



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PCS – 503 – Nutrição Mineral de Plantas



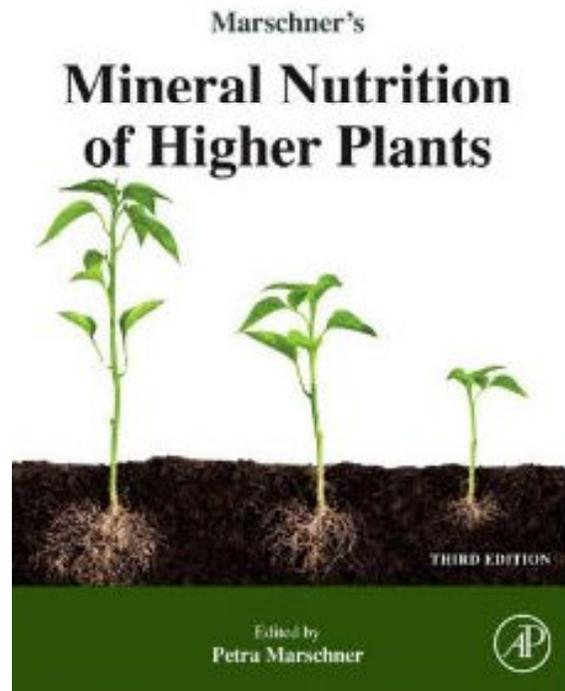
Elementos Úteis e Tóxicos

Valdemar Faquin
Prof. Titular/DCS-UFLA

Sílvio Ramos
Pós-doutorando/DCS-UFLA

Lavras-MG

Elementos úteis ou benéficos



Introdução

As plantas absorvem do solo todos os elementos químicos que se apresentam na forma disponível.

- ✓ **Elementos essenciais (macro e micronutrientes)**
- ✓ **Elementos não essenciais**
 - **efeitos benéficos no desenvolvimento de certas plantas**
 - **efeitos tóxicos para as plantas em baixa ou alta concentração**

Convém lembrar que todos os elementos pode tornar-se tóxico para as plantas quando presente em elevadas concentrações.

Introdução

Os elementos químicos absorvidos pelas plantas podem ser classificados em:

Essenciais: são os nutrientes da planta sem os quais essas não vivem

Úteis ou Benéficos: não são essenciais, a planta pode viver sem eles; entretanto, a presença desses é capaz de contribuir de alguma forma no crescimento e produção

Tóxicos: essenciais ou não, quando são prejudiciais à planta.

Introdução

Elementos Úteis ou Benéficos



Sódio



Sódio (Na)

Três aspectos importantes do Na sobre a nutrição das plantas

- 1) sua essencialidade para certas espécies de plantas**
- 2) substituir as funções do K em plantas**
- 3) Efeito do Na nas plantas**

Sódio (Na)

1) Essencialidade de Na

Sodium as an Essential Micronutrient Element for a Higher Plant (*Atriplex vesicaria*)¹

P. F. Brownell

Department of Botany, University of Adelaide, South Australia

PLANT PHYSIOLOGY Received March 4, 1964.

Table III. *Yields of Atriplex vesicaria following the Application of the Sulfates of Sodium and Potassium*

Treatment	Fr wt/vessel (g)			
	Leaf-blades	Stems and petioles	Roots	Total
I. No addition	0.301	0.021	0.221	0.543
II. 0.02 meq/liter Na ₂ SO ₄	2.101	0.144	1.441	3.686
III. 0.10 meq/liter Na ₂ SO ₄	2.926	0.224	2.148	5.298
IV. 0.60 meq/liter Na ₂ SO ₄	2.940	0.228	2.940	6.108
V. 0.60 meq/liter K ₂ SO ₄	0.436	0.019	0.326	0.781

Sódio (Na)

Sodium as an Essential Micronutrient Element for a Higher Plant (*Atriplex vesicaria*)¹

P. F. Brownell

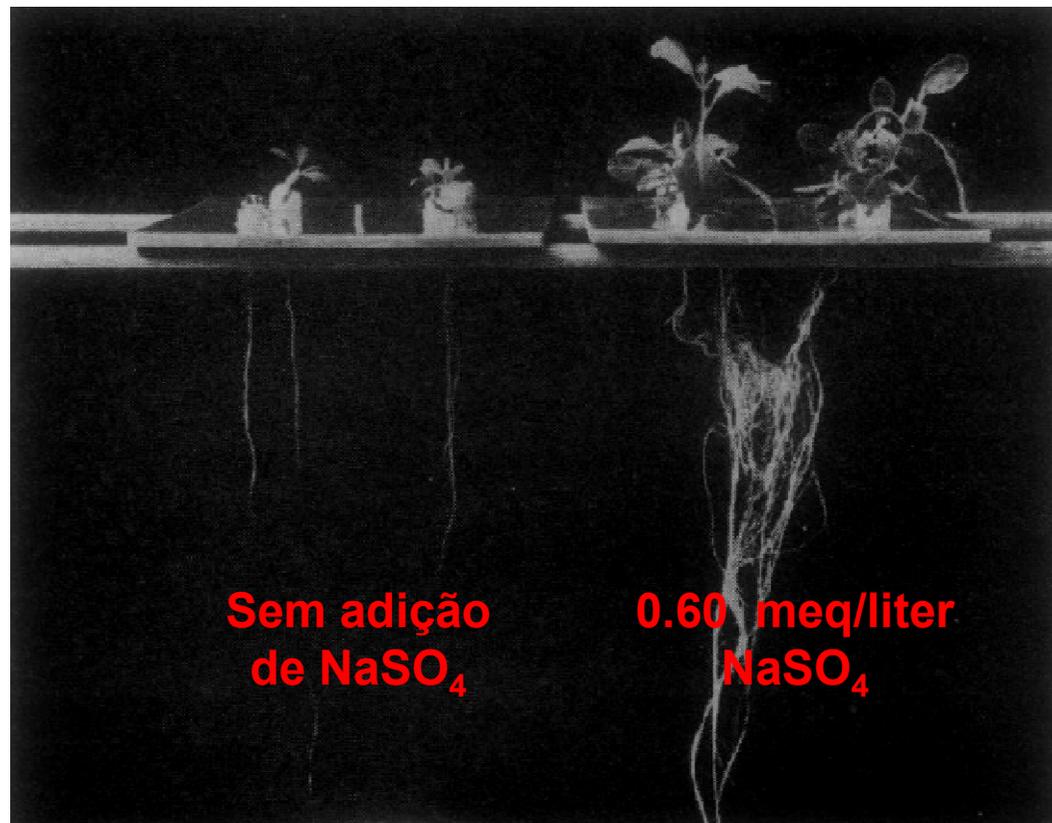
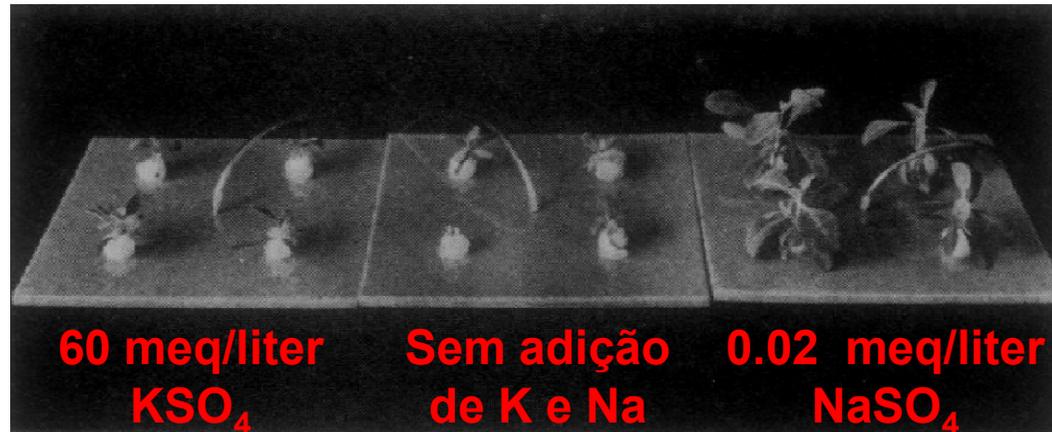
Department of Botany, University of Adelaide, South Australia

PLANT PHYSIOLOGY Received March 4, 1964.

Table IV. *Fresh and Dry Weight Changes after Recovery of Sodium Deficient Plants of Atriplex vesicaria following the Application of Sodium Sulfate Treatments*

Treatment	Fr wt/vessel (g)				Dry wt/vessel (g)			
	Leaf-blades	Stems and petioles	Roots	Total	Leaf-blades	Stems and petioles	Roots	Total
I. No sodium sulfate	0.877	0.078	0.671	1.626	0.0894	0.0124	0.0481	0.1499
II. 0.10 meq/liter Na ₂ SO ₄ applied on day 16	8.139	1.007	6.923	16.069	1.0236	0.1619	0.4810	1.6665
III. 0.10 meq/liter Na ₂ SO ₄ applied on day 31	3.713	0.334	2.800	6.847	0.4713	0.0544	0.2133	0.7390

Sódio (Na)



Brownell (1965)

Sódio (Na)

Sodium as an Essential Micronutrient Element for a Higher Plant (*Atriplex vesicaria*)¹

P. F. Brownell

Department of Botany, University of Adelaide, South Australia

PLANT PHYSIOLOGY Received March 4, 1964.

Sem a adição de Na

20 dias as plantas manifestaram os sintomas de deficiência

35 dias as plantas morreram

Com a adição de Na

O Na substituiu as funções do K

It is concluded that small amounts of sodium are essential for the growth and development of *Atriplex vesicaria*.

Sódio (Na)

2) Substituir as funções do K em plantas

K

- Ativador de enzimas
- Atua na fotossíntese
- Função osmótica
- Movimento estomático
- Tropismo
- Transporte de solutos

Na

- Ativador de enzimas
 - Função osmótica
-
- ```
graph LR; Na[Na] --> A[Abertura dos estômatos]; Na --> B[Osmorregulação nos vacúolos];
```
- Abertura dos estômatos
  - Osmorregulação nos vacúolos

## Sódio (Na)

---

### 2) Substituir as funções do K em plantas

Plantas alófitas



**Maior capacidade de substituir o K por Na**



**Necessitam de menos K para crescimento/produção**

**O K é essencial na abertura dos estômatos na maioria das plantas halófitas**

Broadley et al. (2011); Raghavendra et al. (1997)

## Sódio (Na)

---

### 3) Efeito do Na nas plantas

Estimulo no crescimento vegetal tem sido associado aos efeitos do Na na expansão celular e no equilíbrio hídrico nas plantas.

O Na pode substituir o K no potencial de solutos ou potencial osmótico nos vacúolos.



**Turgor e expansão celular**

Broadley et al. (2011)

**Algumas espécies a concentração de Na nos vacúolos supera K**

Jeschke (1977); Nunes et al. (1984)

# Sódio (Na)

## 3) Efeito do Na nas plantas

### Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants

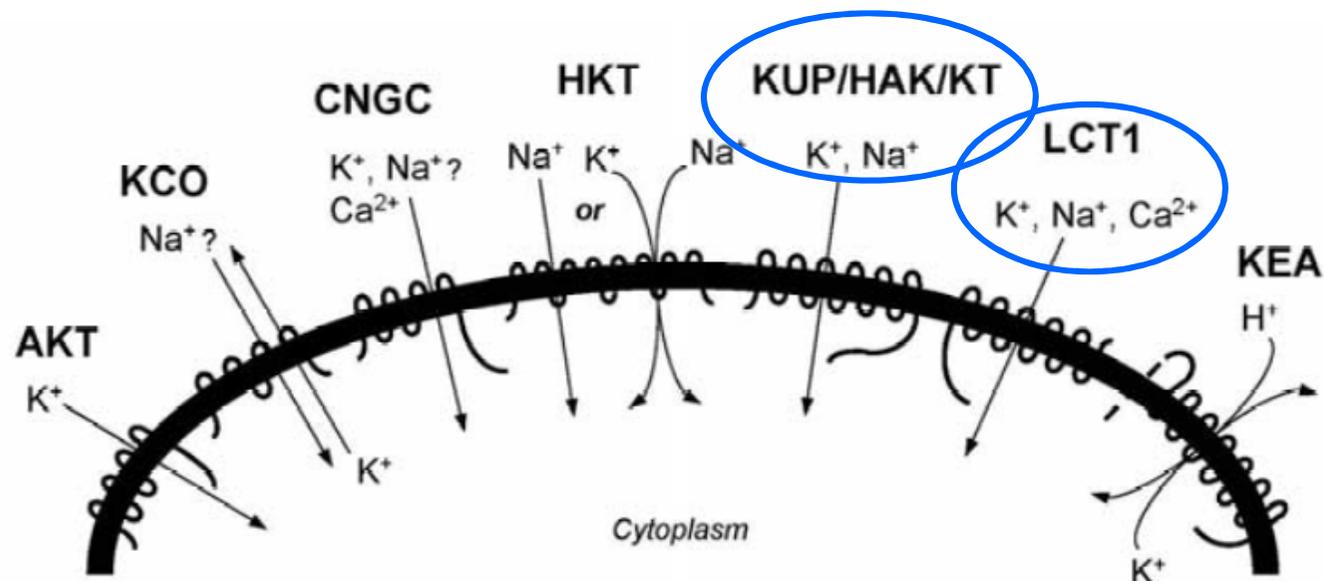
Pascal Mäser, Markus Gierth & Julian I. Schroeder<sup>1</sup>

*Cell and Developmental Biology Section and Center for Molecular Genetics, Division of Biology, University of California, San Diego, 9500 Gilman Drive, La Jolla, CA92093-0116, USA. <sup>1</sup>Corresponding author\**



*Plant and Soil* 247: 43–54, 2002.

© 2002 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.



## Sódio (Na)

### 3) Efeito do Na nas plantas

## Effect of Sodium Application on Growth of *Amaranthus tricolor* L.

Toru Match, Daisaku Ohta and Eiichi Takahashi

*Plant Nutrition Laboratory, Department of Agricultural Chemistry,*

*Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan*

*Plant Cell Physiol.* 27(2): 187-192 (1986)

JSPP © 1986

**Table 1** Contents of potassium in *A. tricolor* plants under various conditions

| Culture conditions                      | K (%)  |       |       |
|-----------------------------------------|--------|-------|-------|
|                                         | Leaves | Stems | Roots |
| Standard                                | 6.69   | 12.7  | 9.03  |
| +0.5 mM KCl                             | 7.30   | 13.9  | 11.3  |
| +1 mM KCl                               | 6.53   | 12.9  | 10.8  |
| +0.5 mM K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 4.38   | 7.46  | 5.58  |
| +0.5 mM NaCl                            | 4.80   | 9.26  | 5.19  |
| +1 mM NaCl                              | 4.08   | 7.25  | 5.29  |
| +0.5 mM Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 4.30   | 9.16  | 5.86  |

# Sódio (Na)

## 3) Efeito do Na nas plantas

### Effect of Sodium Application on Growth of *Amaranthus tricolor* L.

Toru Match, Daisaku Ohta and Eiichi Takahashi

*Plant Nutrition Laboratory, Department of Agricultural Chemistry,  
Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan*

*Plant Cell Physiol.* 27(2): 187-192 (1986)  
JSPP © 1986

**Table 2** Contents of nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium and iron in *A. tricolor* plant leaves under various conditions

| Culture conditions                      | N (%)        | P (%)         | Ca (%)       | Mg (%)       | Fe (ppm)   |
|-----------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|------------|
| Standard                                | 5.91 ± 0.249 | 0.743 ± 0.010 | 2.84 ± 0.100 | 1.12 ± 0.058 | 128 ± 5.50 |
| +0.5 mM KCl                             | 6.20 ± 0.370 | 0.855 ± 0.058 | 2.85 ± 0.064 | 1.21 ± 0.067 | N.D.       |
| +1 mM KCl                               | 5.99 ± 0.050 | 0.807 ± 0.071 | 2.54 ± 0.50  | 1.08 ± 0.130 | 249 ± 12.4 |
| +0.5 mM K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 5.50 ± 0.189 | 0.509 ± 0.044 | 3.33 ± 0.162 | 1.01 ± 0.025 | 213 ± 10.0 |
| +0.5 mM NaCl                            | 5.20 ± 0.161 | 0.722 ± 0.058 | 3.01 ± 0.020 | 1.08 ± 0.052 | N.D.       |
| +1 mM NaCl                              | 5.28 ± 0.117 | 0.628 ± 0.023 | 3.20 ± 0.016 | 1.12 ± 0.027 | 331 ± 12.5 |
| +0.5 mM Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 5.10 ± 0.116 | 0.641 ± 0.006 | 3.17 ± 0.067 | 1.16 ± 0.063 | 205 ± 4.49 |

## Sódio (Na)

---

### 3) Efeito do Na nas plantas

#### Effect of Sodium Application on Growth of *Amaranthus tricolor* L.

Toru Matoh, Daisaku Ohta and Eiichi Takahashi

*Plant Cell Physiol.* 27(2): 187-192 (1986)  
JSPP © 1986

**Table 3** Effect of sodium application on the chlorophyll in the leaves of *A. tricolor* plants

| Treatment                                 | Chlorophyll<br>(mg/g fr. wt. <sup>b</sup> )<br>(Chlorophyll a/b ratio) |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Without sodium (+0.5 mM KCl) <sup>a</sup> | 1.49<br>(3.41)                                                         |
| With sodium                               | 2.30<br>(3.72)                                                         |

# Sódio (Na)

## 3) Efeito do Na nas plantas

### Effect of Sodium Application on Growth of *Amaranthus tricolor* L.

Toru Match, Daisaku Ohta and Eiichi Takahashi

*Plant Cell Physiol.* 27(2): 187-192 (1986)

JSPP © 1986

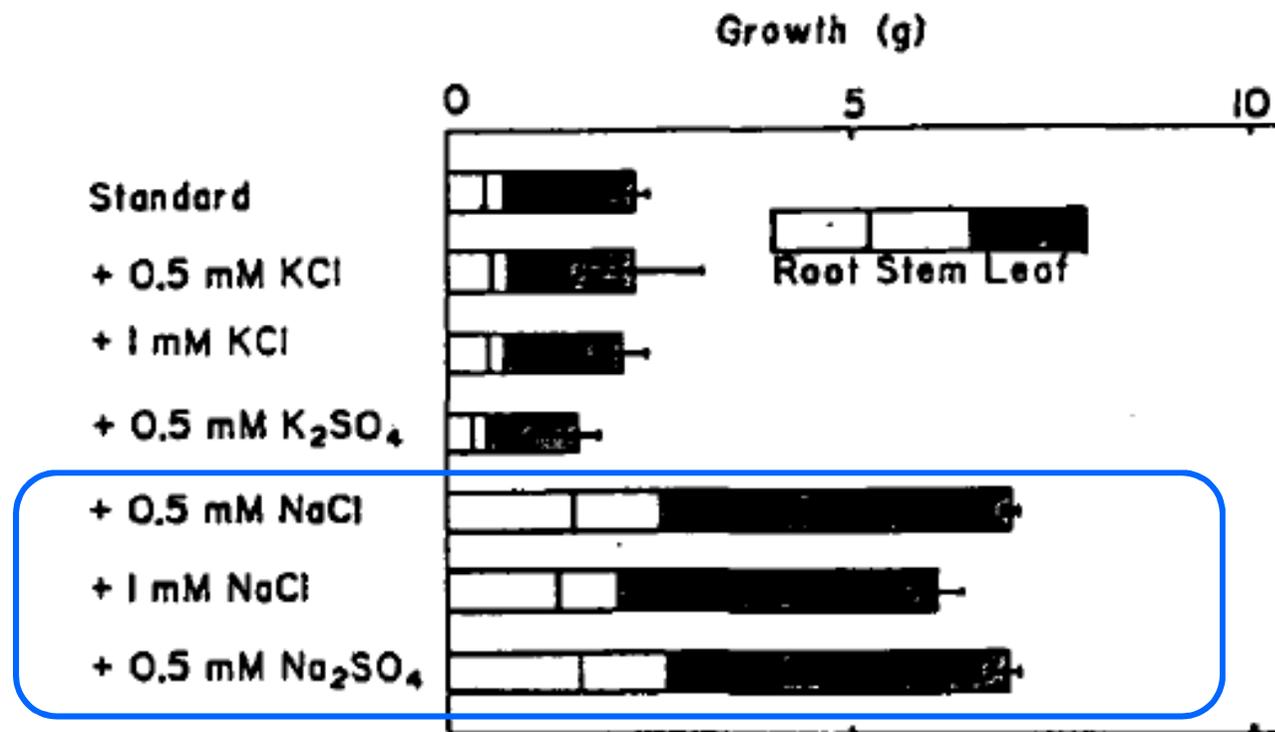


Fig. 1 Dry matter production of *Amaranthus tricolor* plants grown with or without sodium salts.

