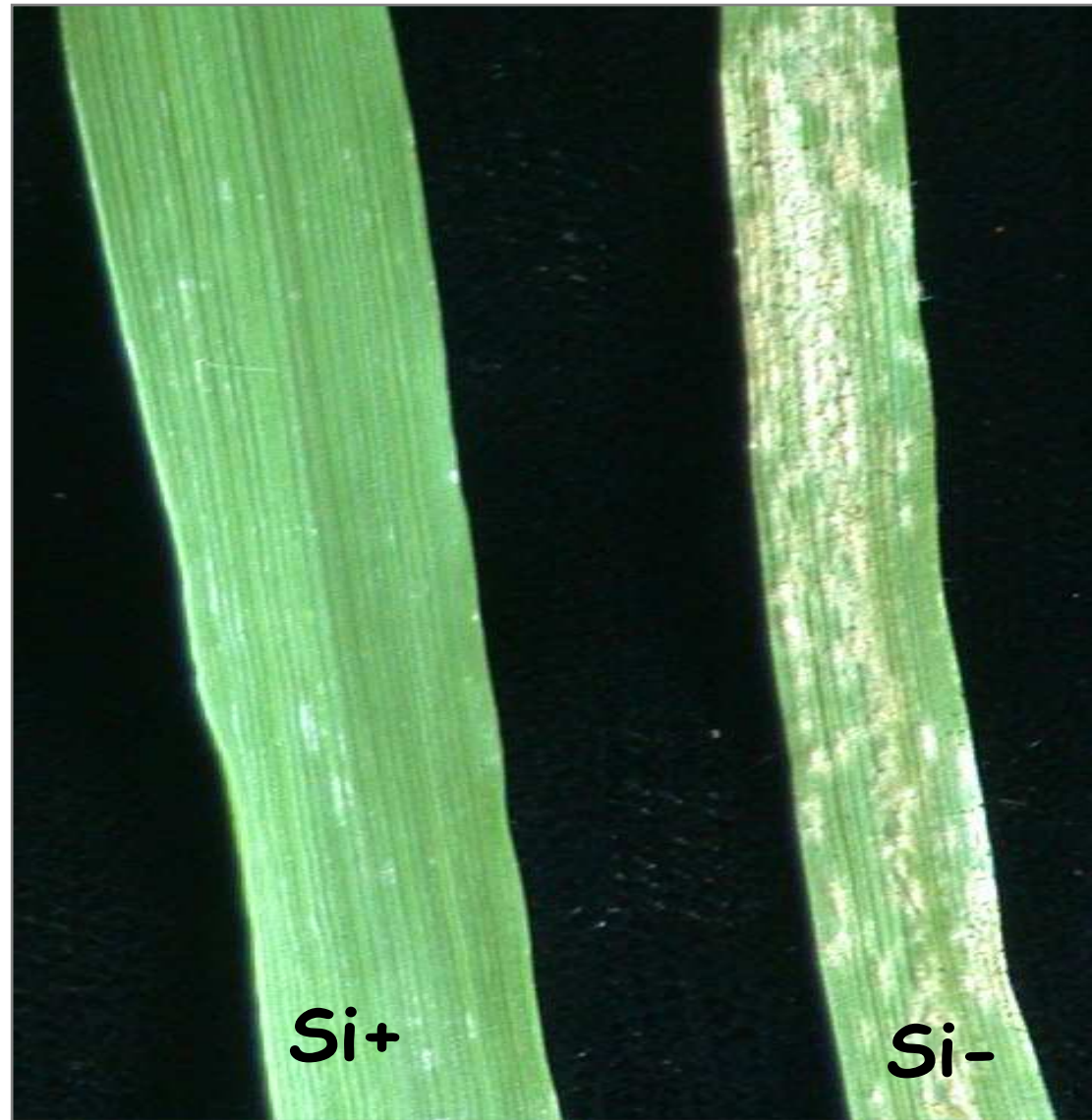
**A = 0 g Si vaso<sup>-1</sup>**

**B = 1,92 g Si vaso<sup>-1</sup>**

Rodrigues et al., 2003. Influence of silicon on sheath blight of rice in Brazil. Crop Protection 22:23-29



