

# **ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM SOLOS ÁCIDOS**

**José Cambraia**  
[cambraia@ufv.br](mailto:cambraia@ufv.br)  
**31-3899-2594**

**Departamento de Biologia Geral  
Universidade Federal de Viçosa**

# ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM SOLOS ÁCIDOS

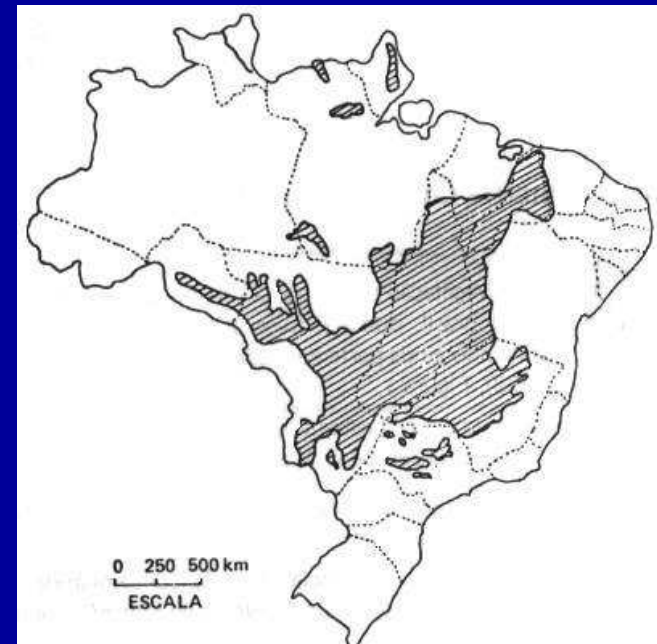
## O PROBLEMA

A utilização de solos ácidos para a produção alimentos é um dos principais desafios da agricultura moderna

**Mundo:** 4 bilhões de ha  
30% da área total  
cultivável

**América do Sul:** 85% dos solos

**Brasil:** 2,05 milhões de km<sup>2</sup>  
23% do seu território



# DEMANDA POR ALIMENTOS X NECESSIDADE DE UTILIZAÇÃO DE SOLOS ÁCIDOS

## Utilização de solos de savanas tropicais O que se faz hoje?

### Vantagens:

- Para reduzir e, ou eliminar totalmente estas limitações impostas pelos solos ácidos e obter condições climáticas adequadas
- produções compensadoras a agricultura moderna tem lançado mão principalmente da aplicação de calcário (FAGERIA; BALIGAR, 2008).

### Desvantagens:

- elevada acidez (pH médio 4,6),
- elevadas concentrações de Al e de Mn
- deficiências de Ca, Mg e P

## **BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO**

- (1) Neutralização da acidez e aumento do suprimento de Ca e Mg**
- (2) Eliminação das toxicidades de Al, Mn e do próprio excesso de prótons**
- (3) Aumento na disponibilidade de P, Mo e de outros minerais**
- (4) Redução nas disponibilidades de Mn, Zn, Cu, Fe e outros metais pesados**
- (5) Redução na lixiviação de cátions**
- (6) Aumento na atividade de microorganismos benéficos**
- (7) Melhora na eficiência de uso de certos minerais**
- (8) Melhora na estrutura do solo, etc**

## **PROBLEMA COM A APLICAÇÃO DE CALCÁRIO**

**Não atinge o sub-solo**

**Não é solução definitiva**

**Gasto que poderia ser evitado ou muito reduzido**

## **FATORES DE ACIDIFICAÇÃO DOS SOLOS**

- (1) Ciclagem incompleta de C, N e, em menor extensão, de S em solos sob cultivo**
- (2) Acúmulo de matéria orgânica não-decomposta, rica em ácidos orgânicos ( $R-COO^-H^+$ )**
- (3) Aplicação de fertilizantes amoniacais**
- (4) Lixiviação de nitrato**
- (5) Outros**

# **ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS EM SOLOS ÁCIDOS**

Mecanismos de absorção, transporte e, ou utilização dos minerais que operam em solos ácidos são exatamente os mesmos de solos "normais", apenas com as atividades modificadas pela acidez e, ou demais fatores inerentes aos solos ácidos.