# Sódio (Na)

---

## 3) Efeito do Na nas plantas

### Effects of sodium on mineral nutrition in rose plants

By H LORENZO<sup>1\*</sup>, M C CID<sup>1</sup>, J M SIVERIO<sup>2</sup> and M C RUANO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ornamentales y Horticultura, ICIA, Apdo 60, La Laguna 38200, Tenerife, Spain*

<sup>2</sup>*Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Grupo del Metabolismo del Nitrógeno- Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad La Laguna 38206, La Laguna, Tenerife, Spain*

*Ann. appl. Biol.* (2000), **137**:065–072

*Printed in Great Britain*

The results showed that shoot elongation was negatively correlated with sodium concentration, although no external symptoms of toxicity were observed. Nitrate uptake decreased at high sodium levels, specifically at 30 meq litre<sup>-1</sup> of sodium. As flower development was normal under high saline conditions, this could suggest that nitrogen was being mobilised from shoot and leaf reserves. Ammonium uptake was not affected by any of the salt treatments applied probably because it diffuses through the cell

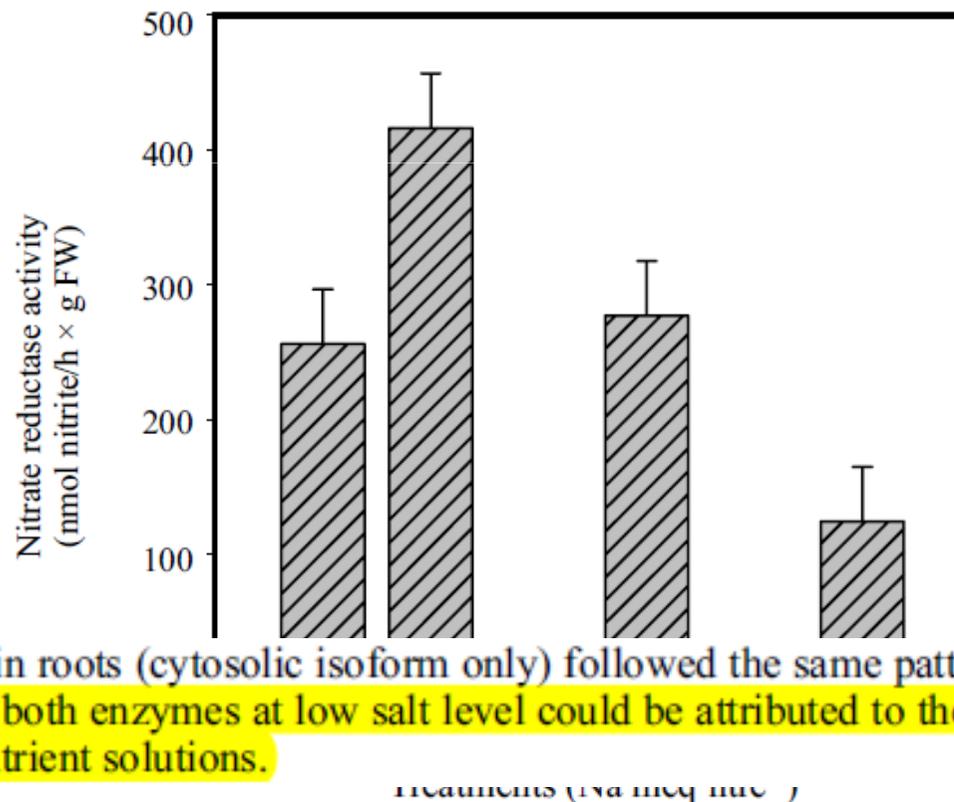
# Sódio (Na)

## 3) Efeito do Na nas plantas

### Effects of sodium on mineral nutrition in rose plants

By H LORENZO<sup>1\*</sup>, M C CID<sup>1</sup>, J M SIVERIO<sup>2</sup> and M C RUANO<sup>1</sup>

*Ann. appl. Biol.* (2000), **137**:065–072  
Printed in Great Britain



and GS activity in roots (cytosolic isoform only) followed the same pattern as NR. It is suggested that the activation of both enzymes at low salt level could be attributed to the beneficial effect of increased sulphur in the nutrient solutions.

Fig 6. Effects of sodium on leaf nitrate reductase activity.

# Sódio (Na)

## 3) Efeito do Na nas plantas

### How Far Can Sodium Substitute for Potassium in Red Beet?

JOURNAL OF PLANT NUTRITION, 22(11), 1745–1761 (1999)

G. V. Subbarao,<sup>a</sup> R. M. Wheeler,<sup>b</sup> G. W. Stutte,<sup>c</sup> and L. H. Levine<sup>c</sup>

<sup>a</sup>US National Research Council, Kennedy Space Center, FL 32899

<sup>b</sup>NASA Biomedical Office, Kennedy Space Center, FL 32899

<sup>c</sup>Dynamac Corporation, Kennedy Space Center, FL 32899

TABLE 1. Effect of Na substitution for K in nutrient solution on leaf area, and dry matter production of two beet cultivars (42DAP).

| Parameter        | Cultivar   | % Na substituted for K<br>(from a total K+Na of 5 mM) |      |      |      |
|------------------|------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|
|                  |            | 0                                                     | 75   | 95   | 98   |
|                  |            | <b>cm<sup>2</sup> tray<sup>-1</sup></b>               |      |      |      |
| Leaf Area        | Klein Bol  | 4497                                                  | 5599 | 2478 | 1105 |
|                  | Ruby Queen | 3585                                                  | 5076 | 6483 | 5058 |
|                  |            | <b>g tray<sup>-1</sup></b>                            |      |      |      |
| Total dry weight | Klein Bol  | 42.4                                                  | 68.3 | 20.1 | 11.6 |
|                  | Ruby Queen | 46.6                                                  | 55.4 | 75.8 | 46.1 |

# Sódio (Na)

## 3) Efeito do Na nas plantas

### How Far Can Sodium Substitute for Potassium in Red Beet?

JOURNAL OF PLANT NUTRITION, 22(11), 1745–1761 (1999)

TABLE 2. Effect of Na substitution for K in nutrient solution on chlorophyll levels and photosynthetic rate in two red beet cultivars.

| Parameter                     | Cultivar   | % Na substituted for K<br>(from a total K+Na of 5 mM) |      |      |      |
|-------------------------------|------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|
|                               |            | 0                                                     | 75   | 95   | 98   |
| Total chlorophyll<br>(42 DAP) | Klein Bol  | 1.75                                                  | 1.40 | 1.20 | 1.10 |
|                               | Ruby Queen | 1.55                                                  | 2.10 | 1.50 | 1.50 |

## Sódio (Na)

---

### 3) Efeito do Na nas plantas

#### How Far Can Sodium Substitute for Potassium in Red Beet?

G. V. Subbarao,<sup>a</sup> R. M. Wheeler,<sup>b</sup> G. W. Stutte,<sup>c</sup> and L. H. Levine<sup>c</sup>

<sup>a</sup>US National Research Council, Kennedy Space Center, FL 32899

<sup>b</sup>NASA Biomedical Office, Kennedy Space Center, FL 32899

<sup>c</sup>Dynamac Corporation, Kennedy Space Center, FL 32899

JOURNAL OF PLANT NUTRITION, 22(11), 1745–1761 (1999)

1976; Wyn Jones et al., 1979). Our results with red beet indicate that even when 95% of the plant's leaf tissue K was replaced with Na, the turgid osmotic potential ( $OP_{100}$ ) of the leaf sap was still similar to the 0% Na control plants (Table 3), indicating that Na can effectively replace K for this function. Moreover, this

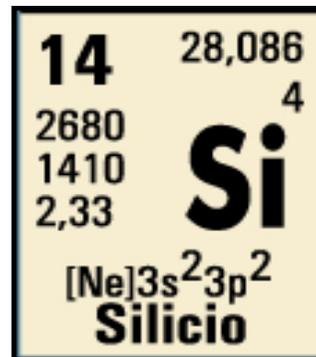
## Sódio (Na)

---

### 3) Efeito do Na nas plantas

Os **sintomas de toxidez de Na** estão associados à redução no crescimento e na produção, além do amarelecimento e murchamento das folhas.

# Silício



## **Silício (Si)**

---

**O Si é considerado benéfico para a maioria das plantas**

**A capacidade de absorção e acumulação de Si é variável entre as espécies. Geralmente, gramíneas apresentam maior acúmulo.**

**As diferenças no acúmulo de Si entre as espécies pode ser atribuída às diferentes capacidades de absorção de Si**

**Ma e Takahashi (2002); Broadley et al. (2011)**

## Silício (Si)

---

O Si é absorvido preferencialmente pelas plantas na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$ )

Lsi1 e Lsi2 são os principais transportadores de membrana

Ma e Takahashi (2002)

# Silício (Si)

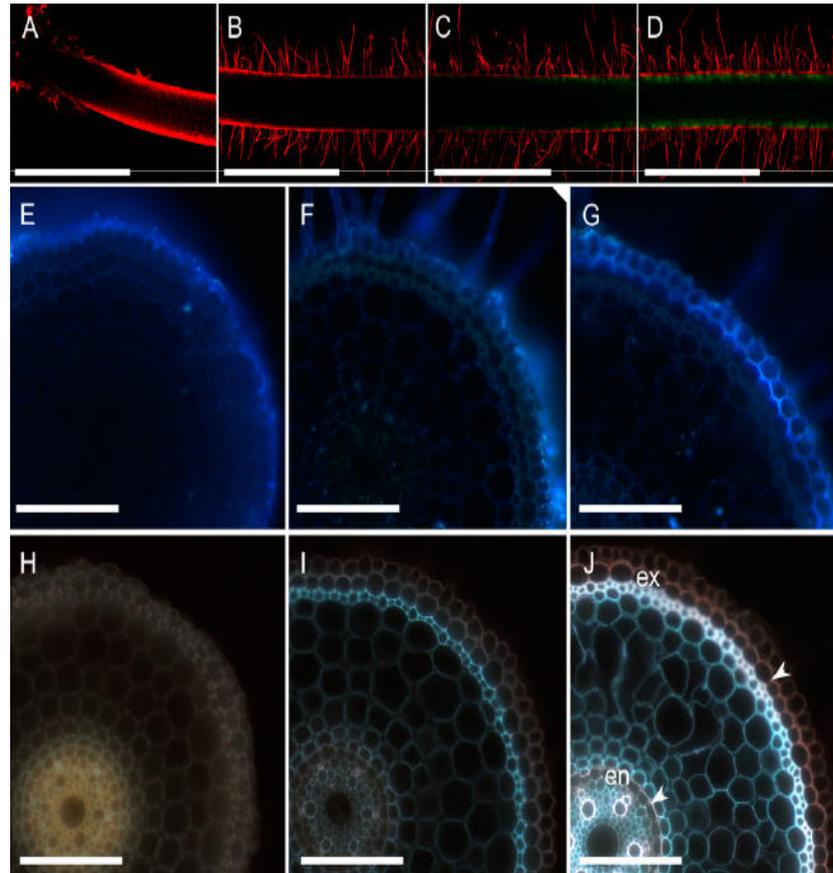
## Spatial Distribution and Temporal Variation of the Rice Silicon Transporter Lsi1<sup>1</sup>

Naoki Yamaji and Jian Feng Ma\*

Research Institute for Bioresources, Okayama University, Kurashiki 710-0046, Japan

*Plant Physiology*, March 2007, Vol. 143, pp. 1306-1313, www.plantphysiol.org © 2007 American Society of Plant Biologists

**Figure 2.** Distribution of Lsi1 transporter and development of apoplastic barrier in rice.



## Silício (Si)

Mais de 90% do Si absorvido é transportado para a parte aérea

Casey et al. (2003); Mitani et al. (2005); Yamaji et al. (2009)

### A Transporter at the Node Responsible for Intervascular Transfer of Silicon in Rice <sup>W</sup>

Naoki Yamaji and Jian Feng Ma<sup>1</sup>

The Plant Cell, Vol. 21: 2878–2883, September 2009, www.plantcell.org ©

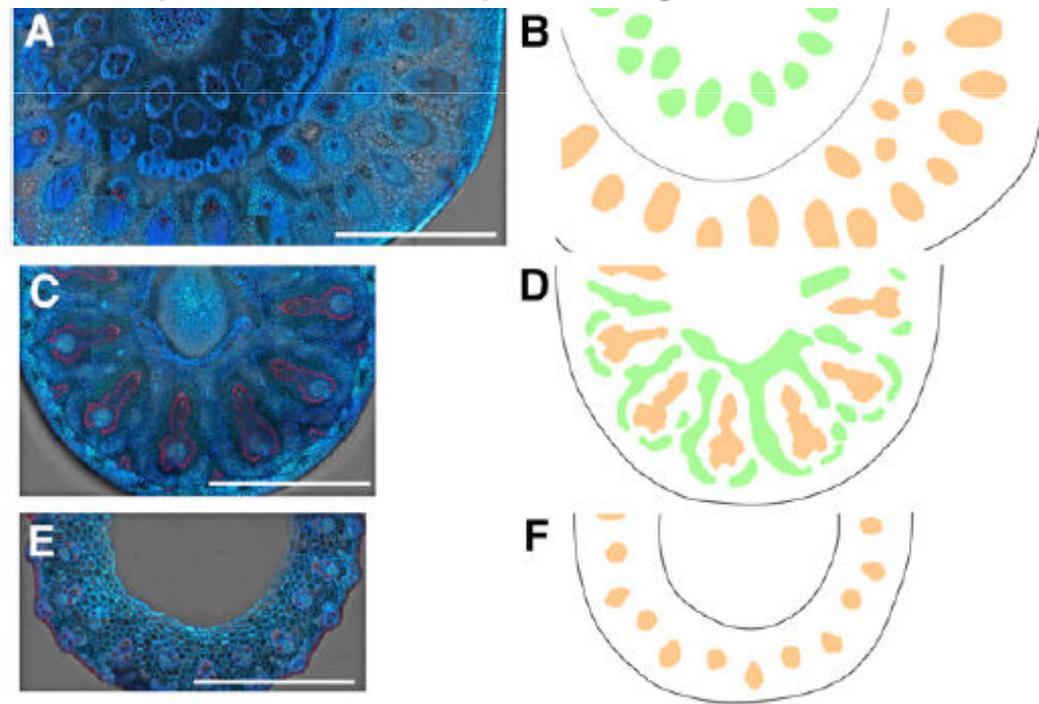


Figure 3. Localization of Lsi6 and Vascular Systems through Node I.

## **Silício (Si)**

---

**O Si é transportado pelo xilema e depositado no apoplasma, parede das células epidérmicas, células buliformes.**

**É depositado na forma de sílica amorfa hidratada. Uma vez depositado, o Si torna-se imóvel e não é mais redistribuído na planta**

**Os efeitos benéficos da absorção de Si em geral estão relacionados a funções estruturais e de defesa das plantas**

**O Si como material estrutural requer menos energia para ser formado, do que a estruturas como a lignina.**

**Raven (1983)**

## Silício (Si)

---

**Em solos pobres em Si disponível, o uso de silicatos geralmente eleva o teor de Si nas plantas**



**Aumentos de produtividade, principalmente em gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, trigo, milho, etc).**

### **Benefícios do Si em dicotiledôneas**

**(Adatia e Besford, 1986; Romero-Aranda et al., 2006; Heine et al., 2007; Zellner et al., 2011)**

## **Silício (Si)**

---

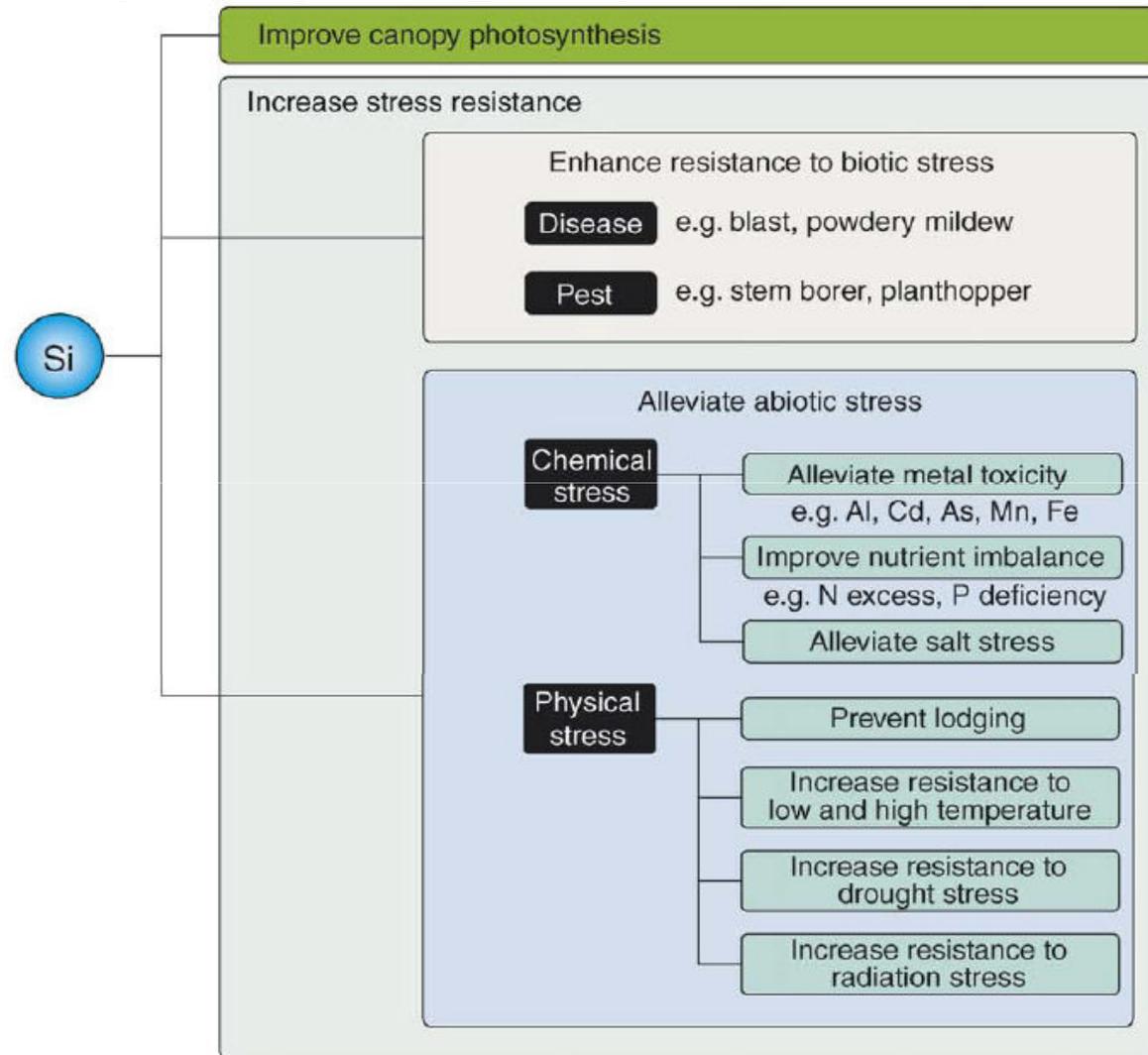
**O Si está associado à resistência das plantas a fatores bióticos e abióticos, como ataques de pragas e doenças e resistência ao estresse hídrico.**

**Do ponto de vista científico o Si não é essencial**

**Do ponto de vista agrônomo é citado como benéfico - por isso foi incluído na lista de micronutrientes no Brasil (Lei 4.954/2004 - MAPA).**

# Silício (Si)

O Si pode afetar a produção vegetal por meio de várias ações:



*TRENDS in Plant Science*

Ma e Yamaji (2006) Figure 3. Beneficial effects of silicon on plant growth in relation to biotic and abiotic stresses.