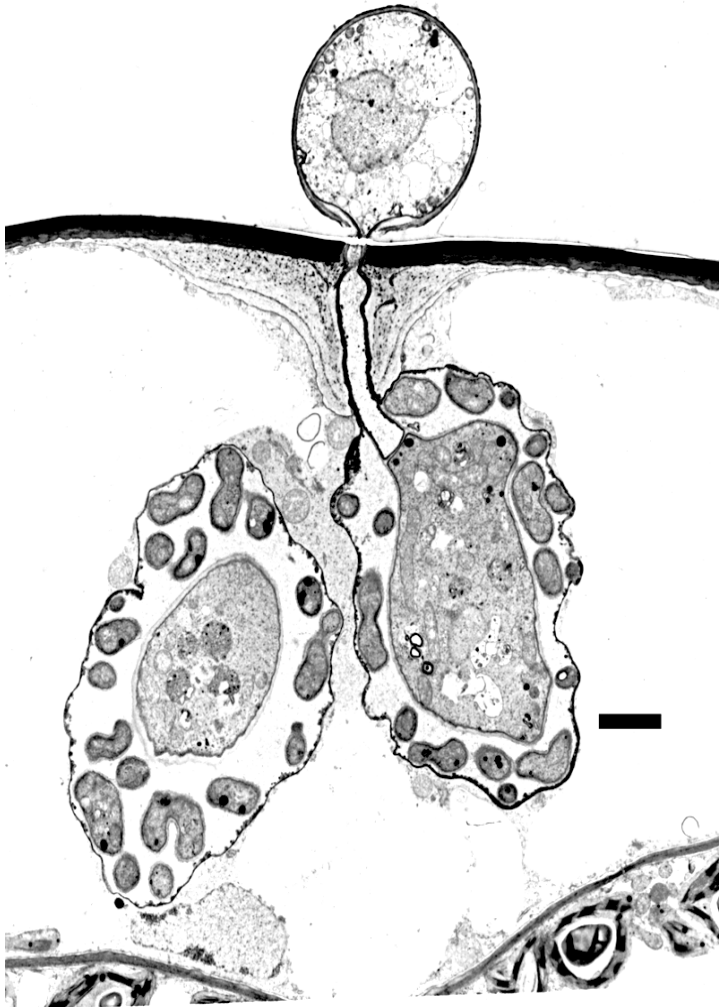
# Trigo-Oídio ou Míldio Pulverulento



Bélangier et al. 2004



**Controle**



**Silício**



**Bélanger et al. (2004)**

## Murcha do Pimentão (*Phytophthora capsici*)



Testemunha

Inoculado

Si-

Si+

Si+

Si-

## Concentração de silício (Si) e cálcio (Ca) nas raízes e no caule de plantas de pimentão nos diferentes tratamentos

Tratamentos	Si (%)		Ca (%)	
	Raízes	Caule	Raízes	Caule
Plantas inoculadas	0,54	0,07	0,89	0,44
Plantas não inoculadas	0,28	0,04	0,38	0,42
teste- <i>t</i> ( $P \leq 0,05$ ) *	0,10	0,06	0,15	0,05
-Si (carbonato de cálcio)	0,35	0,09	0,91	0,46
+Si (silicato de cálcio)	0,49	0,04	0,57	0,38
teste- <i>t</i> ( $P \leq 0,05$ ) *	0,09	0,07	0,14	0,04



## Comprimento Relativo da Lesão

---

Tratamentos	CRL (%)
-Si (carbonato de cálcio)	37,49
+Si (silicato de cálcio)	24,34

---

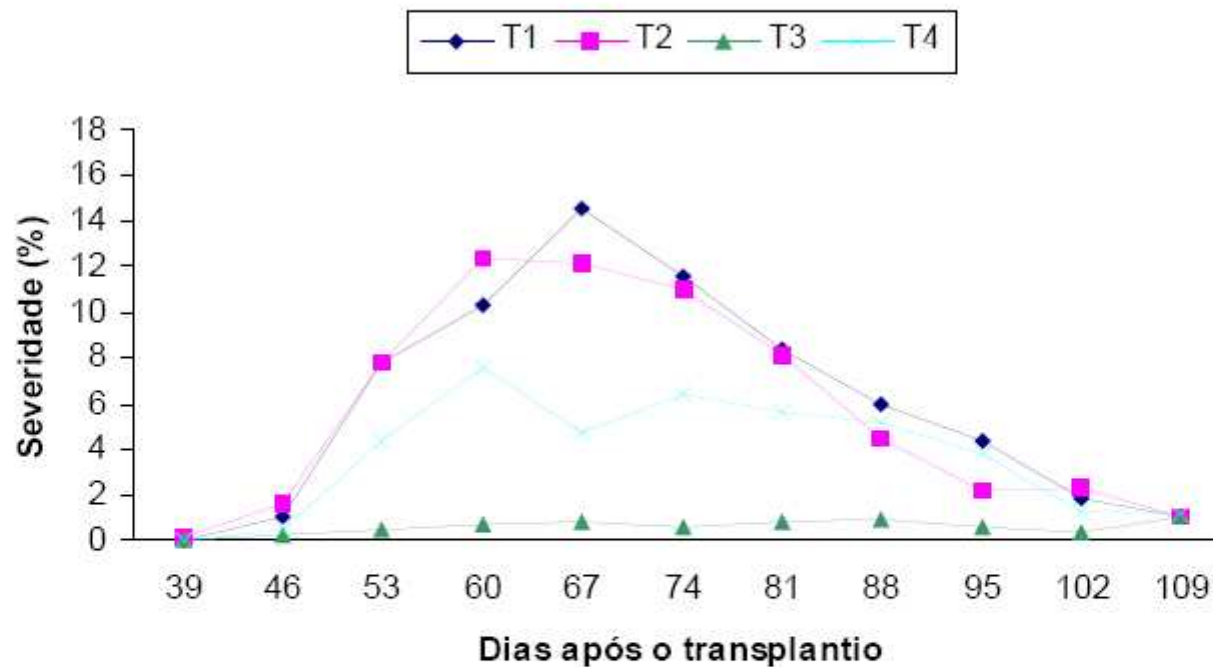
Diferença significativa a 5% pelo teste-*t*.

## Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) e área abaixo da curva do progresso de plantas murchas (AACPPM)

Tratamentos	AACPD		AACPPM	
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1	Exp. 2
-Si (carbonato de cálcio)	233	208	127	150
+Si (silicato de cálcio)	197	130	90	100
teste- <i>t</i> ( $P \leq 0,05$ )*	14	21	11	17