**Quais são os principais sistemas de absorção de nutrientes minerais?**

# ABSORÇÃO DE NITRATO

**Simporte 1-2H<sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

## a. Sob baixas concentrações externas

**Sistema de transporte de alta afinidade: HATS  
( "High Affinity Transport System" )**

**iHATS                      →                      indutivo**

**cHATS                      →                      constitutivo**

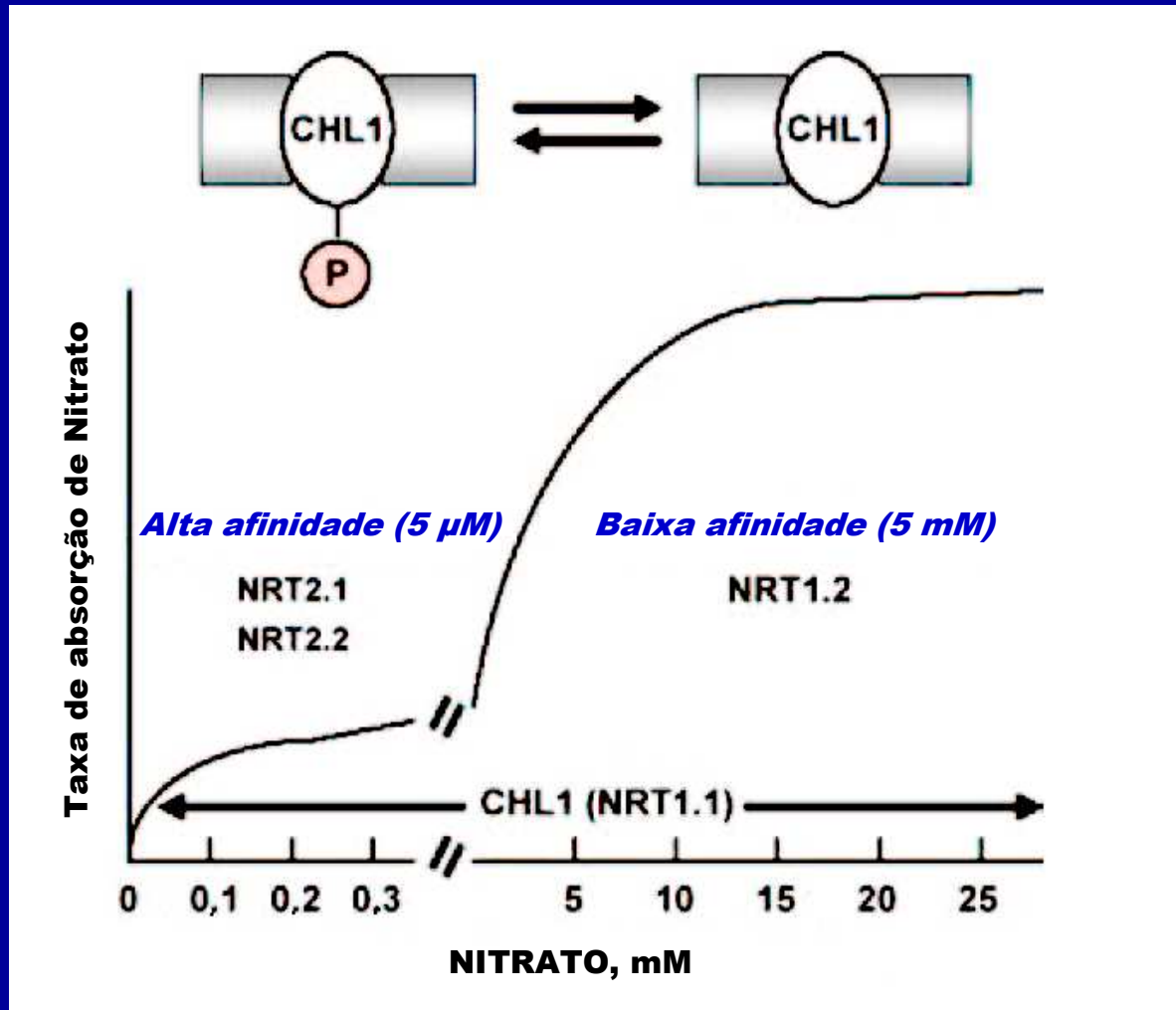
## b. Sob elevadas concentrações externas

**Sistema de transporte de baixa afinidade:  
LATS ( "Low Affinity Transport Sytem" )**

**iLATS                      →                      indutivo**

**cLATS                      →                      constitutivo**

# ABSORÇÃO DE NITRATO



**CHL = clorato  
(análogo de nitrato)**

**CHL1(NRT1.1)  
Mutante resistente a  
clorato**

# ABSORÇÃO DE AMÔNIO

1. Sistema de transporte de alta afinidade, dependente do gradiente protônico

transportadores

Família AMT →  $K_m$  variando de 20 a 40  $\mu\text{M}$

2. Sistema de transporte de baixa afinidade que opera em concentrações mais elevadas e que apresenta características de canais iônicos, provavelmente, um canal de influxo de  $\text{K}^+$ .