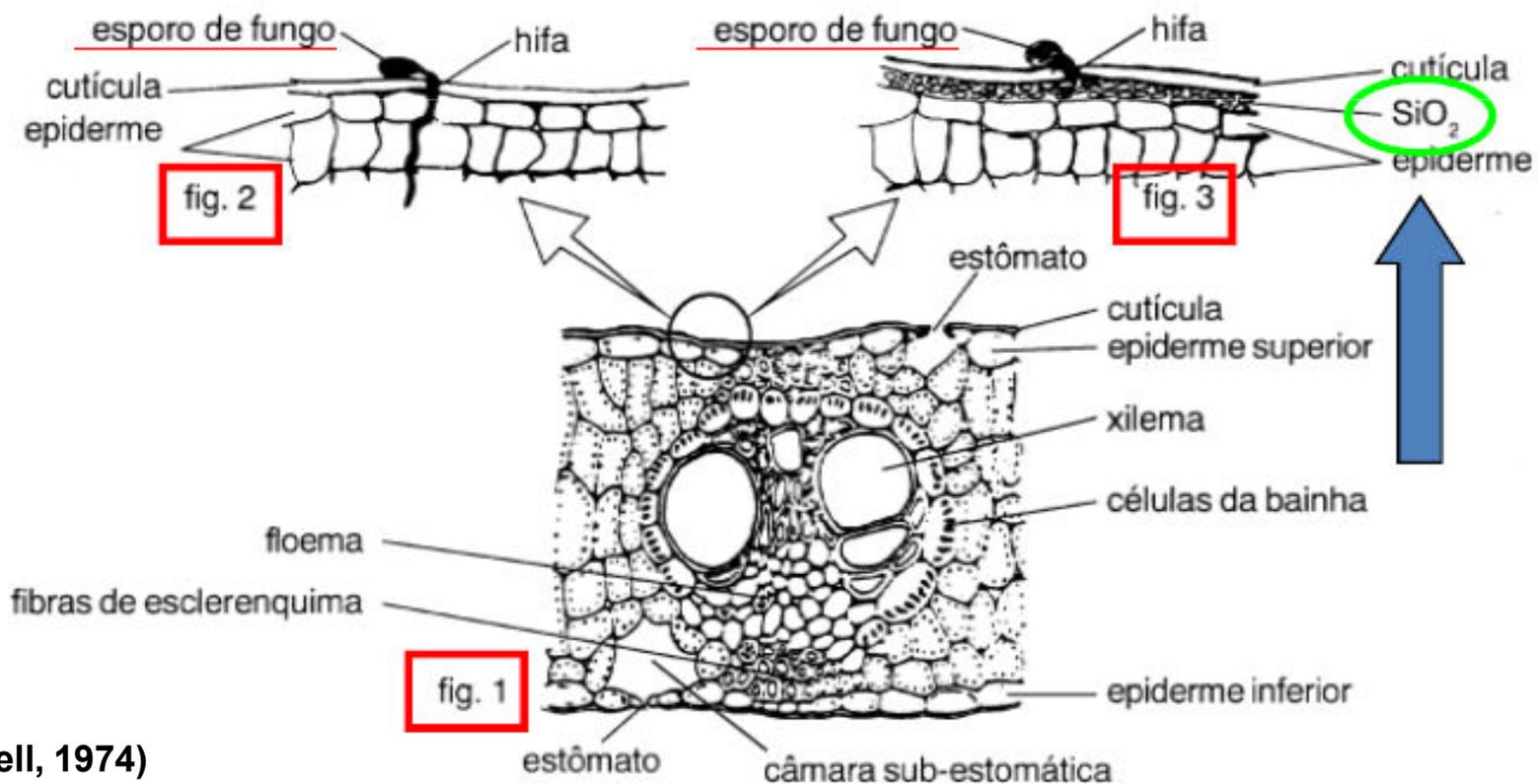
# Silício (Si)

Dois mecanismos para o aumento da resistência contra doenças e pragas

a) O Si age como barreira física. Nesse caso é depositado sob a cutícula



Esta camada impede mecanicamente a penetração de fungos



(Bidwell, 1974)

## **Silício (Si)**

---

**Dois mecanismos para o aumento da resistência contra doenças e pragas**

**b) Si atua como modulador da resistência do hospedeiro a patógenos**

**Mono e dicotiledôneas têm mostrado que o Si aumenta a produção de compostos fenólicos e fitoalexinas em resposta à infecção fúngica**

(Belanger et al, 2003; Remus-Borel et al. 2005; Rodrigues et al. 2004; Sun et al. 2010)

## Silício (Si)

---

**Número total de ninfas do pulgão *Schizaphis graminum* em folhas de dois genótipos de sorgo, com e sem aplicação de silício**

| Genótipo           | Número Total Ninfas |         | Média <sup>1</sup> |
|--------------------|---------------------|---------|--------------------|
|                    | Com Si              | Sem Si  |                    |
| BR 303             | 188,3               | 243,6   |                    |
| TX 2567            | 54,7                | 195,1   | 124,9 b            |
| Média <sup>1</sup> | 121,5 B             | 219,3 A |                    |

(Carvalho (1999))

## Silício (Si)

---

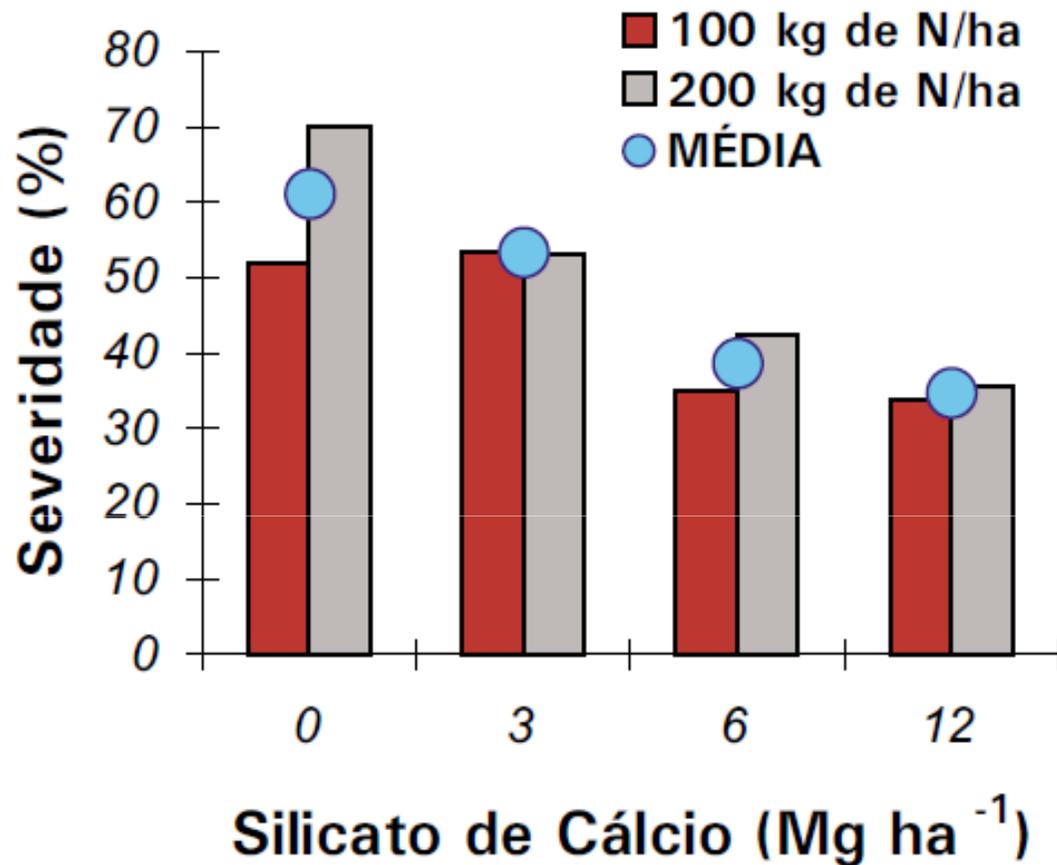


Fig. 3. Severidade de brusone nas panículas de arroz de terras altas em função de doses crescentes de silicato de cálcio em solo de cerrado.

# Silício (Si)

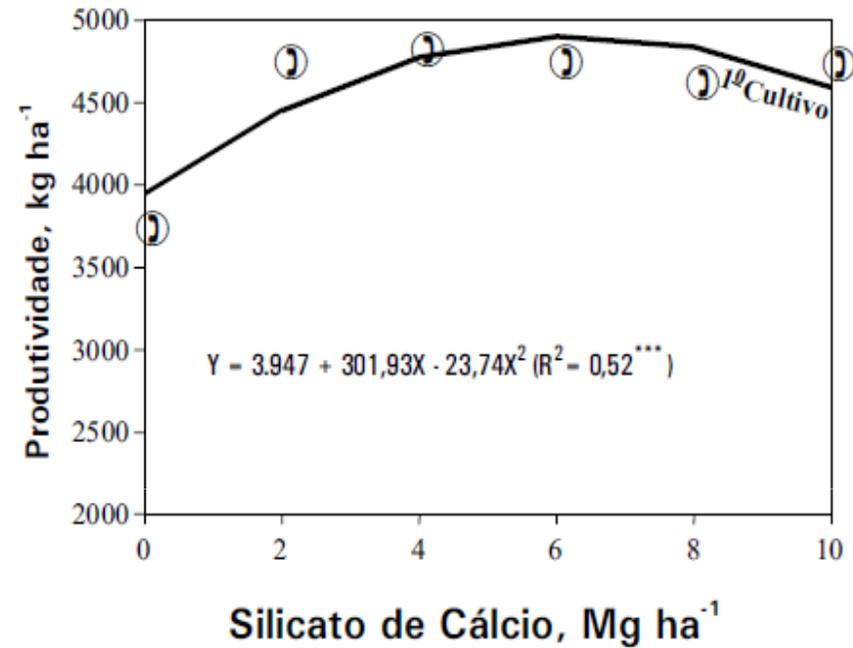
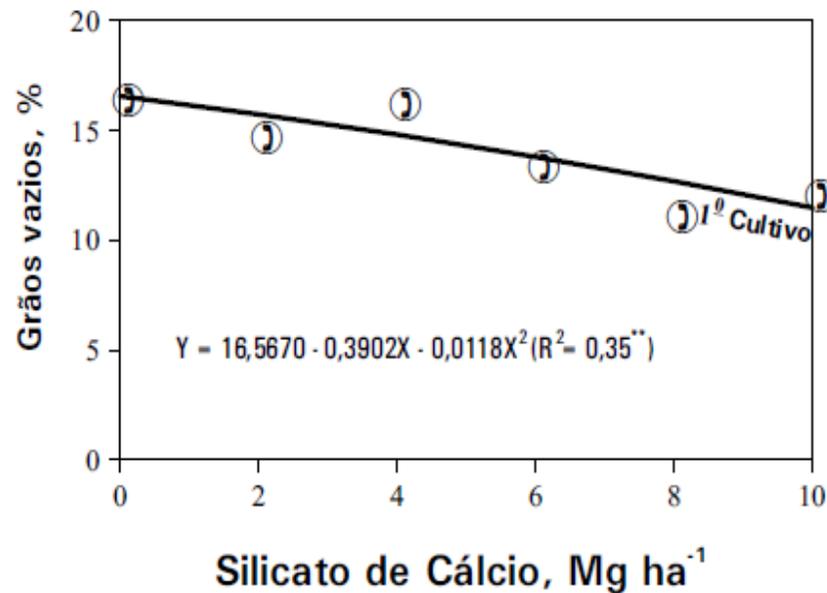
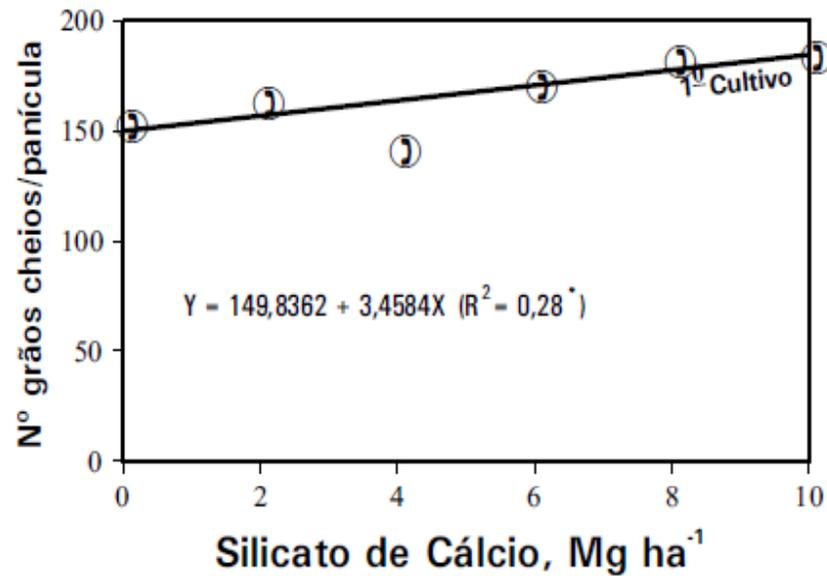


Fig. 1. Rendimento de grãos de arroz de terras altas e número de grãos cheios e vazios em função de doses crescentes de silicato de cálcio em solo de cerrado.

Barbosa Filho e Prabhu (2002)

# Silício (Si)

---

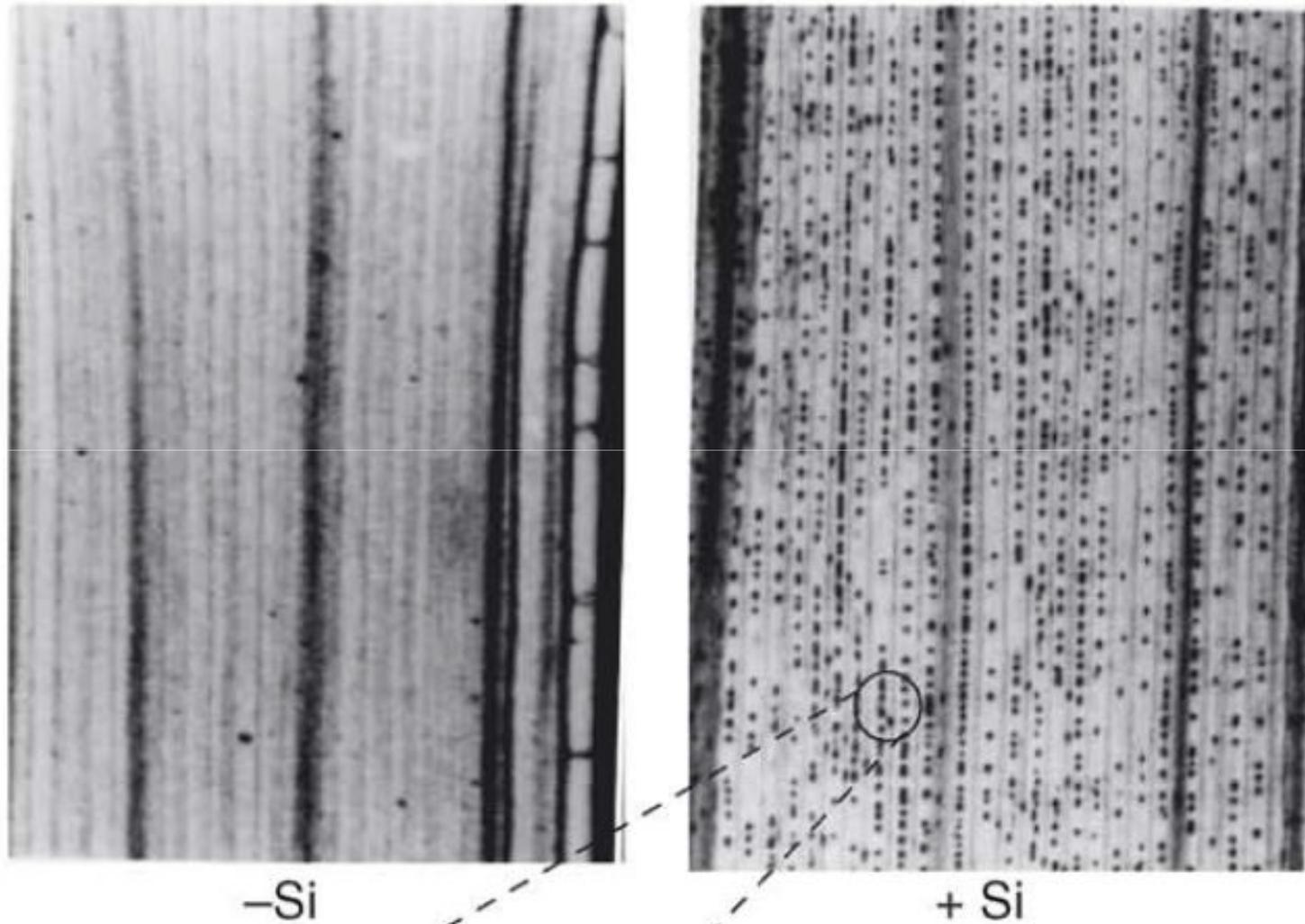


Ma e Yamaji (2006)

Figure 4. Effect of silicon (Si) on rice growth and yield.