# Aplicação foliar de silicato de potássio vs. requeima do tomateiro

## Experimento 1

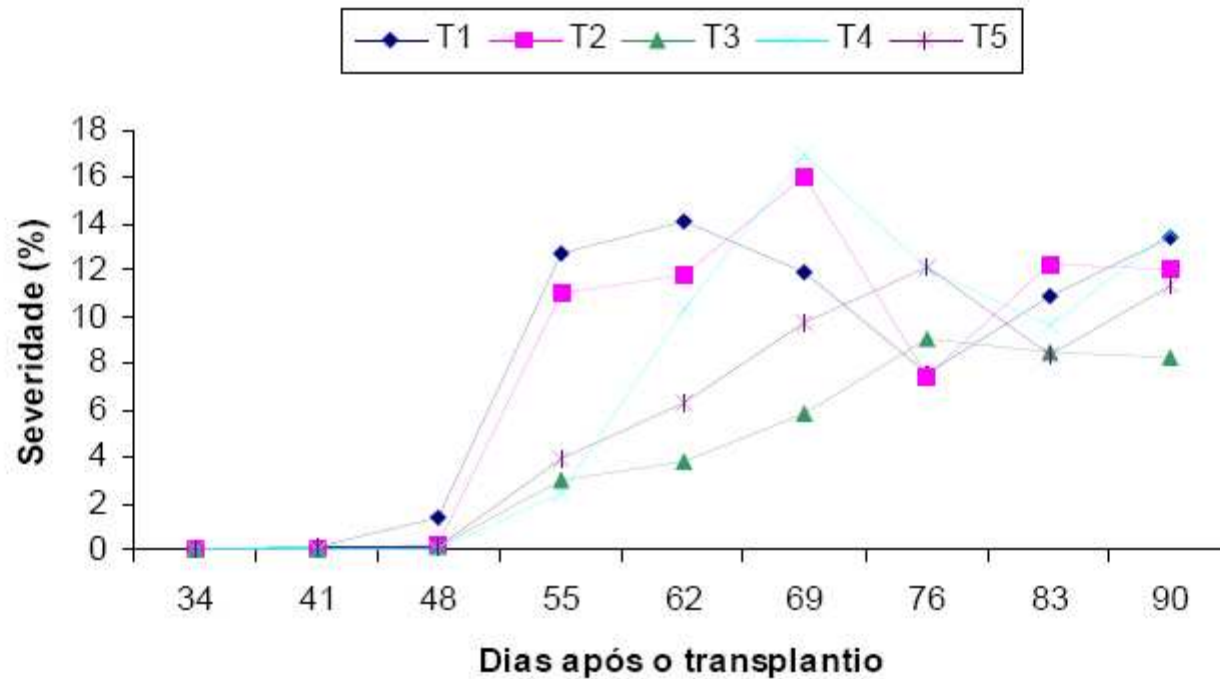


**Figura 1.** Severidade da requeima do tomateiro em função do tempo para os diferentes tratamentos. Tratamentos: T1 – testemunha, sem aplicação de silicato de potássio e de fungicidas; T2 – silicato de potássio semanal; T3 – fungicida sistêmico ou protetor, semanalmente alternados; T4 – fungicida (sistêmico ou protetor) ou silicato de potássio, alternados semanalmente. Dados do experimento 1, conduzido de junho a setembro de 2006, em Alegre, ES.



# Aplicação foliar de silicato de potássio vs. requeima do tomateiro

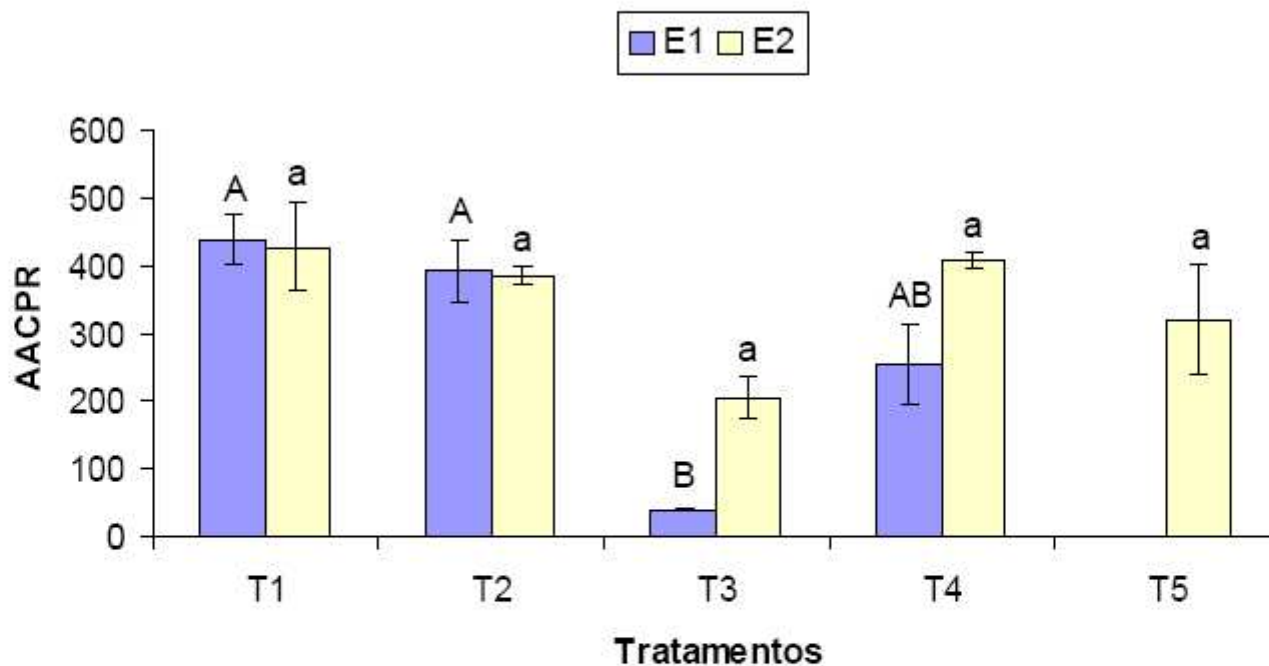
## Experimento 2



**Figura 2.** Severidade da requeima do tomateiro em função do tempo para os diferentes tratamentos. Tratamentos: T1 – testemunha, sem aplicação de silicato de potássio e de fungicidas; T2 – silicato de potássio semanal; T3 – fungicida sistêmico ou protetor, semanalmente alternados; T4 – fungicida (sistêmico ou protetor) ou silicato de potássio, alternados semanalmente; T5 – silicato de potássio e fungicida (sistêmico ou protetor) juntos semanalmente. Dados do experimento 2, conduzido de abril a julho de 2007, em Alegre, ES.

# Aplicação foliar de silicato de potássio vs. requeima do tomateiro

## Experimentos 1 e 2



**Figura 11.** Area abaixo da curva de progresso da requeima (AACPR) para os diferentes tratamentos no E1 (conduzido de junho a setembro de 2006) e E2 (conduzido de abril a julho de 2007), em Alegre, ES. Os tratamentos foram: T1 – testemunha, sem aplicação de silicato de potássio e de fungicida; T2 – silicato de potássio, semanal; T3 – fungicida sistêmico ou protetor, semanalmente alternados; T4 – fungicida (sistêmico ou protetor) ou silicato de potássio, alternado semanalmente; T5 – silicato de potássio e fungicida (sistêmico ou protetor), juntos semanalmente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (E1) ou minúscula (E2), não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Barras para cada coluna representam o erro-padrão da média.

# Aplicação foliar de silicato de potássio vs. requeima do tomateiro

## Experimentos 1 e 2

**Tabela 1.** Área abaixo da curva de progresso da requeima (AACPR) e produtividade para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	AACPR		Produtividade (Kg/ha)	
1*	72,50	a	0,00	a
2	23,87	c	15.580,36	bc
3	18,28	d	18.839,29	c
4	29,50	b	12.946,29	b
5	19,72	cd	18.214,43	bc
6	17,90	d	19.821,43	c
7	68,32	a	0,00	a
8	16,29	d	20.595,24	c
C.V. (%)	6,7		17,6	

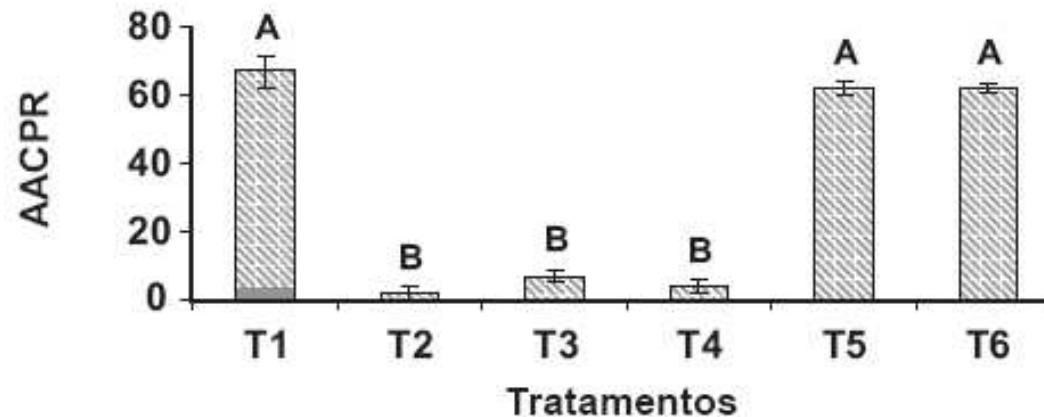
\* Tratamentos: T1 - testemunha (sem aplicação de silicato e de fungicida); T2 - Cimoxanil + Mancozeb (2,0 Kg/ha) ; T3 - Cimoxanil + Mancozeb (2,5 Kg/ha); T4 - Cimoxanil + Mancozeb (2,0 Kg/ha) + silicato de potássio; T5 - Cimoxanil + Mancozeb (2,5 Kg/ha) + silicato de potássio; T6 - Cimoxanil + Mancozeb (3,0 Kg/ha) + silicato de potássio; T7 - silicato de potássio e T8 - Cimoxanil + Mancozeb (3,0 Kg/ha).

Médias seguidas pela mesma letra na vertical para cada variável avaliada não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. C.V. = coeficiente de variação.



# Aplicação foliar de silicato de potássio vs. requeima do tomateiro

## Experimentos 1 e 2



**FIG. 2** - Áreas Abaixo das Curvas de Progresso da Requeima (AACPR) para os diferentes tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Tratamentos: T1 - testemunha (sem aplicação de silicato de potássio e de fungicidas); T2 - dimetomorfe + clorotalonil (VSD = 10) + metiram; T3 - metalaxil-M + clorotalonil (VSD = 10) + metiram; T4- calendário fixo: dimetomorfe + clorotalonil, mancozeb, metalaxil-M + clorotalonil, clorotalonil; T5 - silicato de potássio (5 g/L) e T6- silicato de potássio (15 g/L). Os valores apresentados correspondem a média de 4 repetições e as barras para cada coluna representam o desvio padrão da média.

# Aplicação foliar de silicato de potássio vs. requeima do tomateiro

## Experimentos 1 e 2

**TABELA 1** – Produtividade e número de pulverizações com fungicidas sistêmicos, fungicidas protetores e com silicato de potássio nos diferentes tratamentos visando o controle da requeima do tomateiro industrial

Tratamentos	Número de pulverizações de cada produto			Produtividade (kg/ha)	
	Fungicida sistêmico	Fungicida protetor	Silicato de Potássio		
1 <sup>1</sup>	-	-	-	40,00 <sup>2</sup>	a
2	4	5	-	62.103,73	c
3	4	5	-	36.607,86	b
4	5	4	-	52.473,33	c
5	-	-	4	100,05	a
6	-	-	4	112,02	a
C.V. (%)				20,1	