# Silício (Si)

---



In the shoot, Si is polymerized into silica and deposited in the bulliform cells (silica body) (c,d) and under the cuticle (e)

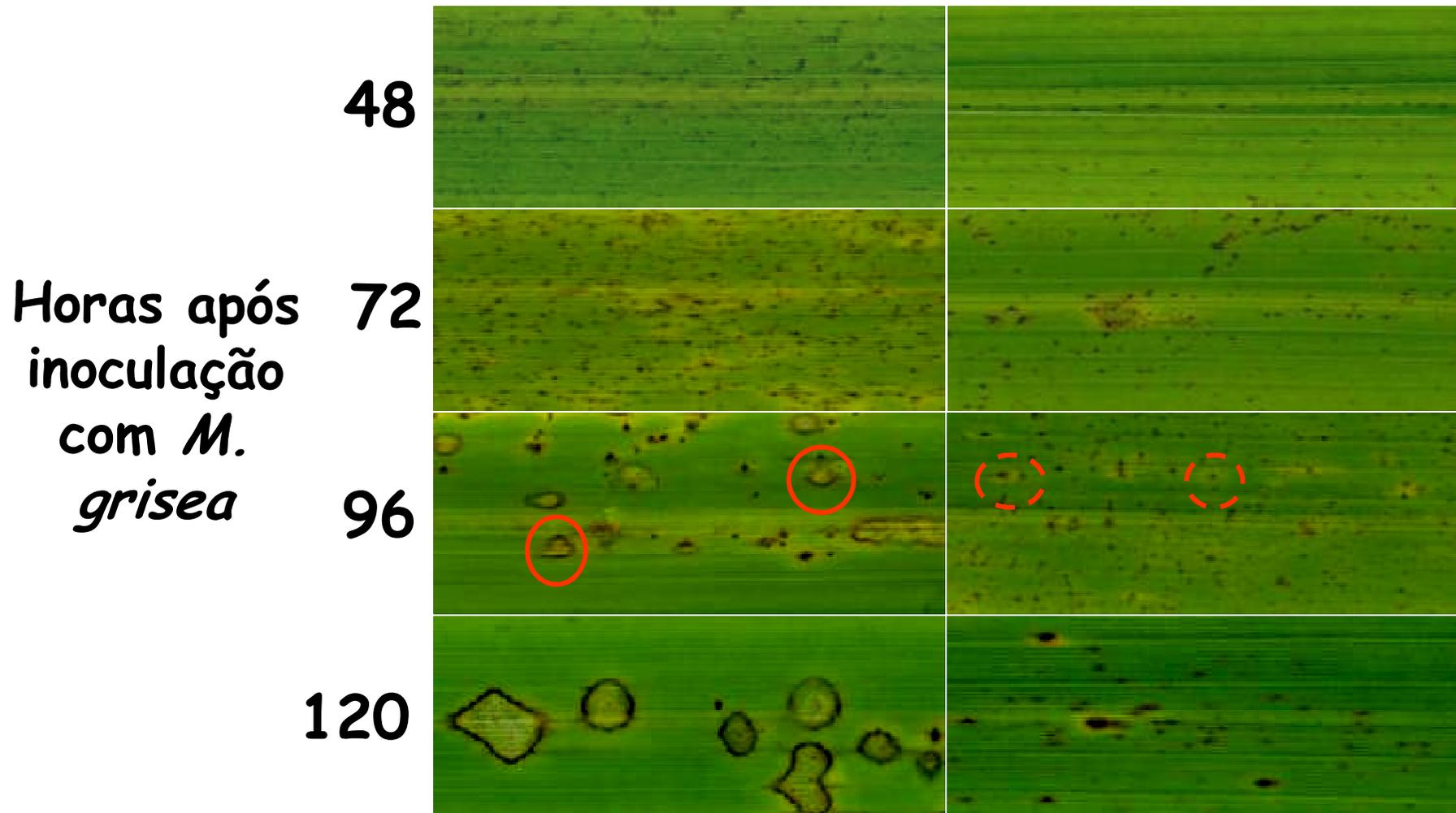
Ma e Yamaji (2006)



# Desenvolvimento das Lesões

- Si

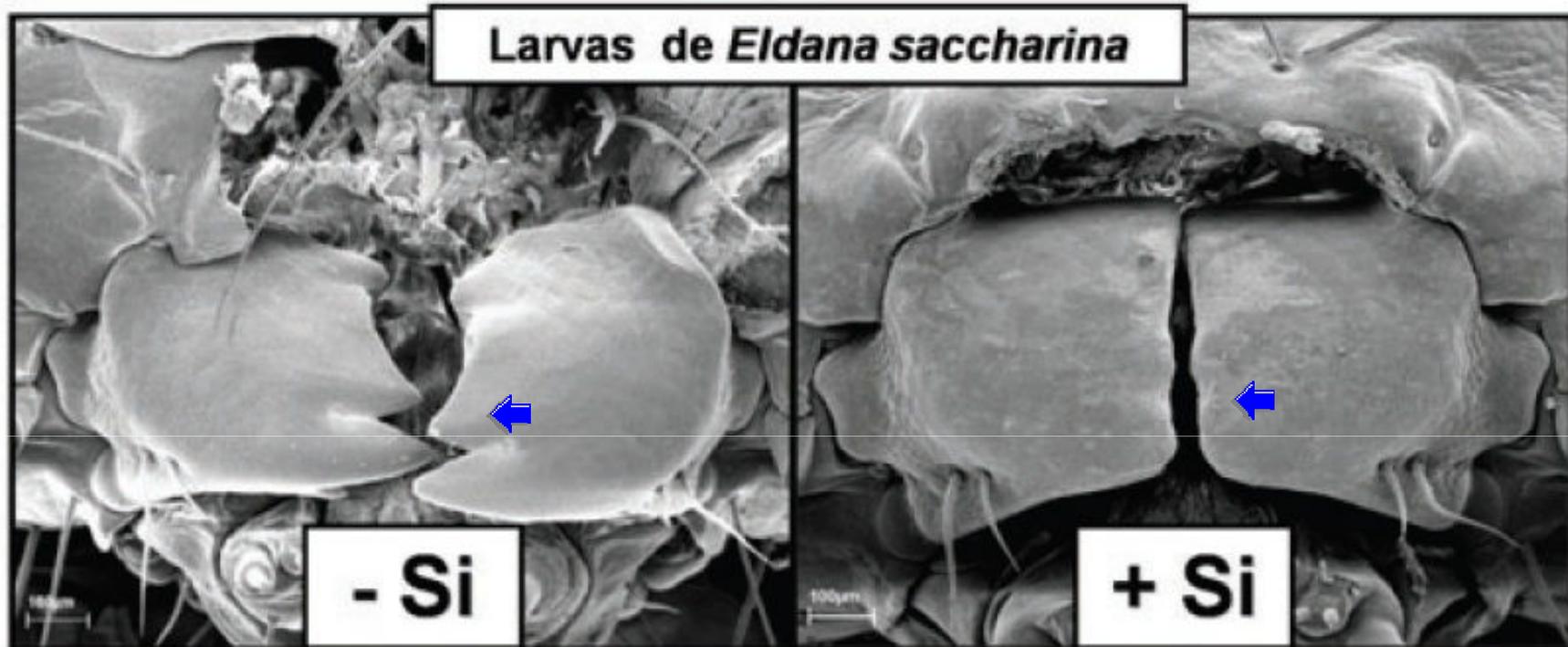
+ Si



Rodrigues et al. (2003)

## Silício (Si)

---



**Figura 10.** Mandíbulas de larvas de *Eldana saccharina*. À esquerda, mandíbula de larva que foi alimentada com plantas não tratadas com silício; à direita, mandíbula de larva que foi alimentada com plantas tratadas com silício.

Foto: Olivia Kvedaras, 2005 (África do Sul)

## Silício (Si)

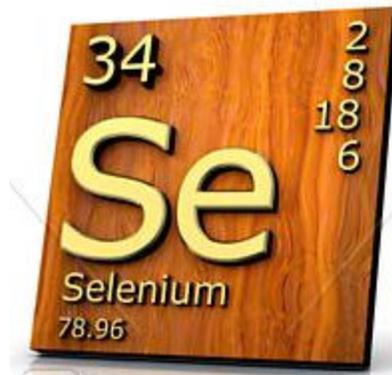


**Efeito da aplicação de Si  
na resistência da cana-de-  
açúcar ao ataque da  
broca do colmo *Eldana  
saccharina* (África do Sul)**

| Silicato de cálcio<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | Peso Médio dos Colmos<br>(g) | Comp. dos danos<br>(cm) | Número entrenós brocados | Número Total brocas | Peso Total brocas<br>(g) |
|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Testemunha                                  | 1035                         | 114                     | 112                      | 110                 | 115                      |
| 2,5                                         | 1203                         | 100                     | 100                      | 98                  | 93                       |
| 5,0                                         | 1220                         | 87                      | 88                       | 92                  | 92                       |

Fonte: Keeping & Meyer (1999)

# Selênio



## **Selênio (Se)**

---

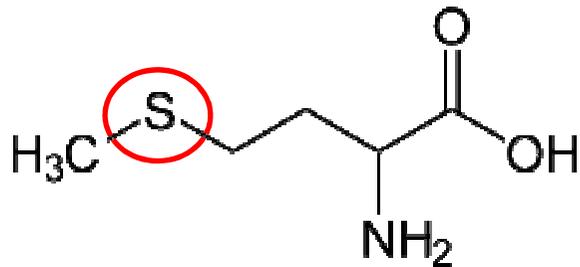
**As propriedades químicas do Se são muito parecidas com o enxofre (S).**

**Quando o Se é absorvido pelas plantas, ele pode ser incorporado em aminoácidos no lugar do S.**

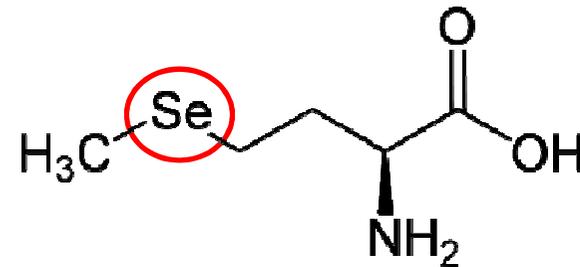
## Selênio (Se)

---

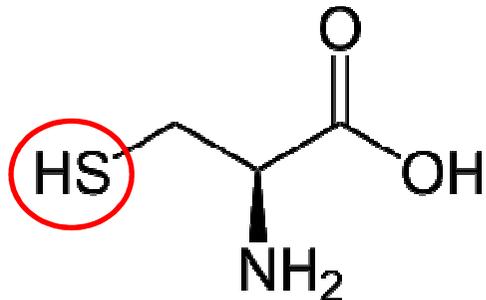
**Selenometionina e selenocisteína podem ser produzidas no lugar de metionina e cisteína**



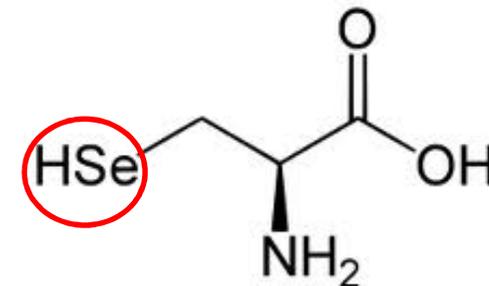
**metionina**



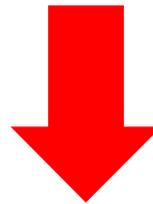
**Selenometionina**



**cisteína**



**selenocisteína**



**Compromete os processos fisiológicos nas plantas**

# Selênio (Se)

---

## Plantas acumulam diferentes quantidades de Se

- **Hiperacumuladoras ( $> 1000 \mu\text{g g MS}$ )**

 **Elevado acúmulo de formas orgânicas de Se**

- **Acumuladoras secundárias (100 até  $1000 \mu\text{g g MS}$ )**

 **Acumula tanto formas inorgânicas como orgânicas  
(couve, brócolis, alho)**

- **Não acumuladoras de Se ( $< 100 \mu\text{g g MS}$ )**

 **Acumula principalmente formas inorgânicas de Se  
(maioria das culturas agrícolas)**

# **Selênio (Se)**

---

## **Absorção de Se pelas plantas**

### **Selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ )**

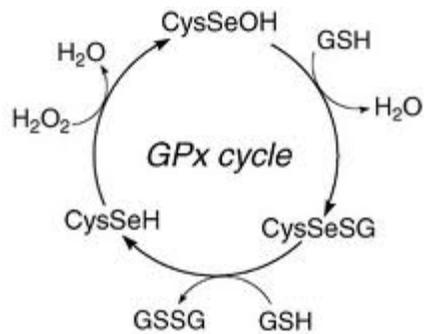
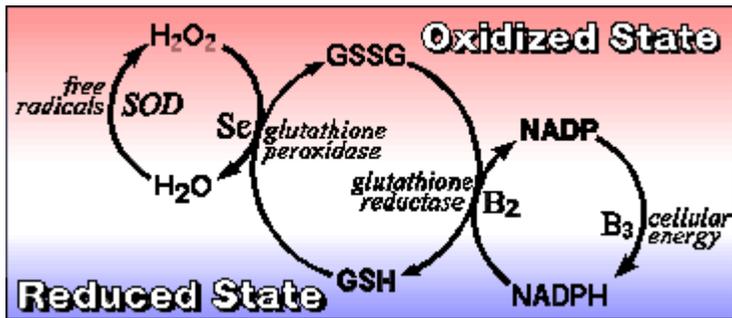
- **Absorvido passivamente e poucos autores relatam o uso de transportadores de fosfato**
- **Menor velocidade de absorção**
- **Menor velocidade de translocação do Se para a parte aérea**
- **Facilmente convertido em formas orgânicas nas raízes**

### **Selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ )**

- **Absorvido ativamente por transportadores de sulfato**
- **Maior velocidade de absorção**
- **Maior velocidade de translocação do Se para a parte aérea**
- **Difícilmente é convertido em formas orgânicas nas raízes**

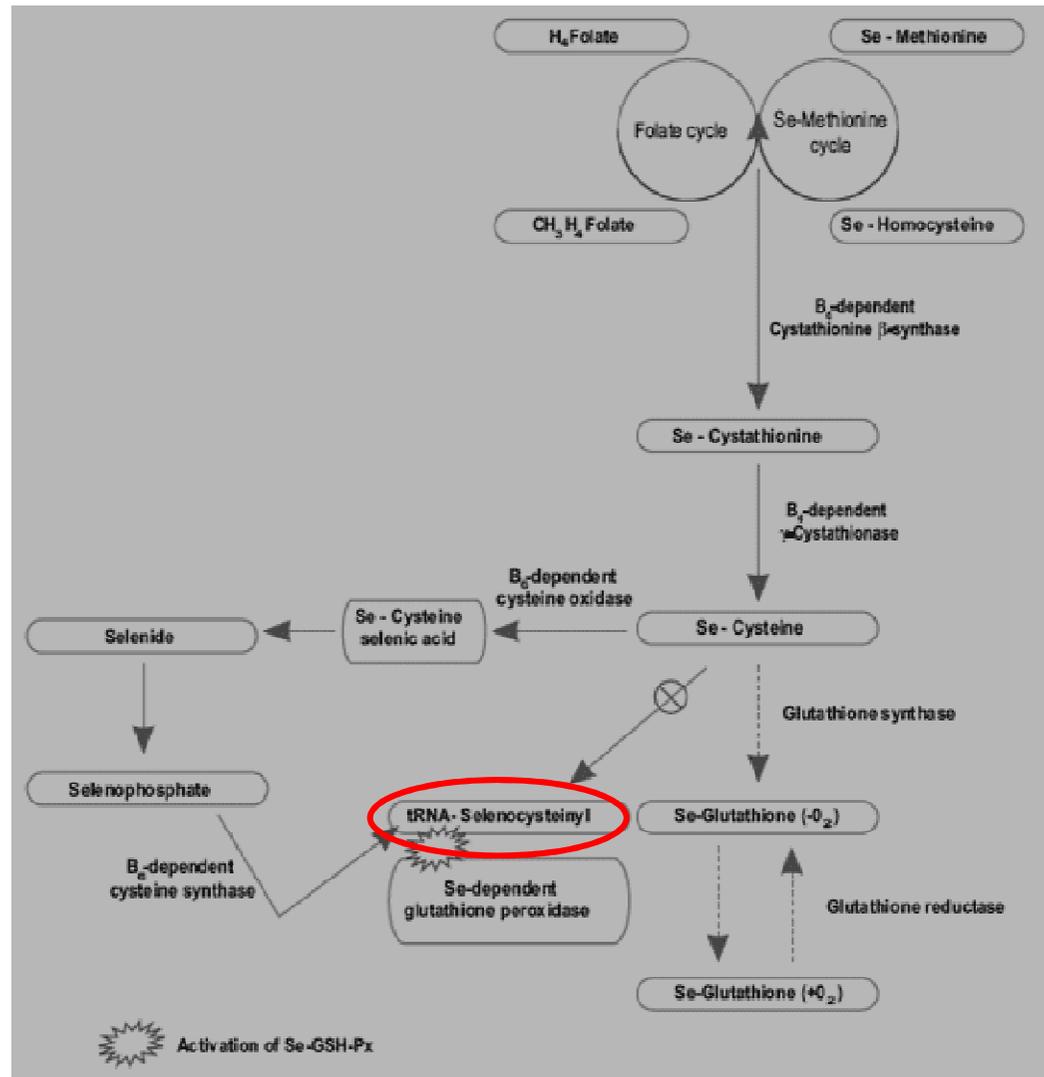
# Selênio (Se)

O Se é essencial para humanos e animais, por atuar como um poderoso antioxidante - ativando enzimas; componente do tRNA.



Dalziel kinetics:

$$\frac{[E_1]}{v} = \phi_0 + \frac{\phi_G}{[\text{Thiol}]} + \frac{\phi_I}{[\text{H}_2\text{O}_2]} + \frac{\phi_{GH}}{[\text{Thiol}][\text{H}_2\text{O}_2]}$$



## Selênio (Se)

---

**E para as plantas?**

**Atua de forma semelhante que nos humanos/animais. No entanto é considerado benéfico nas plantas.**

**Sem Se as plantas crescem normalmente**

**Com Se as plantas podem apresentar maior crescimento e produtividade**



**Maior atividade do sistema antioxidante**



**Diminuir espécies reativas de oxigênio**

**radical superóxido -  $O_2^-$        $H_2O_2$**

# Selênio (Se)

---

*Plant Science*, 57 (1988) 185 – 193  
Elsevier Scientific Publishers Ireland Ltd.

## **UBIQUITY OF SELENIUM-CONTAINING tRNA IN PLANTS**

**TUAN-NAN WEN, CHUAN LI and CHING-SAN CHEN\***

*Institute of Botany, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan (Republic of China)*

rice, tobacco, bamboo, mung bean and *Chlamydomonas* also contained one or two minor <sup>75</sup>Se-labeled nucleosides. These results suggest that (1) selenium-containing tRNAs appear to be widespread in the plant kingdom and (2) a new, not yet characterized selenonucleoside might be universal in plants.

Estes resultados sugerem que (1) tRNAs contendo selênio parece ser difundido no reino vegetal e, (2) apesar de ainda não ser comprovado, selenonucleotídeo pode ser universal nas plantas.

## Selênio (Se)

---

# Isolation and Partial Characterization of Selenium-Containing tRNA from Germinating Barley

Kai-xun Huang,\* You-xiang An, Ze-xian Chen,  
and Hui-bi Xu

*Department of Chemistry, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074 People's Republic of China*

*Biological Trace Element Research*

### ABSTRACT

nium and sulfur to enter tRNA might not be exactly the same. Selenium exists within tRNA in the form of 5-methylamine methyl-2-selenouridine, just as it does within a microorganism tRNA.