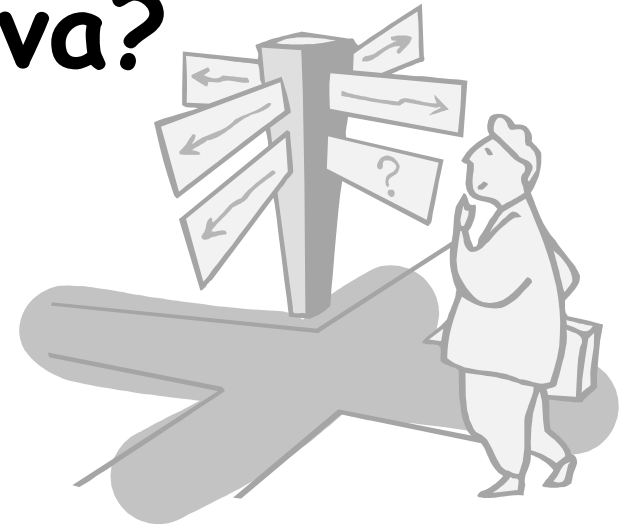
- = nenhuma pulverização foi realizada.

<sup>1</sup>Tratamentos: T1 - testemunha (sem aplicação de silicato de potássio e de fungicidas); T2 - dimetomorfe + clorotalonil (VSD = 10) + metiram; T3 - metalaxil-M + clorotalonil (VSD = 10) + metiram; T4 - calendário fixo: dimetomorfe + clorotalonil, mancozeb, metalaxil-M + clorotalonil, clorotalonil; T5 - silicato de potássio (5 g/l) e T6 - silicato de potássio (15 g/l).

<sup>2</sup> Média de 4 repetições. Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



**A resistência das plantas a patógenos potencializada pelo Si pode ser ativa?**







**Caso positivo, então:**

**Quais seriam esses mecanismos de defesa?**



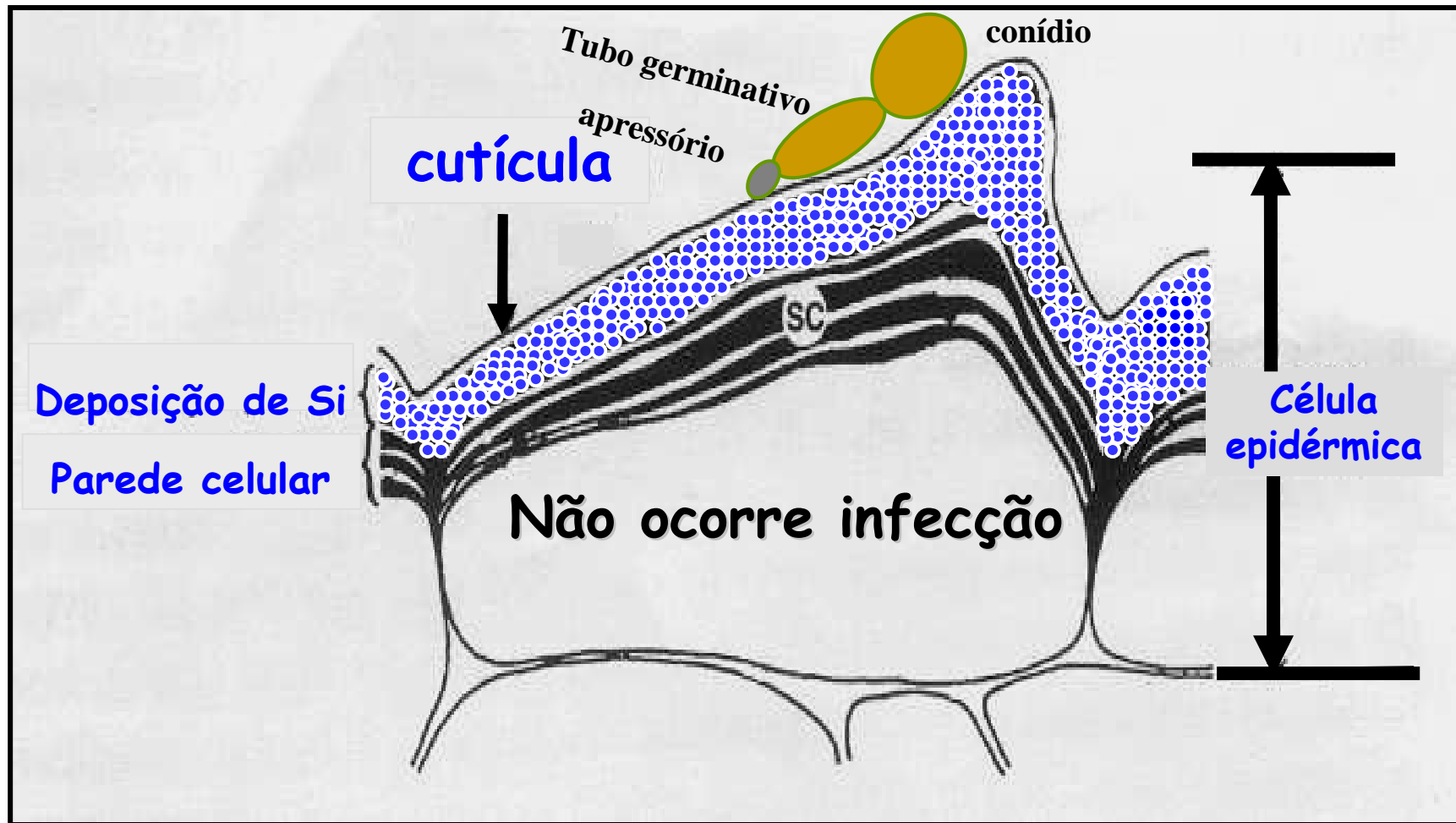
# Mecanismos de Resistência

---

- a) Barreira mecânica (ação passiva)
- b) Barreira química (ação ativa)
- c) Ação conjunta dessas barreiras