# **Selênio (Se)**

---

**2nd International Conference on Selenium in  
the Environment and Human Health**  
23-28 October 2011, Suzhou Industrial Park, Suzhou, China

## **Beneficial Roles of Selenium in Plants**

M.F. Moraes<sup>1</sup>, S.J. Ramos<sup>2\*</sup>, L.R.G. Guilherme<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal University of Paraná, Campus Palotina, CEP 85950-000, Palotina-PR, Brazil

<sup>2</sup>Federal University of Lavras, Soil Science Department, P.O. Box 3037, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brazil

(\*Corresponding email: [silviojramos@des.ufla.br](mailto:silviojramos@des.ufla.br))

**Selenium and Plant Growth**

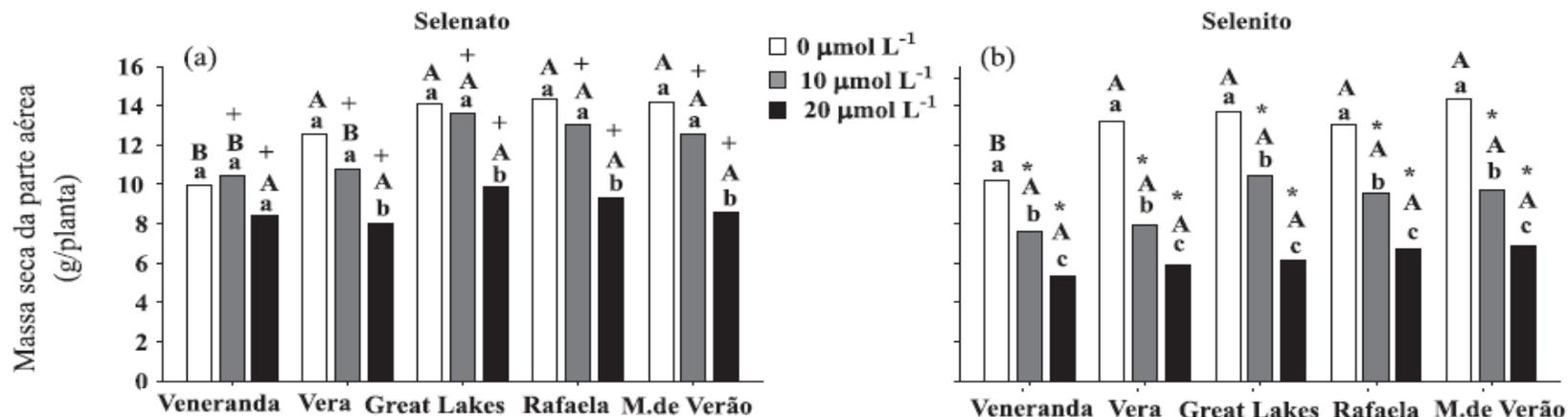
**New Findings on Se Nutrition of Plant**

**Genotype Variation in Se Accumulation**

# Selênio (Se)

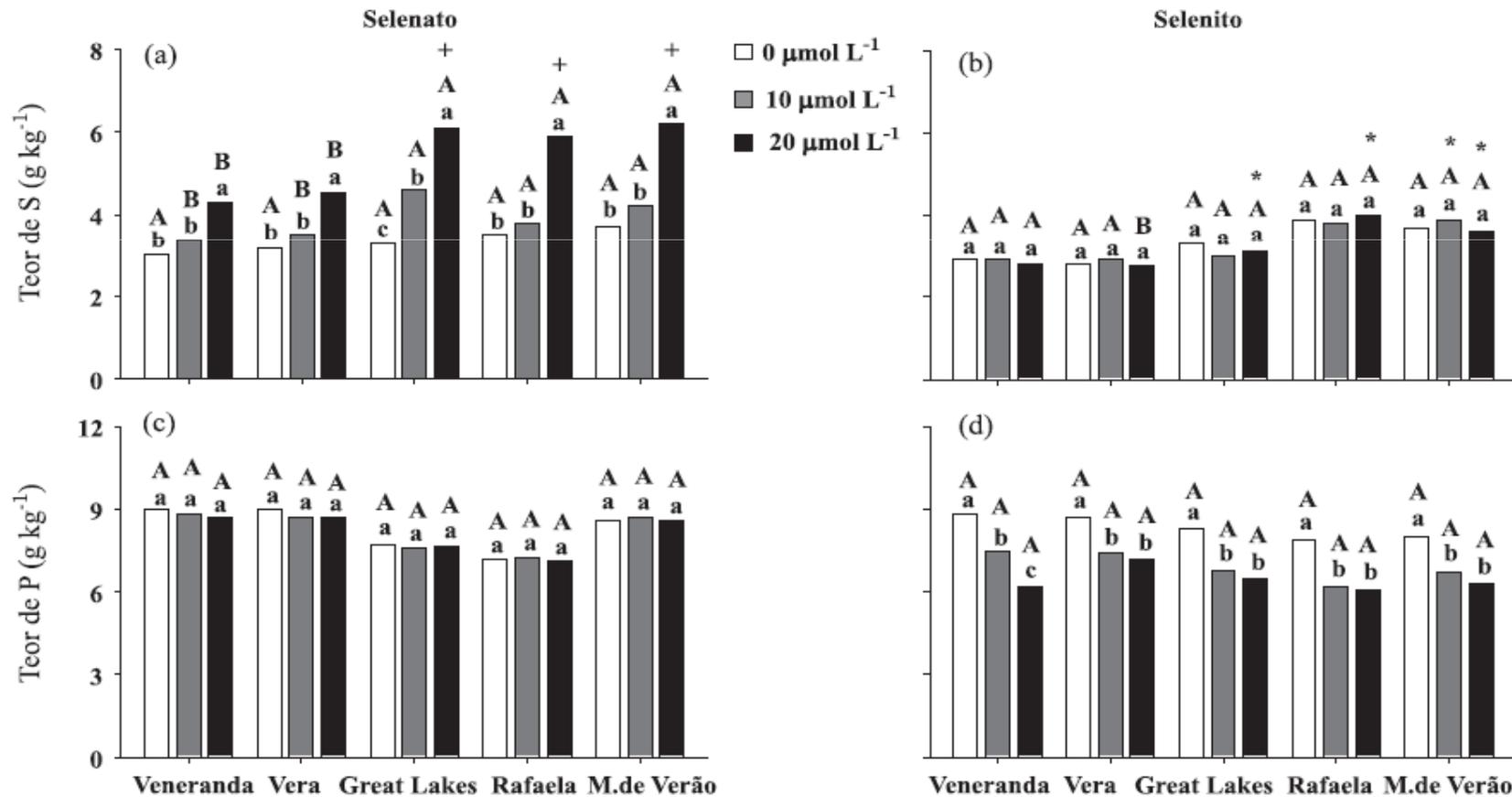
## SELENATO E SELENITO NA PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO MINERAL E BIOFORTIFICAÇÃO COM SELÊNIO EM CULTIVARES DE ALFACE<sup>(1)</sup>

Sílvio Júnio Ramos<sup>(2)</sup>, Valdemar Faquin<sup>(3)</sup>, Hilário Júnior de Almeida<sup>(4)</sup>,  
Fabrício William Ávila<sup>(5)</sup>, Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>(6)</sup>, Carla  
Elisa Alves Bastos<sup>(7)</sup> & Patrícia Andressa Ávila<sup>(8)</sup>



# Selênio (Se)

## SELENATO E SELENITO NA PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO MINERAL E BIOFORTIFICAÇÃO COM SELÊNIO EM CULTIVARES DE ALFACE<sup>(1)</sup>



# **Selênio (Se)**

---

Planta (2011) 233:649–660

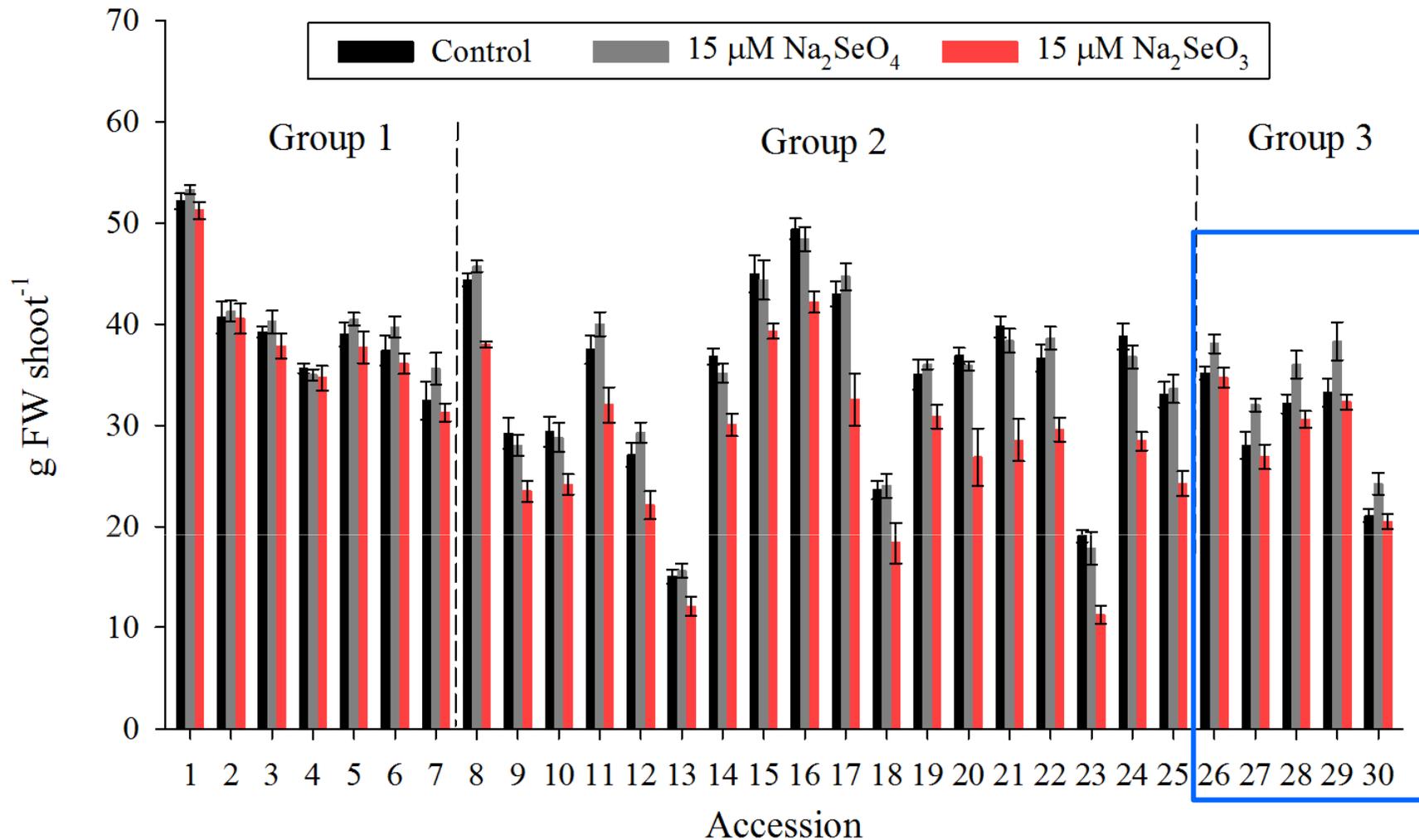
DOI 10.1007/s00425-010-1323-6

---

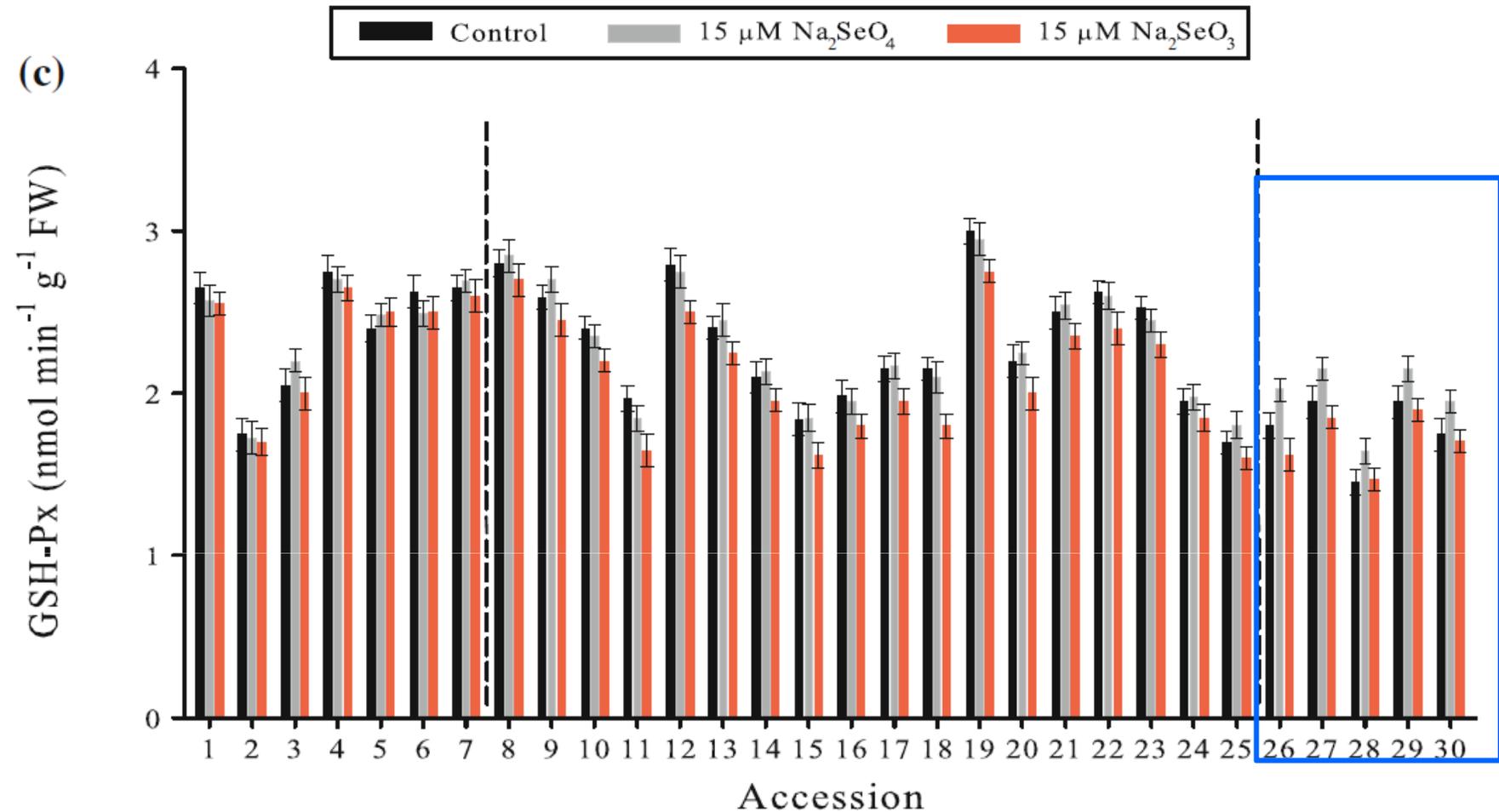
ORIGINAL ARTICLE

## **Selenium accumulation in lettuce germplasm**

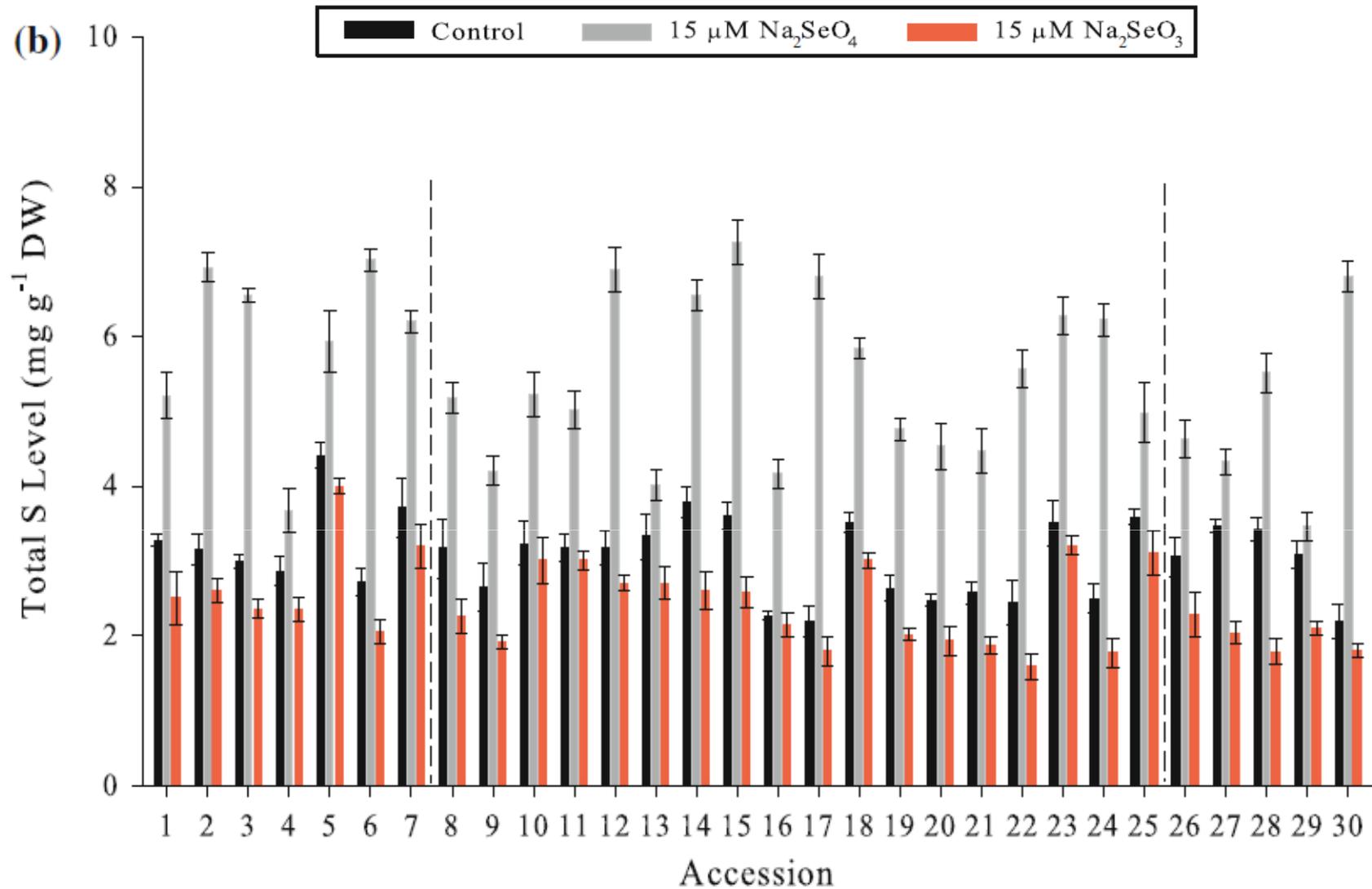
**Silvio J. Ramos · Michael A. Rutzke ·  
Ryan J. Hayes · Valdemar Faquin ·  
Luiz Roberto G. Guilherme · Li Li**



**Shoot biomass of 38-day-old lettuce accessions subjected to different forms of Se treatment for 2 weeks**



**Activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) in lettuce accession subjected to different forms of Se treatment.**



## Total S level in lettuce accessions subjected to different forms of Se treatment

# 2nd International Conference on Selenium in the Environment and Human Health

23-28 October 2011, Suzhou Industrial Park, Suzhou, China

## Agronomic biofortification with selenium: selenium and common bean yield

S.J. Ramos<sup>1,\*</sup>, V. Faquin<sup>1</sup>, L.R.G. Guilherme<sup>1</sup>, M.F. Moraes<sup>2</sup>,

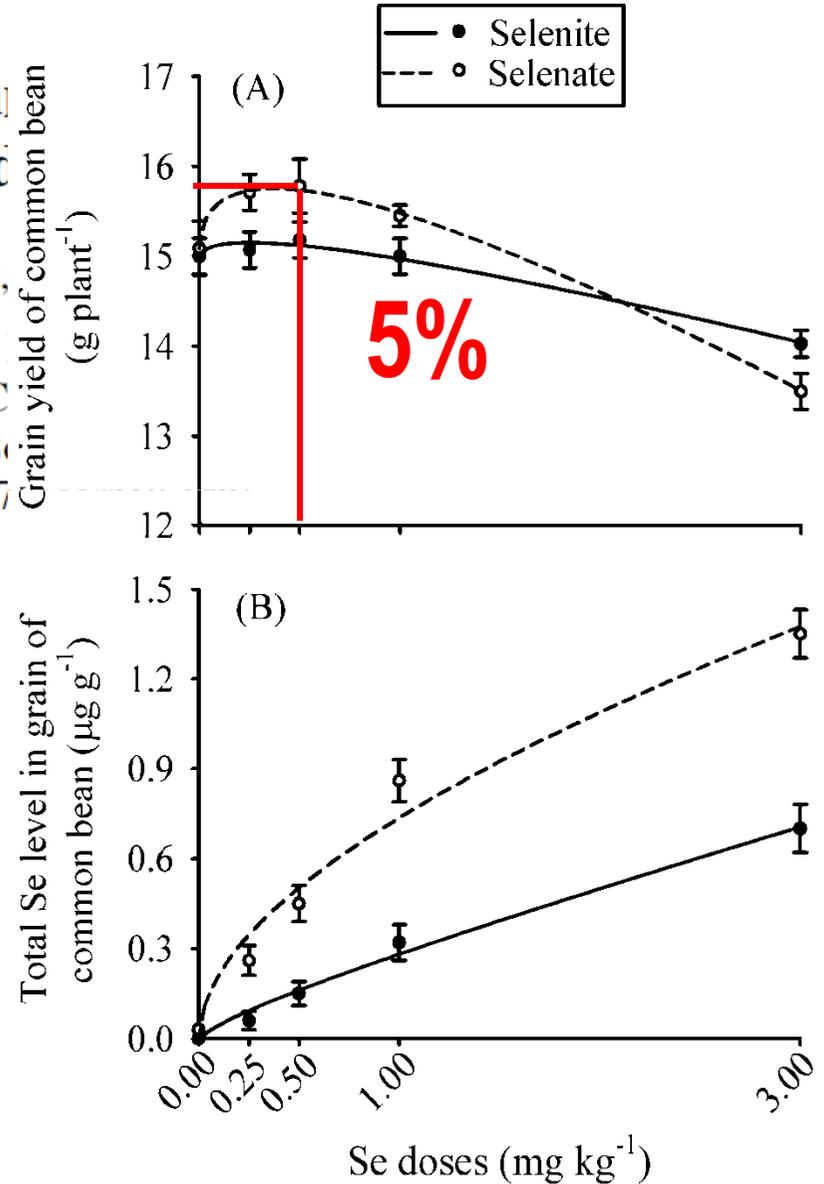
<sup>1</sup>Federal University of Lavras, Soil Science Department, P.O.