# Barreira Mecânica

Camada dupla cutícula-silica (Yoshida et al., 1962)





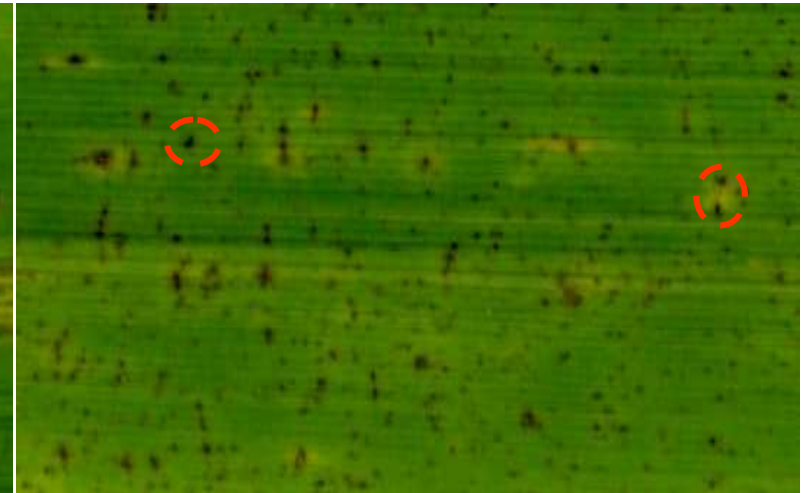
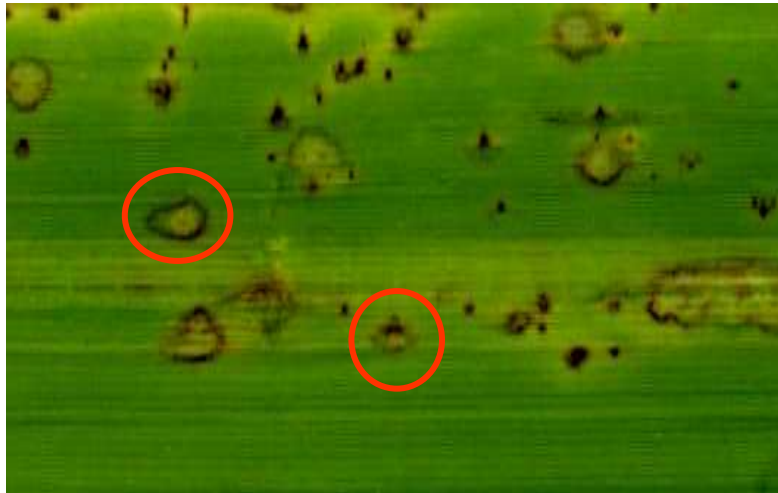
# Sintomas da Brusone em Folhas de Arroz