<sup>2</sup>Federal University of Paraná, Campus Palotina, C

<sup>3</sup>Federal University of Lavras, Biology Department, P.O. B

(\*Corresponding email: sjr237

Grain yield (A) and total Se level (B) of common bean plants treated with doses and forms of Se.





## Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence

M. Djanaguiraman, D. Durga Devi, Arun K. Shanker<sup>1,2</sup>, J. Annie Sheeba & U. Bangarusamy

Department of Crop Physiology, Tamil Nadu Agricultural University, Lawley Road, Coimbatore 641 003, Tamil Nadu, India. <sup>1</sup>Present Address: National Research Centre for Agroforestry Pahunj Dam, Gwalior Road, Jhansi-284003, India. <sup>2</sup>Corresponding author\*

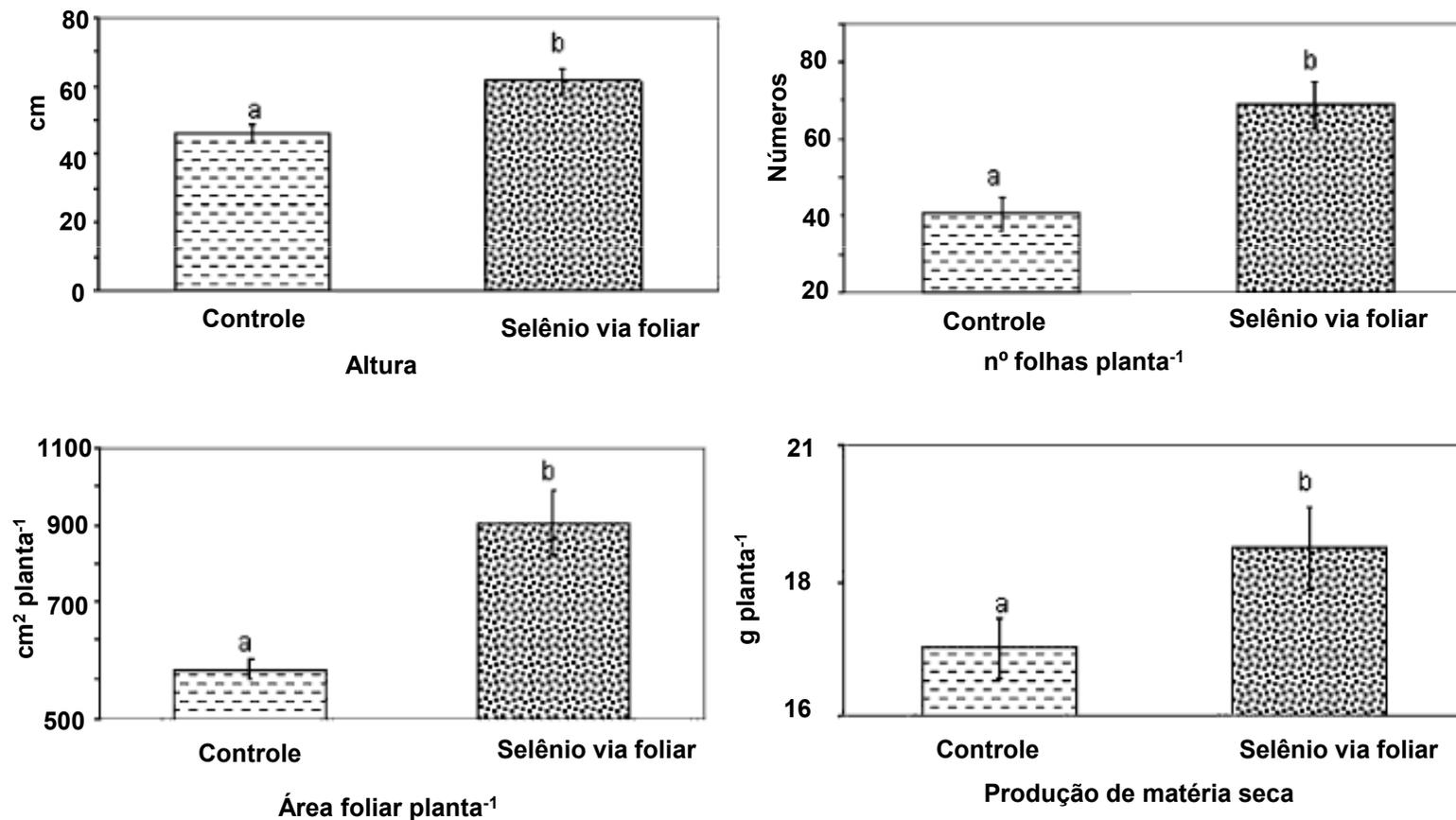


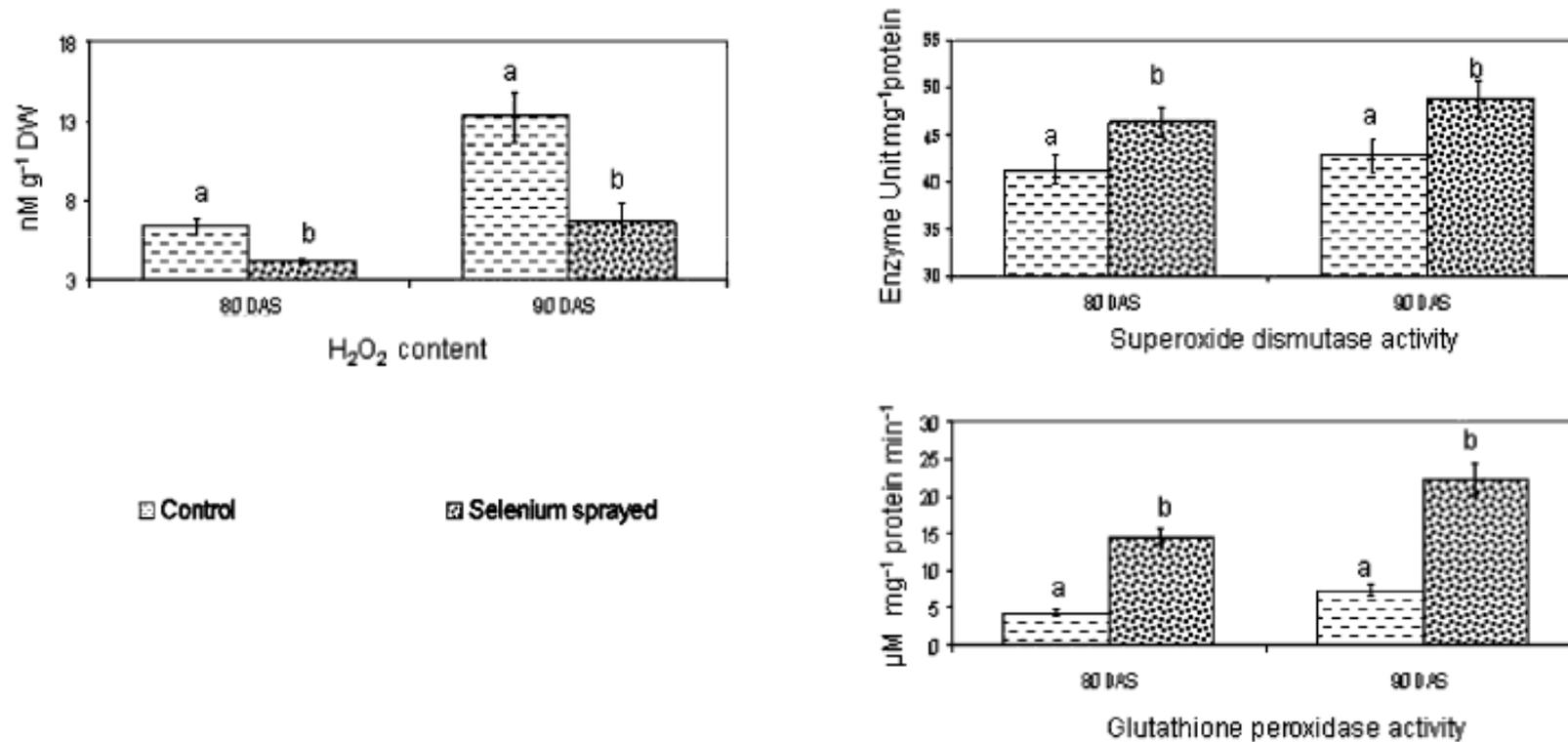
Figure 1. Effect of Selenium spray on growth and growth attributes in soybean at harvest.



## Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence

M. Djanaguiraman, D. Durga Devi, Arun K. Shanker<sup>1,2</sup>, J. Annie Sheeba & U. Bangarusamy

Department of Crop Physiology, Tamil Nadu Agricultural University, Lawley Road, Coimbatore 641 003, Tamil Nadu, India. <sup>1</sup>Present Address: National Research Centre for Agroforestry Pahuji Dam, Gwalior Road, Jhansi-284003, India. <sup>2</sup>Corresponding author\*



Effect of selenium spray on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, superoxide dismutase and glutathione peroxidase activity in soybean at 80 and 90 days.

---

## Promotion of Growth in Mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by Selenium is Associated with Stimulation of Carbohydrate Metabolism

Jahid Ali Malik • Sanjeev Kumar • Prince Thakur • Suchi Sharma • Navneet Kaur • Ramanpreet Kaur • D. Pathania • Kalpna Bhandhari • Neeru Kaushal • Kamaljit Singh • Alok Srivastava • Harsh Nayyar

**Table 1** Effect of selenium (as sodium selenate) on growth of 10-day-old mungbean seedlings (Mean  $\pm$  SE)

| Concentration of selenium (ppm) | Root growth (cm) | Shoot growth (cm) | Shoot/root ratio |
|---------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Control (no selenium)           | 5.3 $\pm$ 0.12   | 3.6 $\pm$ 0.11    | 0.60 $\pm$ 0.03  |
| 0.1                             | 6.0 $\pm$ 0.10   | 4.0 $\pm$ 0.11    | 0.66 $\pm$ 0.02  |
| 0.25                            | 6.25 $\pm$ 0.12  | 4.2 $\pm$ 0.14    | 0.67 $\pm$ 0.02  |
| 0.50                            | 6.26 $\pm$ 0.10  | 4.5 $\pm$ 0.11    | 0.71 $\pm$ 0.03  |
| 0.75                            | 6.3 $\pm$ 0.09   | 4.7 $\pm$ 0.12    | 0.74 $\pm$ 0.02  |
| LSD ( $P$ <0.05)                | 0.12             | 0.084             | 0.03             |

---

## Promotion of Growth in Mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by Selenium is Associated with Stimulation of Carbohydrate Metabolism

Jahid Ali Malik • Sanjeev Kumar • Prince Thakur • Suchi Sharma • Navneet Kaur • RamanPreet Kaur • D. Pathania • Kalpna Bhandhari • Neeru Kaushal • Kamaljit Singh • Alok Srivastava • Harsh Nayyar

**Table 2** Effect of selenium (as sodium selenate) on total chlorophyll content and TTC reduction ability in leaves of 10-day-old mungbean seedlings (Mean  $\pm$  SE)

---

| Concentration of selenium (ppm) | Total chlorophyll content (mg/g fresh weight) |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|
|---------------------------------|-----------------------------------------------|

---

Thus, the present study indicated that Se at lower levels can stimulate the plant growth, especially those of shoots by up-regulation of enzymes related to starch and sucrose catabolism leading to elevation of sugars that is accompanied by increase in cellular respiration to meet the energy needs required for faster growth.

## Elementos Úteis ou Benéficos

---

### Na

**Função osmótica – transporte de solutos**

**Turgor e expansão celular – estômatos**

### Si

**Age formando barreira física**

**Ameniza estresses bióticos e abióticos**

### Se

**Ativador enzimático – enzimas do sistema antioxidante**



**Obrigado pela atenção!!**

**Silvio J. Ramos**  
**[silviojramos@dcs.ufla.br](mailto:silviojramos@dcs.ufla.br)**

---

---

**Departamento de Ciência do Solo/UFLA**





# ELEMENTOS TÓXICOS

Prof. Valdemar Faquin

## Literatura:

Faquin, V.; Fernandes L.A.; Costa, E.T.S.; Melo, E.E.C.  
Fertilizantes e o meio ambiente. Lavras, UFLA/FAEPE, 2007.

# TOXIDEZ

- ESSENCIAL OU NÃO, QUANDO ELEMENTO É ABSORVIDO/INGERIDO EM EXCESSO POR

→ PLANTAS, ANIMAIS, HUMANOS

- ORIGEM:

→ NATURAL

→ ANTROPOGÊNICA (ADUBOS MINERAIS E ORGÂNICOS)

- ALÉM DOS NUTRIENTES, OUTROS (Cd, Pb)

# ADUBOS: MINERAIS E ORGÂNICOS

. METAIS PESADOS ( $d > 5$  e p.a.  $> 20$ ):

Envolve: metais, semimetais e não metais

. PLANTAS: Zn, Cu, Ni, Cr, Al, Mn, Fe, B

. ANIMAIS / HUMANOS: Cd, Pb, Hg, Ar, Mo

# ELEMENTOS E SUBSTÂNCIAS POLUENTES

Tabela 3. Lista das 10 substâncias/elementos mais perigosos, selecionados pela USEPA e ATSDR<sup>(1)</sup>, e seus respectivos limites de detecção ou quantificação<sup>(2)</sup>

| Classificação/substância (ano 2005)                   | Posição em 2005 | Limites ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ou $\mu\text{g L}^{-1}$ ) <sup>(2)</sup> |
|-------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Arsênio</b>                                        | <b>1</b>        | <b>10</b>                                                                |
| <b>Chumbo</b>                                         | <b>2</b>        | <b>3</b>                                                                 |
| <b>Mercúrio (metálico)</b>                            | <b>3</b>        | <b>0,2</b>                                                               |
| <b>Cloreto de vinila</b>                              | <b>4</b>        | <b>10</b>                                                                |
| <b>Difenil policlorado (PCBs)</b>                     | <b>5</b>        | <b>---</b>                                                               |
| <b>Benzeno</b>                                        | <b>6</b>        | <b>10</b>                                                                |
| <b>Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)</b> | <b>7</b>        | <b>---</b>                                                               |
| <b>Cádmio</b>                                         | <b>8</b>        | <b>5</b>                                                                 |
| <b>Benzo(a)pireno</b>                                 | <b>9</b>        | <b>330</b>                                                               |
| <b>Benzo(b)fluoranteno</b>                            | <b>10</b>       | <b>330</b>                                                               |

<sup>(1)</sup>ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Control)

<sup>(2)</sup>Valores em  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (solo), para substâncias orgânicas, e  $\mu\text{g L}^{-1}$  (água), para metais e cianeto.

Fonte: ATSDR (2007).

# **VIAS DE ENTRADA DE METAIS PESADOS NO SOLO**

Tabela 4. Resumo das vias de entrada de metais pesados no solo

| <b>Rota de entrada no solo</b>                                                               | <b>Contaminante</b>               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Deposição de rejeitos industriais, extração e processamento de minérios<sup>(*)</sup></b> | <b>Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn</b> |
| <b>Fertilizantes e pesticidas</b>                                                            | <b>Cd, Cr, Cu, Hg, Zn</b>         |
| <b>Lodos de estação de tratamento de esgoto urbano</b>                                       | <b>Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn</b> |
| <b>Deposição atmosférica</b>                                                                 | <b>Cd, Pb, Zn</b>                 |

<sup>(\*)</sup> Galvanoplastia, baterias, pigmentos, ligas metálicas, caldeiras, radiadores e outros.  
Fonte: King (1996), adaptado por Accioly e Siqueira (2000).