---

$Si^-$

$Si^+$

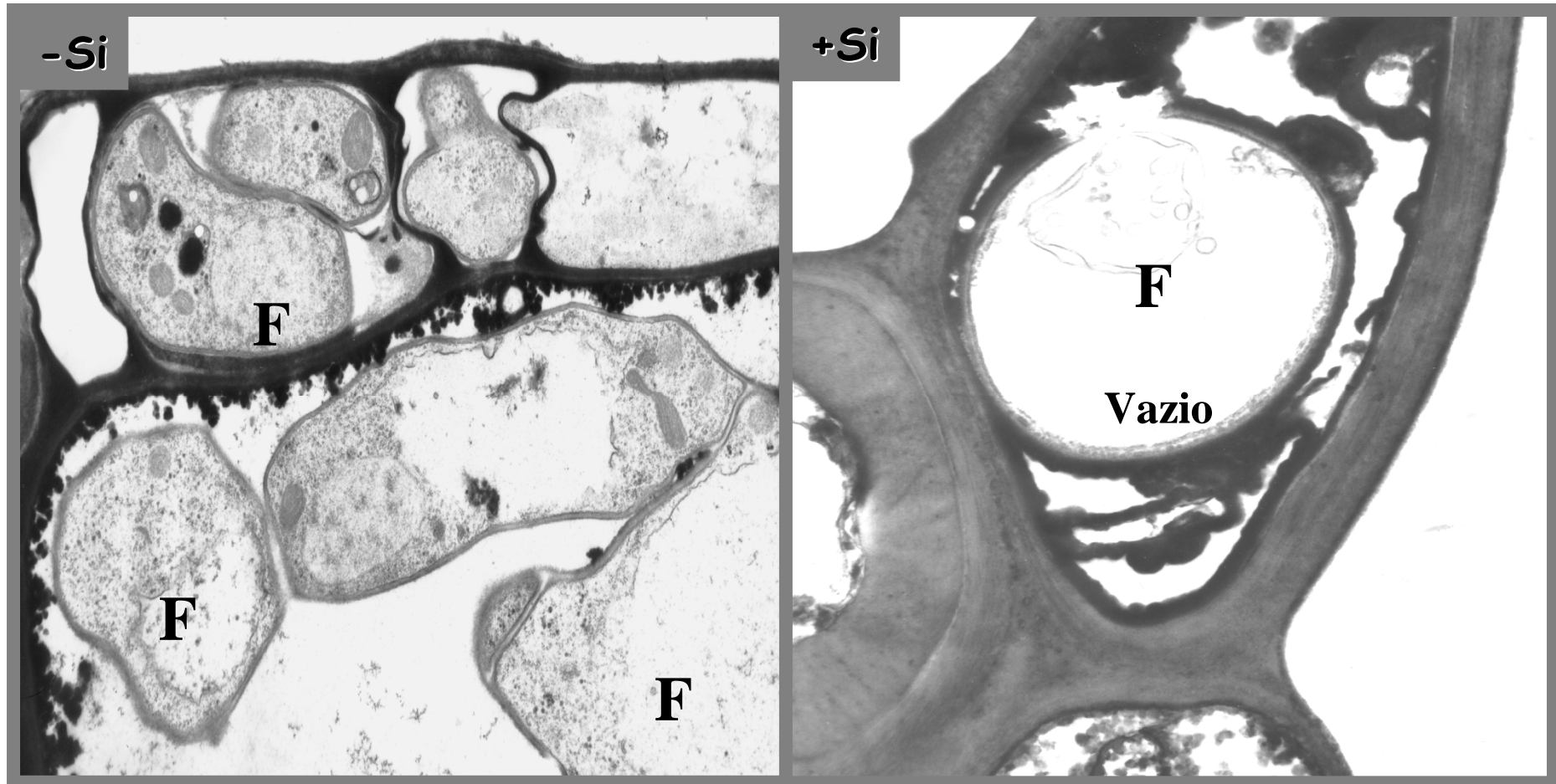
96 h após  
inoculação



Rodrigues et al. (2003)

# Microscopia Eletrônica de Transmissão

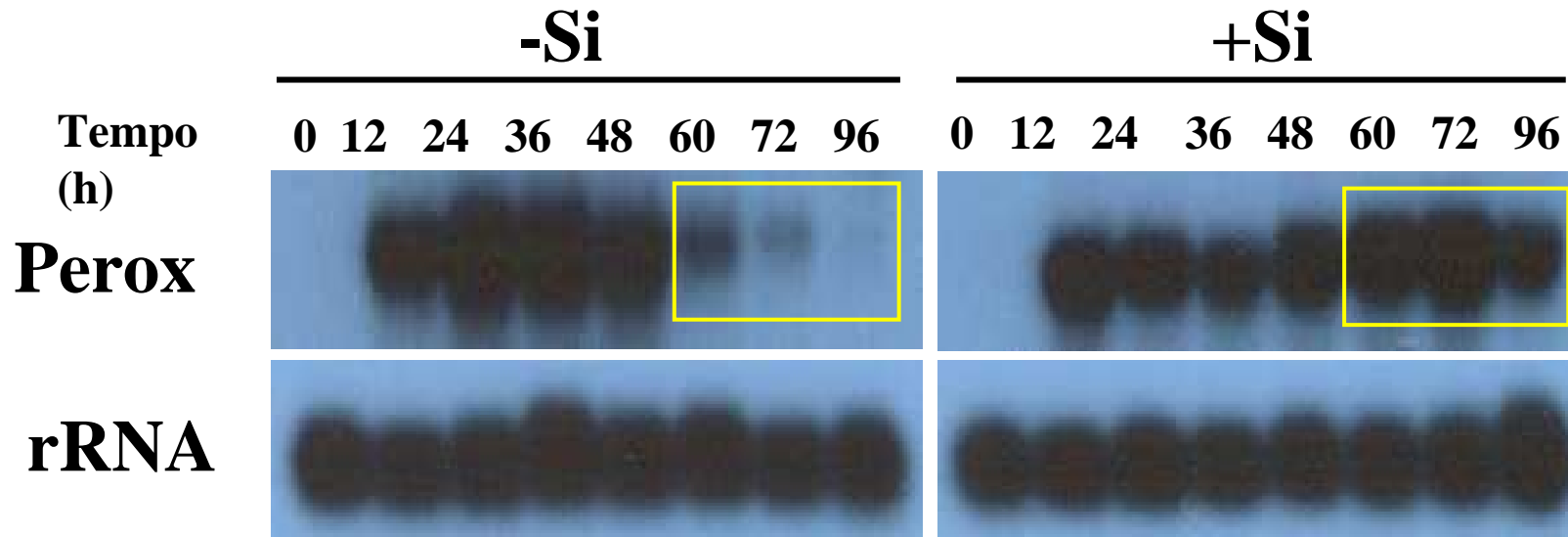
---



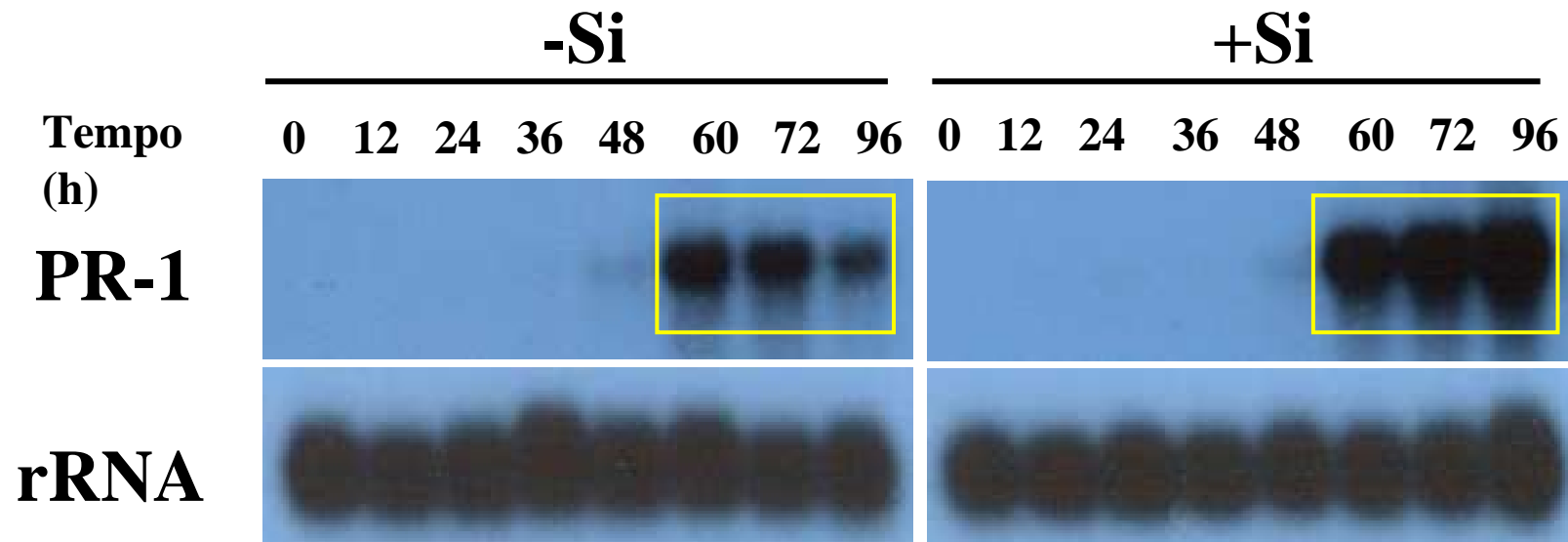
Rodrigues et al. (2003)