# DINÂMICA DOS METAIS PESADOS NO SOLO

reações, disponibilidade e mobilidade

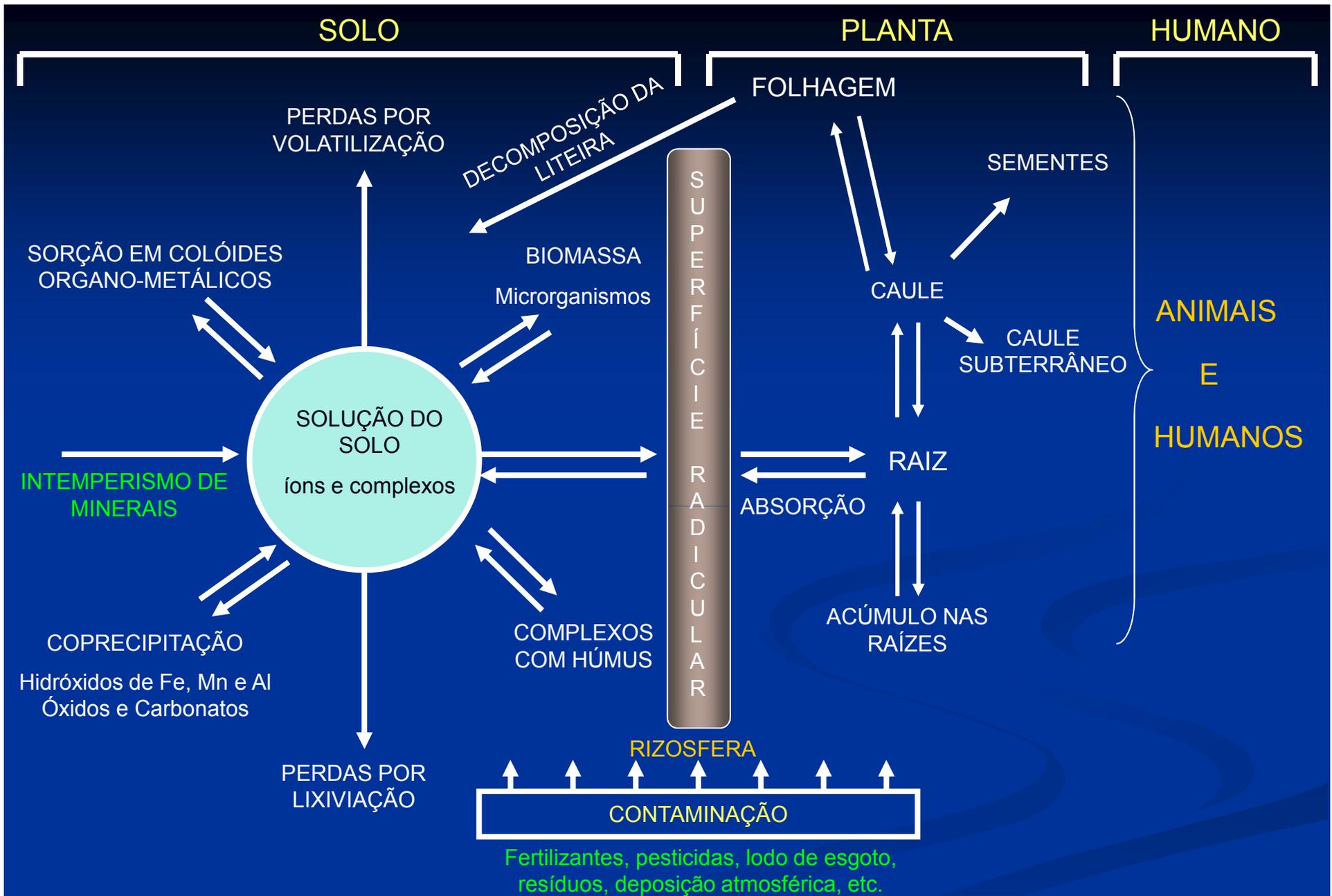


Figura 1. Sistema solo–planta e dinâmica dos metais pesados (Ad. por Alloway, 1990)

# REAÇÕES METAIS PESADOS

## ■ DISPONIBILIDADE:

→ DEPENDE REAÇÕES DE ADSORÇÃO-DESSORÇÃO,  
PRECIPITAÇÃO-DISSOLUÇÃO E COMPLEXAÇÃO

→ VARIA: ARGILA, M.O., pH

## ■ FORMAS:

→ \*SOLÚVEIS ÁGUA, \*TROCÁVEIS, \*ORGÂNICAS,  
CARBONÁCEAS, LIGADAS ÓXIDO DE Fe e Al e RESIDUAIS

\* CONSIDERADAS DISPONÍVEIS

# TEOR TOTAL: NÃO DEFINE RISCOS

Tabela 5. Teor total e solúvel de Cd em solos contaminados por diferentes fontes

| Fonte de Cd  | pH  | Matéria orgânica | Cd                     |         | S/T   |
|--------------|-----|------------------|------------------------|---------|-------|
|              |     |                  | Total                  | Solúvel |       |
|              |     | %                | (mg kg <sup>-1</sup> ) |         | %     |
| Mina Pb – Zn | 5,1 | 7,5              | 3,0                    | 0,119   | 3,97  |
| Mina Zn      | 7,5 | 10,2             | 134,0                  | 0,053   | 0,04  |
| Mina Zn      | 7,8 | 8,6              | 365,0                  | 0,158   | 0,04  |
| Mina Pb – Zn | 4,1 | 12,4             | 1,4                    | 0,227   | 16,20 |
| Lodo         | 6,4 | 1,8              | 80,2                   | 2,652   | 3,31  |
| Lodo         | 5,1 | 28,4             | 20,0                   | 0,236   | 1,18  |
| Lodo         | 6,5 | 26,9             | 64,24                  | 0,099   | 0,15  |
| Lodo         | 5,5 | 19,6             | 59,8                   | 0,250   | 0,43  |

Fonte: Malavolta (2006)

# MOBILIDADE METAIS NO SOLO

- **RISCOS:** CONTAMINAÇÃO ÁGUAS
- **VARIÁVEL:** ELEMENTO, SOLO, CONDIÇÕES AMBIENTAIS
- **SOLO:** ARGILA E MATÉRIA ORGÂNICA
- **MOBILIDADE DOS ELEMENTOS:**
  - **BAIXA:** Cu, Pb e Cr (superfície)
  - **MÉDIA:** Zn, Mn e Ni
  - **ALTA:** Cd

Tabela 6. Mobilidade relativa de alguns metais pesados em solos

| Elemento | Base para mobilidade                                                                         | Mobilidade relativa(*) |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| As (III) | Oxiânion é adsorvido mais fracamente que o arsenato em óxidos metálicos e só em pH mais alto | M                      |
| Cd (II)  | Cátion é adsorvido moderadamente em óxidos metálicos e argilas                               | M                      |
|          | Forma carbonato insolúvel e com sulfeto e precipita                                          | B                      |
| Cr (III) | Cátion é adsorvido fortemente em óxidos metálicos e argilas                                  | B                      |
|          | Forma precipitado insolúvel do óxido do metal                                                | B                      |
| Cu (II)  | Cátion é adsorvido fortemente em húmus, óxidos metálicos e argilas                           | B                      |
|          | Forma óxidos metálicos insolúveis e sulfetos                                                 | B                      |
|          | Forma complexos solúveis em pH alto                                                          | M                      |
| Hg (II)  | Cátion é adsorvido moderadamente em óxidos e argilas em pH alto                              | B                      |
|          | Solubilidade relativamente alta de hidróxidos; forma compostos orgânicos voláteis            | M                      |
| Ni (II)  | Cátion se comporta de modo semelhante ao Cu (II)                                             | B                      |
| Pb (II)  | Cátion se comporta de modo semelhante ao Cu (II)                                             | B                      |
| Zn (II)  | Cátion é adsorvido fortemente em óxidos metálicos e argilas; forma sulfetos insolúveis       | B                      |
|          | Em baixo pH, é adsorvido fracamente; forma complexos solúveis em pH alto                     | A                      |

\* Letras indicam a mobilidade relativa: B – baixa; M – média; A- alta.

Fonte: Haynes e Trina (1998), adaptado por Guilherme et al. (2005)

# LIMITES TÓXICOS DE METAIS NO SOLO

**DIFÍCIL ESTABELECIMENTO :**

**BIODISPONIBILIDADE DEPENDE SÉRIE FATORES**

**→ TIPO SOLO (textura/mineralogia) pH, M.O, PLANTA .....**

# CETESB (2005): VALORES ORIENTADORES

- **VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VR):**  
→ TEOR SOLO OU ÁGUA LIMPOS
- **VALOR DE PREVENÇÃO (VP):**  
→ TEOR SOLO OU ÁGUA PODE PREJUDICAR  
– MERECE MONITORAMENTO
- **VALOR DE INTERVENÇÃO (VI):**  
→ TEOR SOLO OU ÁGUA – RISCOS POTENCIAIS SAÚDE  
- NECESSIDADE DE AÇÕES

Tabela 9. Valores de referência de elementos inorgânicos para controle de qualidade do solo e da água no estado de São Paulo

| Elemento                        | Solo                |                 |                      |                  |                 | Água                                |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|
|                                 | Valor de referência | Valor de alerta | Valor de intervenção |                  |                 | Valor de intervenção (água potável) |
|                                 |                     |                 | Área agrícola        | Área residencial | Área industrial |                                     |
| ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                     |                 |                      |                  |                 | --- µg L <sup>-1</sup> ---          |
| As                              | 3,5                 | 15              | 25                   | 50               | 100             | 10                                  |
| Cd                              | < 0,5               | 3               | 10                   | 15               | 40              | 5                                   |
| Pb                              | 17                  | 100             | 200                  | 350              | 1.200           | 10                                  |
| Cu                              | 35                  | 60              | 100                  | 500              | 700             | 2.000                               |
| Cr                              | 40                  | 75              | 300                  | 700              | 1.000           | 50                                  |
| Hg                              | 0,05                | 0,5             | 2,5                  | 5                | 25              | 1                                   |
| Ni                              | 13                  | 30              | 50                   | 200              | 300             | 50                                  |
| Zn                              | 60                  | 300             | 500                  | 1.000            | 1.500           | 5.000                               |

Fonte: Adaptado de CETESB (2005)

# METAIS PESADOS NA PLANTA

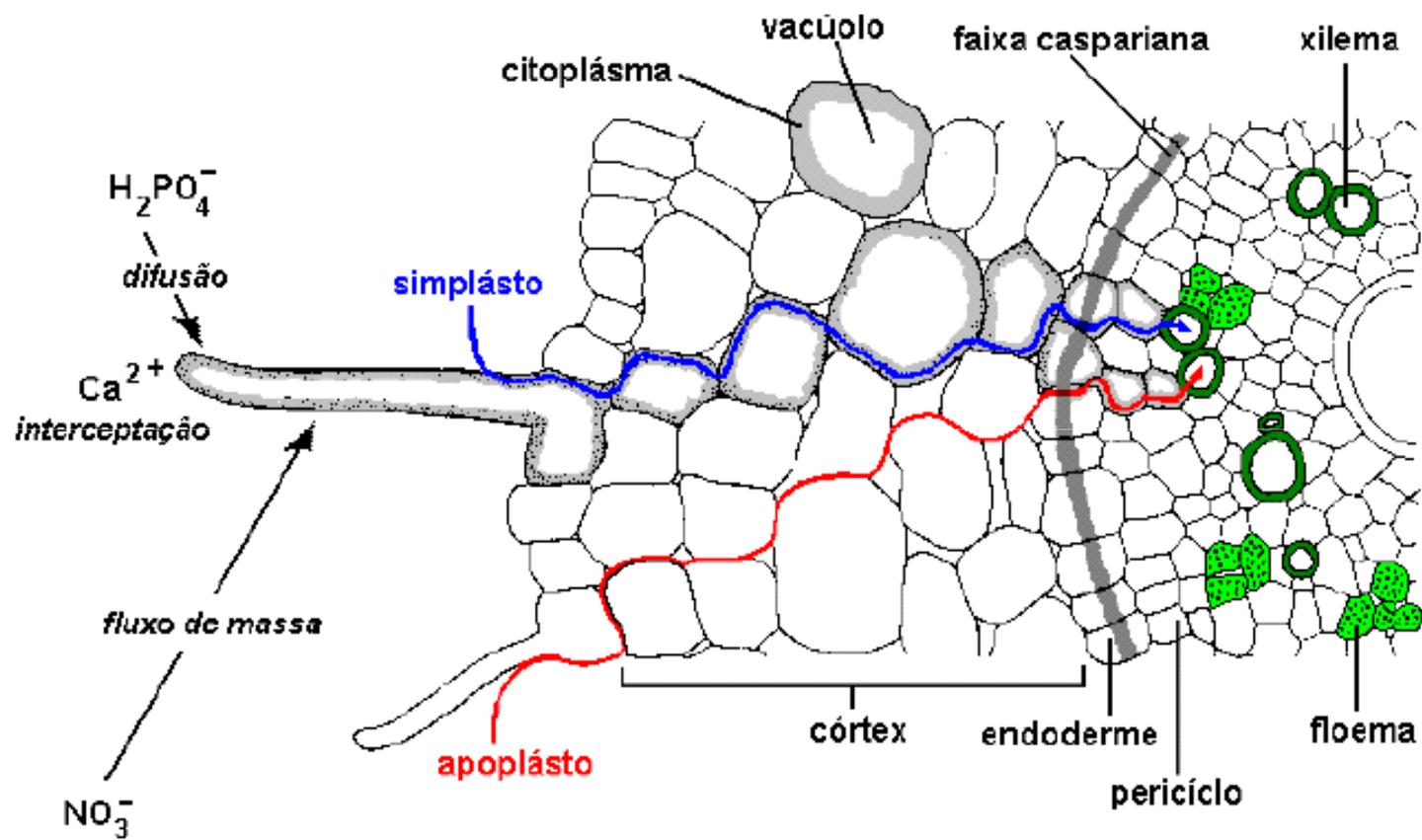
## ABSORÇÃO:

→ ENTRADA DO ELEMENTO PARA DENTRO DO TECIDO

→ PLANTA NÃO CONTROLA A ABSORÇÃO

→ FORMAS:

- $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  
 $\text{MoO}_4^{2-}$
- quelatos: composto “quelante-M”



# TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO

## ■ DEFINIÇÕES.....

→ DEFINEM O LOCAL DE ACÚMULO E RISCOS DE CONTAMINAÇÃO ANIMAL/HUMANO

→ USO EM PROGRAMAS DE FITORREDIAÇÃO

Tabela 13. Teor e acúmulo de Cd nos órgãos do arroz e do feijoeiro cultivados em solução nutritiva (0,5 mg L<sup>-1</sup> de Cd)

| <b>Espécie</b>                           | <b>Raiz</b>  | <b>Caule</b> | <b>Folha</b> | <b>Panícula</b> | <b>Grãos</b> |
|------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| <b>Teor (g kg<sup>-1</sup>)</b>          |              |              |              |                 |              |
| <b>Arroz</b>                             | <b>167</b>   | <b>24</b>    | <b>11</b>    | <b>13</b>       | <b>--</b>    |
| <b>Feijão</b>                            | <b>44</b>    | <b>4</b>     | <b>0</b>     | <b>--</b>       | <b>1</b>     |
| <b>Conteúdo (µg planta<sup>-1</sup>)</b> |              |              |              |                 |              |
| <b>Arroz</b>                             | <b>4.171</b> | <b>1.044</b> | <b>23</b>    | <b>122</b>      | <b>--</b>    |
| <b>Feijão</b>                            | <b>285</b>   | <b>53</b>    | <b>0</b>     | <b>--</b>       | <b>20</b>    |

Fonte: Adaptado de Jurado (1989)

## TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO (CONTINUAÇÃO)

→ UNIFORME NA PLANTA: B, Mn, Ni e Zn

→ MENOR RAÍZES e MODERADA/GRANDE P. AÉREA  
Co, Cu, Mo e Cd

→ MAIS NAS RAÍZES: Pb, Cr, Ag; Sn; Ti e V.

■ DADOS CONFLITANTES:

Tabela 12. Acúmulo e distribuição de Pb nos órgãos do feijoeiro (média de três solos)<sup>(1)</sup>

| Saturação bases (%) <sup>(3)</sup>       | Total | Raiz                     | Caule   | Folha    | Grãos     |
|------------------------------------------|-------|--------------------------|---------|----------|-----------|
| -----mg planta <sup>-1</sup> de Pb ----- |       |                          |         |          |           |
| 50 – 70                                  | 332   | 100 (30%) <sup>(2)</sup> | 23 (7%) | 38 (11%) | 171 (52%) |
| 35 – 50                                  | 324   | 96 (29%)                 | 26 (8%) | 38 (12%) | 164 (51%) |
| 20 – 30                                  | 287   | 84 (29%)                 | 16 (6%) | 44 (16%) | 143 (49%) |
| Natural                                  | 209   | 44 (21%)                 | 14 (7%) | 30 (14%) | 121 (58%) |

<sup>(1)</sup>Calcário dolomítico comercial, lagoa de sedimentação da CMM, Paracatu, MG. Teor de Pb = 1052 mg kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup>Percentual em relação ao total acumulado. <sup>(3)</sup>Os valores de pH água variaram de 3,9 a 6,2. Fonte: Lima (2001)

# TOXIDEZ METAIS EM PLANTAS

- INFLUENCIAM PROCESSOS METABÓLICOS
- Ex:
  - PERMEABILIDADE MEMBRANAS
  - COMPETIÇÃO POR SÍTIOS
  - AFINIDADE COM RADICAIS FOSFATADOS DO ATP E ADP
  - OCUPAÇÃO LUGAR CÁTIOS ESSENCIAIS
  - IDEM ÂNIONS ESSENCIAIS (FOSFATO E NITRATO)
  - DANOS NO APARELHO FOTOSSINTÉTICO
- . **DISTÚRBIOS: MENORES FOTOSSÍNTESE, RESPIRAÇÃO e CRESCIMENTO, DEGENERAÇÃO ORGANELAS E PODE PROMOVER MORTE PLANTAS**

Tabela 14. Alguns sintomas de toxidez por metais pesados em plantas

| Elemento  | Sintomas de toxidez                                                                                                                                                              | Culturas sensíveis                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Cd</b> | Folhas com margens pardas, clorose, pecíolos e nervuras avermelhadas. Enrolamento das folhas. Raízes pardas e curtas                                                             | Feijão, soja, espinafre, rabanete, cenoura e cebola               |
| <b>Cr</b> | Clorose nas folhas mais novas. Raízes mal desenvolvidas                                                                                                                          | ---                                                               |
| <b>Cu</b> | Folhas inicialmente verde-escuras, depois clorose em manchas aquosas que secam e podem ficar quase negras. Desfolhamento. Raízes mal desenvolvidas. Mal perfilhamento em cereais | Cereais e leguminosas, espinafre, plântulas de citros e gladiolos |
| <b>Hg</b> | Definhamento das plântulas e raízes, clorose e bronzeamento das pontas das folhas                                                                                                | Beterraba, milho e rosas                                          |
| <b>Ni</b> | Clorose interneval das folhas mais novas ou cor verde-cinza. Raízes pardas e curtas                                                                                              | Cereais                                                           |
| <b>Pb</b> | Folhas verde-escura, murchamento das folhas mais velhas. Parte aérea e raízes pouco desenvolvidas (e pardas)                                                                     | ---                                                               |
| <b>Zn</b> | Clorose e bronzeamento das folhas mais novas. Arroxamento junto às nervuras das folhas basais. Atraso no crescimento. Raízes parecidas com arame farpado                         | Cereais e espinafre                                               |

Fonte: Adaptado de Kabata-Pendias e Pendias (2001)

# TEORES TÓXICOS: VARIAM ENTRE ESPÉCIES

Tabela 15. Teor aproximado de metais pesados em tecidos de folhas maduras, generalizado para várias espécies\*

| Elemento                                     | Deficiente (se menor que o estabelecido) | Suficiente ou normal | Excessivo ou tóxico | Tolerável em culturas agrônômicas |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|
| -----mg kg <sup>-1</sup> (matéria seca)----- |                                          |                      |                     |                                   |
| As                                           | --                                       | 1,0 - 1,7            | 5 - 20              | 0,2 <sup>a</sup>                  |
| Cd                                           | --                                       | 0,05 - 0,2           | 5 - 30              | 0,05 - 0,5                        |
| Cr                                           | --                                       | 0,1 - 0,5            | 5 - 30              | 2                                 |
| Cu                                           | 2 - 5                                    | 5 - 30               | 20 - 100            | 5 - 20                            |
| Hg                                           | --                                       | --                   | 1 - 3               | 0,2 <sup>a</sup>                  |
| Ni                                           | --                                       | 0,1 - 5              | 10 - 100            | 1 - 10                            |
| Pb                                           | --                                       | 5 - 10               | 30 - 300            | 0,5 - 10                          |
| Zn                                           | 10 - 20                                  | 27 - 150             | 100 - 400           | 50 - 100                          |

\* Valores não são dados para espécies de plantas muito sensíveis ou altamente tolerantes.

<sup>a</sup> Matéria fresca.

Fonte: adaptado de Kabata-Pendias & Pendias (2001)

# MECANISMOS DE TOLERÂNCIA

- **CAPACIDADE CONVIVER EXCESSO METAIS MEIO**
  - MENOR ACÚMULO DE ÍONS LIVRES NA PLANTA

→ **IMOBILIZAÇÃO: MUCILAGEM E PAREDE CELULAR RAÍZES**

→ **EXCLUSÃO: MENOR ABSORÇÃO (EXSUDAÇÃO DE COMPOSTOS)**

→ **QUELAÇÃO INTERNA: FITOQUELATINAS, METALOTIONEINAS, ÁCIDOS ORGÂNICOS E AMINOÁCIDOS**

→ **COMPARTIMENTALIZAÇÃO: ACÚMULO NO VACÚOLO**

## **Barreira solo:planta → cadeia alimentar (Chaney, 1980)**

- **GRUPO 1: Ti, Cr, Zr, Ag e Sn – insolúveis solo, retidos raízes e pouco transportados parte aérea**
- **GRUPO 2: Hg, Pb e As – pouco transportados para parte aérea**
- **GRUPO 3: Zn, Cu, Ni, B e Mn – plantas não protegem contra entrada na cadeia alimentar**
- **GRUPO 4: Se, Mo, Cd e Co – podem causar toxidez alimentar**

# ALIMENTOS

## ■ MUNDIAL: CODEX ALIMENTARUS (FAO/OMS)

→ TABELA 20 p. 47 = TEORES MÁXIMOS EM ALIMENTOS

## ■ BRASIL: MÁXIMOS

→ FRUTAS CONSERVA, CRISTALIZADAS,.... (mg/kg)

- Hg – 0,01; Cr – 0,1; Cd – 0,2; Pb – 0,5; Ni – 1,0; Zn – 25....

→ ÓLEOS, MARGARINAS..... (mg/kg)

- Fe – 5 e Cu – 01 (óleo e gordura); Pb e As – 0,1 produtos  
geral

→ BEBIDAS (mg/L):

- As – 020; Pb – 0,3; Cu – 5; Zn – 5.

Tabela 4. Resumo das vias de entrada de metais pesados no solo

| <b>Rota de entrada no solo</b>                                                               | <b>Contaminante</b>               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Deposição de rejeitos industriais, extração e processamento de minérios<sup>(*)</sup></b> | <b>Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn</b> |
| <b>Fertilizantes e pesticidas</b>                                                            | <b>Cd, Cr, Cu, Hg, Zn</b>         |
| <b>Lodos de estação de tratamento de esgoto urbano</b>                                       | <b>Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn</b> |
| <b>Deposição atmosférica</b>                                                                 | <b>Cd, Pb, Zn</b>                 |

<sup>(\*)</sup> Galvanoplastia, baterias, pigmentos, ligas metálicas, caldeiras, radiadores e outros.  
Fonte: King (1996), adaptado por Accioly e Siqueira (2000).

# FERTILIZANTES MINERAIS, ORGÂNICOS E CORRETIVOS

- **MINERAIS:** CONSTITUIDOS COMPOSTOS QUÍMICOS
- **ORGÂNICOS:** FORMADOS COMPOSTOS ORGÂNICOS
- **CORRETIVOS:** NEUTRALIZANTES DA ACIDEZ

→ APRESENTAM ALÉM NUTRIENTES – CONTAMINANTES

- METAIS PESADOS E ORGANISMOS PATOGÊNICOS

# OUTRO GRANDE DESAFIO

- **MUNDO - GRANDE PRODUÇÃO:**
  - **ESGOTO, LIXO URBANO, RESÍDUOS E EFLUENTES INDUSTRIAIS, DEJETOS ANIMAIS.....**
- **DEPOSIÇÃO INDEVIDA: DANOS AMBIENTAIS**
- **NECESSÁRIO: ESTUDOS DO POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA - MINIMIZAR**

# **FONTES DE METAIS PESADOS**

- **PRINCIPAIS FONTES:**

- **ADUBOS FOSFATADOS, LODOS DE ESGOTO, ESTERCOS E CALCÁRIOS**

- **TEORES DE METAIS BASTANTE VARIADOS**

- **NÃO PERMITE GENERALIZAÇÕES A RESPEITO DOS RISCOS CONTAMINAÇÃO PELO USO**

Tabela 23. Faixas de concentrações típicas de metais pesados em fertilizantes fosfatados e calcários

| <b>Produto</b>           | <b>Cd</b>                      | <b>Pb</b>        | <b>Ni</b>      | <b>Cu</b>      | <b>Zn</b>        |
|--------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
|                          | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                  |                |                |                  |
| <b>Adubos fosfatados</b> | <b>0,1 – 170</b>               | <b>7 – 225</b>   | <b>7 – 30</b>  | <b>1 – 300</b> | <b>50 - 1450</b> |
| <b>Calcários</b>         | <b>0,04 – 0,1</b>              | <b>20 – 1250</b> | <b>10 – 20</b> | <b>5 – 125</b> | <b>10 - 450</b>  |

Fonte: Alloway (1990)

Tabela 24. Composição média e limites de variação de alguns metais pesados para lodo de esgoto, esterco de curral e composto de lixo<sup>(1)</sup>

| Elemento                       | Lodo de esgoto |            | Esterco de curral  | Composto de lixo |
|--------------------------------|----------------|------------|--------------------|------------------|
|                                | Média          | Limites    |                    |                  |
| -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                |            |                    |                  |
| Hg                             | 2              | 0-5        | 0,2 <sup>(2)</sup> | 0,7              |
| Cd                             | 20             | 0-300      | 0,8 <sup>(2)</sup> | 0,4              |
| Ni                             | 150            | 10-1.300   | 29 <sup>(2)</sup>  | 58               |
| Cu                             | 250            | 1-3.000    | 200                | 163              |
| Cr                             | 500            | 10-50.000  | 56 <sup>(2)</sup>  | 105              |
| Pb                             | 700            | 50-50.000  | 16 <sup>(2)</sup>  | 115              |
| Zn                             | 3.000          | 500-20.000 | 800                | 262              |

Fontes: <sup>(1)</sup>Adaptado por Berton (1992); <sup>(2)</sup>Adriano (1986)

Tabela 25. Teores médios de metais pesados em alguns corretivos e fertilizantes

| Produto                                | Mn                             | Ni           | Cd          | Pb           | Zn            | Cu         | Fe            | Cr         |
|----------------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|---------------|------------|
|                                        | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |              |             |              |               |            |               |            |
| <b>Calcário (Arcos, MG)</b>            | <b>53</b>                      | <b>8</b>     | <b>2,4</b>  | <b>27,3</b>  | <b>78,1</b>   | <b>2,6</b> | <b>981</b>    | <b>03</b>  |
| <b>Corretivo-resid. (Paracatu- MG)</b> | <b>2.867</b>                   | <b>11,4</b>  | <b>51,9</b> | <b>2.817</b> | <b>10.220</b> | <b>122</b> | <b>31.610</b> | <b>0,6</b> |
| <b>Apatita de Araxá</b>                | <b>3.915</b>                   | <b>118</b>   | <b>6,7</b>  | <b>36</b>    | <b>740</b>    | <b>72</b>  | <b>29.590</b> | <b>1,9</b> |
| <b>Termofosfato Yorin</b>              | <b>2.220</b>                   | <b>3.300</b> | <b>3,1</b>  | <b>65</b>    | <b>374</b>    | <b>44</b>  | <b>38.410</b> | <b>9,7</b> |
| <b>NPK + Zn (2-28-8 + 0,5%)</b>        | <b>792</b>                     | <b>30</b>    | <b>14,6</b> | <b>275</b>   | <b>5.385</b>  | <b>73</b>  | <b>9.225</b>  | <b>1,6</b> |

Fonte: adaptado de Amaral Sobrinho et al. (1992).

Tabela 26. Metais pesados em lodos de esgoto de diferentes origens

| Elemento | SABESP                                    |               |        | SANEPAR   |       |
|----------|-------------------------------------------|---------------|--------|-----------|-------|
|          | Barueri                                   | V. Leopoldina | Franca | ETE Belém | RALF  |
|          | -----mg kg <sup>-1</sup> (base seca)----- |               |        |           |       |
| Cobre    | 703                                       | 1.329         | 98     | 439       | 89    |
| Zinco    | 1.345                                     | 3.264         | 1.868  | 824       | 456   |
| Crômio   | 569                                       | 3.291         | 480    | 125       | 190   |
| Níquel   | 381                                       | 248           | 24,2   | 81        | 94    |
| Chumbo   | 224                                       | 186           | < 0,1  | 268       | 343   |
| Mercúrio | 4                                         | nd            | < 0,12 | nd        | Nd    |
| Arsênio  | 8                                         | nd            | < 0,15 | nd        | Nd    |
| Cádmio   | 14                                        | 4             | < 0,08 | < 2,5     | < 2,5 |

# LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE FERTILIZANTES E CORRETIVOS

## ■ DIFICULDADES NO ESTABELECIMENTO

→ TOXIDEZ METAIS DEPENDE:

SOLO (TEXTURA, pH, M.O...), PLANTA, DOSE,  
TEOR NO PRODUTO.....

. **MAPA: Instrução Normativa N° 27**  
**de 05/06/2006**

Tabela 27. Limites máximos de metais pesados tóxicos contidos em fertilizantes minerais.

| <b>Fertilizantes / Corretivos</b>                                        | <b>As</b>                                                                            | <b>Cd</b>    | <b>Pb</b>       | <b>Cr</b>    | <b>Hg</b>   |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|
|                                                                          | -----mg kg <sup>-1</sup> por 1% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ou 1% de micros---- |              |                 |              |             |
| <b>Com P</b>                                                             | <b>2,0</b>                                                                           | <b>4,0</b>   | <b>20,0</b>     | <b>40,0</b>  | <b>0,05</b> |
| <b>Com Micros</b>                                                        | <b>500,0</b>                                                                         | <b>15,0</b>  | <b>750,0</b>    | <b>500,0</b> | <b>10,0</b> |
|                                                                          | -----mg kg <sup>-1</sup> de adubo-----                                               |              |                 |              |             |
| <b>Macros Primários + Micros</b>                                         | <b>250,0</b>                                                                         | <b>57,0</b>  | <b>1.000,0</b>  | <b>-</b>     | <b>-</b>    |
| <b>Micros e Macros secundários + Micros</b>                              | <b>4.000,0</b>                                                                       | <b>450,0</b> | <b>10.000,0</b> | <b>-</b>     | <b>-</b>    |
| <b>Com N, K e Macros secundários (-5% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b> | <b>10,0</b>                                                                          | <b>20,0</b>  | <b>100,0</b>    | <b>200,0</b> | <b>0,20</b> |
| <b>Corretivos (calcários, selicatos, escórias, etc)</b>                  | <b>-</b>                                                                             | <b>20,0</b>  | <b>1.000,0</b>  | <b>-</b>     | <b>-</b>    |

Fonte: MAPA – Instr. Normativa nº 27, de 05/06/2006.

# OUTROS PAÍSES: grande variação

## ■ EXEMPLOS: CÁDMIO

→ OECD (DIVERSOS PAÍSES):

→ 50 – 275 mg/kg EM FERTILIZANTES FOSFATADOS

→ < 2 - 556 mg/kg EM ROCHAS FOSFATADAS

→ JAPÃO: MÁXIMO 8 mg/kg FERTILIZANTES FOSFATADOS

→ AUSTRÁLIA: 300 mg/kg FERTILIZANTES FOSFATADOS

DADOS MOSTRAM NECESSIDADE DE PESQUISAS: SOLOS, CULTURAS, ADUBOS, MANEJO DA DUBAÇÃO....

# **LODOS DE ESGOTO/COMPOSTOS DE LIXO**

**LIMITES MÁXIMOS PERMITIDOS  
BASTANTE VARIADOS**

Tabela 28. Concentrações máximas de metais pesados em lodo de tratamento biológico e composto de lixo urbano, em países da Europa

| Elemento                                      | Composto de lixo |         | Lodo de tratamento biológico |        |                    |
|-----------------------------------------------|------------------|---------|------------------------------|--------|--------------------|
|                                               | Itália           | Holanda | Alemanha                     | Suécia | C.E.E <sup>1</sup> |
| -----mg kg <sup>-1</sup> (matéria seca) ----- |                  |         |                              |        |                    |
| Cádmio                                        | 10               | 5       | 15                           | 15     | 20                 |
| Chumbo                                        | 500              | 500     | 900                          | 300    | 750                |
| Crômio                                        | 500              | 500     | 900                          | 1.000  | 750                |
| Cobre                                         | 600              | 600     | 800                          | 3.000  | 1.000              |
| Mercúrio                                      | 10               | 5       | 8                            | 8      | 16                 |
| Níquel                                        | 200              | 100     | 200                          | 500    | 300                |
| Zinco                                         | 2.500            | 2.000   | 2.500                        | 10.000 | 2.500              |

1 COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA.  
 FONTE: BERTON (1996)

# USEPA (AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS EUA)

Tabela 29. Parâmetros da USEPA para uso de lodo de tratamento biológico

| Elemento | Concentração máxima possível              |                  | Dose máxima de aplicação              | Dose cumulativa máxima |
|----------|-------------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------|
|          | Categorias 1 e 2                          | Categorias 3 e 4 | Categoria 3                           | Categoria 4            |
| (1)      | (2)                                       | (3)              | (4)                                   | (5)                    |
|          | -----mg kg <sup>-1</sup> (base seca)----- |                  | kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup>    |
| Arsênio  | 41                                        | 75               | 2,0                                   | 41                     |
| Cádmio   | 39                                        | 85               | 1,9                                   | 39                     |
| Crômio   | 1.200                                     | 3.000            | 150,0                                 | 3.000                  |
| Cobre    | 1.500                                     | 4.300            | 75,0                                  | 1.500                  |
| Chumbo   | 300                                       | 840              | 14,5                                  | 300                    |
| Mercúrio | 17                                        | 57               | 0,85                                  | 17                     |
| Níquel   | 420                                       | 420              | 21,3                                  | 420                    |
| Zinco    | 2.800                                     | 7.500            | 140,0                                 | 2.800                  |

Fonte: Code of Federal Regulations (1993), adaptado por Rodella e Alcarde (2001)

# BRASIL: PARANÁ

Tabela 10. Limites máximos de concentração de metais em lodos e solos, adotados no estado do Paraná, adaptados da legislação espanhola

| Elemento        | Limites no solo                |            | Limites nos lodos |              |
|-----------------|--------------------------------|------------|-------------------|--------------|
|                 | pH<7                           | pH>7       | pH<7              | pH>7         |
|                 | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |            |                   |              |
| <b>Cádmio</b>   | <b>1</b>                       | <b>3</b>   | <b>20</b>         | <b>40</b>    |
| <b>Chumbo</b>   | <b>50</b>                      | <b>300</b> | <b>750</b>        | <b>1.200</b> |
| <b>Cobre</b>    | <b>50</b>                      | <b>210</b> | <b>1.000</b>      | <b>1.750</b> |
| <b>Crômio</b>   | <b>100</b>                     | <b>150</b> | <b>1.000</b>      | <b>1.500</b> |
| <b>Mercúrio</b> | <b>1</b>                       | <b>1,5</b> | <b>16</b>         | <b>25</b>    |
| <b>Níquel</b>   | <b>30</b>                      | <b>112</b> | <b>300</b>        | <b>400</b>   |
| <b>Zinco</b>    | <b>150</b>                     | <b>450</b> | <b>2.500</b>      | <b>4.000</b> |

Fonte: Companhia de Saneamento do Paraná (1997)

# BRASIL: SÃO PAULO (CETESB)

## ■ PRATICAMENTE CRITÉRIOS DA USEPA:

→ CONCENTRAÇÃO MÁXIMA NO LODO: Coluna 3 Tabela 29

→ QUANTIDADE MÁXIMA ANUALMENTE: Coluna 4 Tabela 29

→ QUANT. MÁXIMA ACUMULADA SOLO: Coluna 5 Tabela 29

- LIMITE PARA AVALIAR POSSIBILIDADE DE NOVA  
APLICAÇÃO

# ACÚMULO DE METAIS PESADOS EM SOLOS E PLANTAS

- RAROS TRABALHOS DE LONGA DURAÇÃO
- VASOS: CURTA DURAÇÃO, INDICA POTENCIAL, MAS DE DIFÍCIL EXTRAPOLAÇÃO
- LIMITES CRÍTICOS DEPENDEM: solo (textura, pH, M.O.....), espécie de plantas, .....

**CETESB (2005) Tabela 9, p. 24**

Tabela 9. Valores de referência de elementos inorgânicos para controle de qualidade do solo e da água no estado de São Paulo

| Elemento                        | Solo                |                 |                      |                  |                 | Água                                |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|
|                                 | Valor de referência | Valor de alerta | Valor de intervenção |                  |                 | Valor de intervenção (água potável) |
|                                 |                     |                 | Área agrícola        | Área residencial | Área industrial |                                     |
| ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                     |                 |                      |                  |                 | --- µg L <sup>-1</sup> ---          |
| As                              | 3,5                 | 15              | 25                   | 50               | 100             | 10                                  |
| Cd                              | < 0,5               | 3               | 10                   | 15               | 40              | 5                                   |
| Pb                              | 17                  | 100             | 200                  | 350              | 1.200           | 10                                  |
| Cu                              | 35                  | 60              | 100                  | 500              | 700             | 2.000                               |
| Cr                              | 40                  | 75              | 300                  | 700              | 1.000           | 50                                  |
| Hg                              | 0,05                | 0,5             | 2,5                  | 5                | 25              | 1                                   |
| Ni                              | 13                  | 30              | 50                   | 200              | 300             | 50                                  |
| Zn                              | 60                  | 300             | 500                  | 1.000            | 1.500           | 5.000                               |

Fonte: Adaptado de CETESB (2005)

# SIMULAÇÕES: SEM CONSIDERAR SOLO, EXTRAÇÃO PLANTA, EROÇÃO, LIXIVIAÇÃO

Tabela 36. Simulação do incremento de metais pesados proporcionado pela aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> incorporado em 0,1 m

| Elemento                       | Fonte                           | Limite tóxico (*) | Incremento por aplicação | Número de aplicações |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                                 |                   |                          |                      |
| <b>Cd</b>                      | <b>Fosfato reativo import.</b>  | <b>10</b>         | <b>0,094</b>             | <b>415</b>           |
| <b>Cr</b>                      | <b>Termofosfato importado</b>   | <b>300</b>        | <b>0,239</b>             | <b>5.439</b>         |
| <b>Cu</b>                      | <b>Termofosfato importado</b>   | <b>100</b>        | <b>0,054</b>             | <b>28.302</b>        |
| <b>Ni</b>                      | <b>Termofosfato importado</b>   | <b>50</b>         | <b>0,120</b>             | <b>3.500</b>         |
| <b>Pb</b>                      | <b>Fosfato natural nacional</b> | <b>200</b>        | <b>0,389</b>             | <b>771</b>           |
| <b>Zn</b>                      | <b>Termofosfato importado</b>   | <b>500</b>        | <b>0,452</b>             | <b>6.194</b>         |

(\*) Valores de intervenção conforme CETESB (2005), Tabela 9.

Fonte: Campos et al. (2005)

# TOXIDEZ POR ALUMÍNIO

EFEITO MAIS PREJUDICIAL DA ACIDEZ

→ **SOLO**: . pH < 5,7 – 5,8  
. Precipita P

## → PLANTA:

- . < absorção P, Ca, Mg, e K
- . Precipita Pi nos tecidos
- . Substitui Ca parede celular (rígida)
  - < cresc. celular
- . Acumula nos núcleos (DNA)
  - < divisão celular

# SINTOMAS DA TOXIDEZ

**RAIZES** – curtas, grossas, pouco ramificadas,  
cor parda

**P. AÉREA** - < crescimento e deficiência de P

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

**LEIA OS DETALHES NA PÁGINA 76**

**GRATO**

**“DEUS OS ABENÇOE”**

**Prof. Faquin e colaboradores**