# Peroxidase



# PR-1

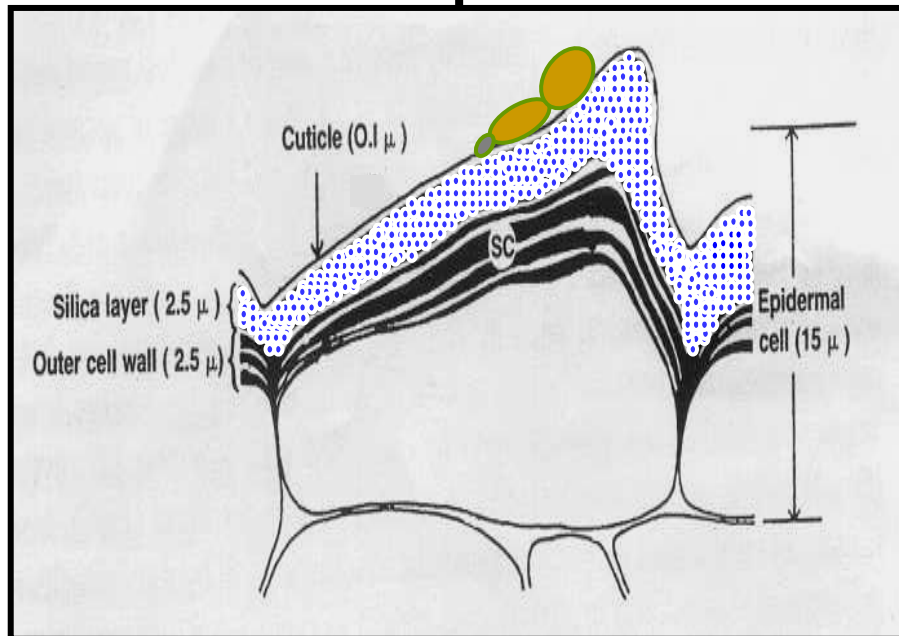




# Esquema mostrando o efeito do Si em aumentar a resistência do arroz a brusone

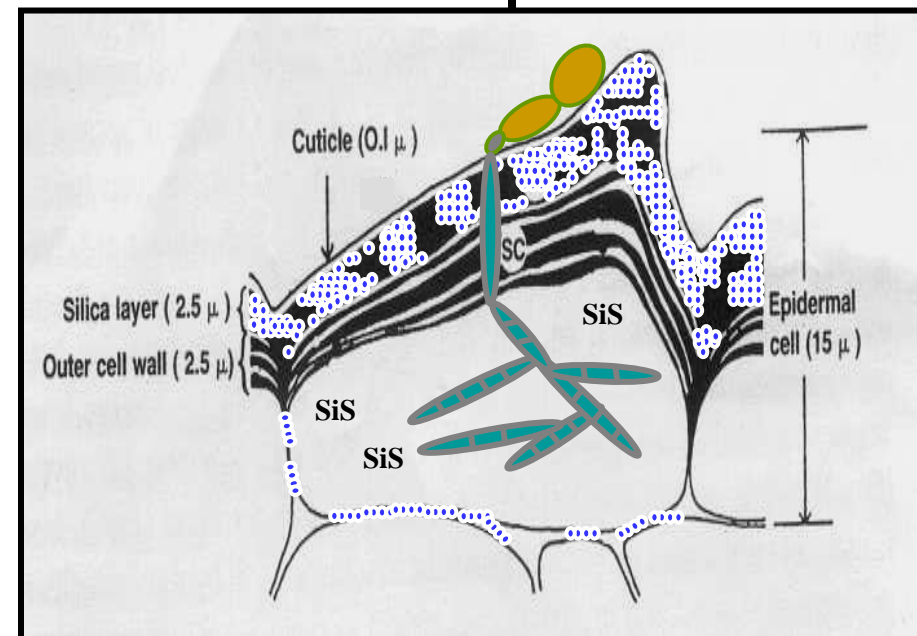
## Silício

### Ação Passiva



Ausência de lesão foliar e resposta de defesa pré-penetração

### Ação Ativa



Atraso na penetração e colonização pelo fungo. O silício solúvel (SiS) poder estar envolvido na expressão de mecanismo(s) de defesa do arroz após a penetração do fungo.



**V** Simpósio Brasileiro  
Sobre Silício na Agricultura

16 a 18 de Agosto de 2010

Local: Espaço Acadêmico-Cultural Fernando Sabino  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, MG

Inscrições e maiores informações  
no site [www.siliconagriculture.com.br](http://www.siliconagriculture.com.br)

Realização



Visite o site do  
Simpósio:

[www.siliconagriculture.com.br](http://www.siliconagriculture.com.br)