## ABSORÇÃO E TRANSPORTE DE FÓSFORO

A principal forma de absorção de P pelas plantas é a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , mas a forma  $\text{HPO}_4^{2-}$  pode, também, ser absorvida

Simporte  $2-3\text{H}^+/\text{H}_2\text{PO}_4^-$

ALCALINIZAÇÃO DO  
MEIO EXTERNO

Transportador de alta afinidade:  $K_m$ : 3-7  $\mu\text{M}$

Transportador de "baixa" afinidade:  $K_m$ : 50-330  $\mu\text{M}$

# ABSORÇÃO DO POTÁSSIO

3 famílias de transportadores: KUP/HAK/KT  
HKT  
CPA

3 famílias de canais (Shaker, TPK e Kir-like)

- Simporte  $H^+/K^+$ : (AtKUP1: *Arabidopsis*; HvHAK1: cevada)

**Sistema de transporte de elevada afinidade**

**Acoplado ao influxo de prótons**

**Absorção em concentrações abaixo de 1 mM**

- Canal iônico: (AKT1; LEBAUDY et al., 2007)

**Sistema de transporte de baixa afinidade**

**Absorção em concentrações acima de 1 mM**



# **FATORES QUE INFLUENCIAM A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS EM SOLOS ÁCIDOS**

**EXCESSO DE PRÓTONS**

**EXCESSO DE ALUMÍNIO**

**EXCESSO DE MANGANÊS**

## **CONSEQUÊNCIAS DA ELEVADA ACIDEZ DOS SOLOS**

- (1) Elevação nas concentrações de Al e Mn, que podem atingir níveis tóxicos**
- (2) Redução nas concentrações de cátions como: Mg, Ca e K, que podem atingir níveis de deficiência**
- (3) Decréscimo nas solubilidades de P e Mo, que podem atingir níveis de deficiência**
- (4) Aumento na lixiviação de certos nutrientes**

## **EM QUE O EXCESSO DE PRÓTONS AFETA A ABSORÇÃO DE ÍONS?**

- (1) Estímulo à absorção de ânions**
- (2) Competição e redução na absorção de cátions**
- (3) Competição com o  $\text{Ca}^{2+}$  por sítios de ligação na parede celular e, ou na membrana plasmática, modificando sua fluidez e, portanto, sua permeabilidade**

# ALUMÍNIO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS

## Solos sob "cerrado"

### Alumínio trocável

**Amplitude: 0,08 a 2,40 meq/100 cm<sup>3</sup>**

**Mediana: 0,56 meq/100 cm**

**Nível crítico: 0,25 meq/100 cm<sup>3</sup> 91%**

### Saturação de Al

**Amplitude: 1,1 a 89,4 sat. Al (%)**

**Mediana: 59,0 sat. Al (%)**

**Valor crítico: 20% (plantas sensíveis) 91%**

**40% (maioria das plantas) 78,6%**

**Forma mais absorvida:  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$**

**Penetração e interações do Al no apoplasto**

**99% fica retido no apoplasto**

- (1) Ligação a grupos carboxílicos de pectinas**
- (2) Formação de fosfato de Al pouco solúvel**
- (3) Ligação a grupos fosfóricos da superfície da membrana**

**Entrada no simplasma**

- (1) Canal de  $\text{Ca}^{2+}$**
- (2) Canal inespecífico de cátions**

## **Interações do Al no simplasma**

- (1) Transformação em íon aluminato  $[Al(OH)_4^-]$**
- (2) Precipitação na forma de fosfato de alumínio**
- (3) Complexação por ligantes orgânicos como ATP, ácidos orgânicos, compostos fenólicos etc,**
- (4) "Sequestramento" na forma de complexo com ácidos orgânicos dentro de vacúolos**

## **PRINCIPAIS EFEITOS DO ALUMÍNIO**

- (1) Inibição do alongamento radicular**
- (2) Interação e modificação na composição, estrutura e funções da parede celular**
- (3) Interação e modificação na composição, estrutura e funções da membrana plasmática**
- (4) Interação com microtúbulos e filamentos de actina, alterando dinâmica do citoesqueleto**
- (5) Interferência em rotas de sinalização**

## **PRINCIPAIS EFEITOS DO ALUMÍNIO**

- (6) Indução à produção de espécies reativas de oxigênio**
- (7) Interferência na fotossíntese, respiração e outros processo metabólicos**
- (8) Indução de morte programada das células**

# **MECANISMOS DE TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO**

## **MECANISMOS DE EXCLUSÃO**

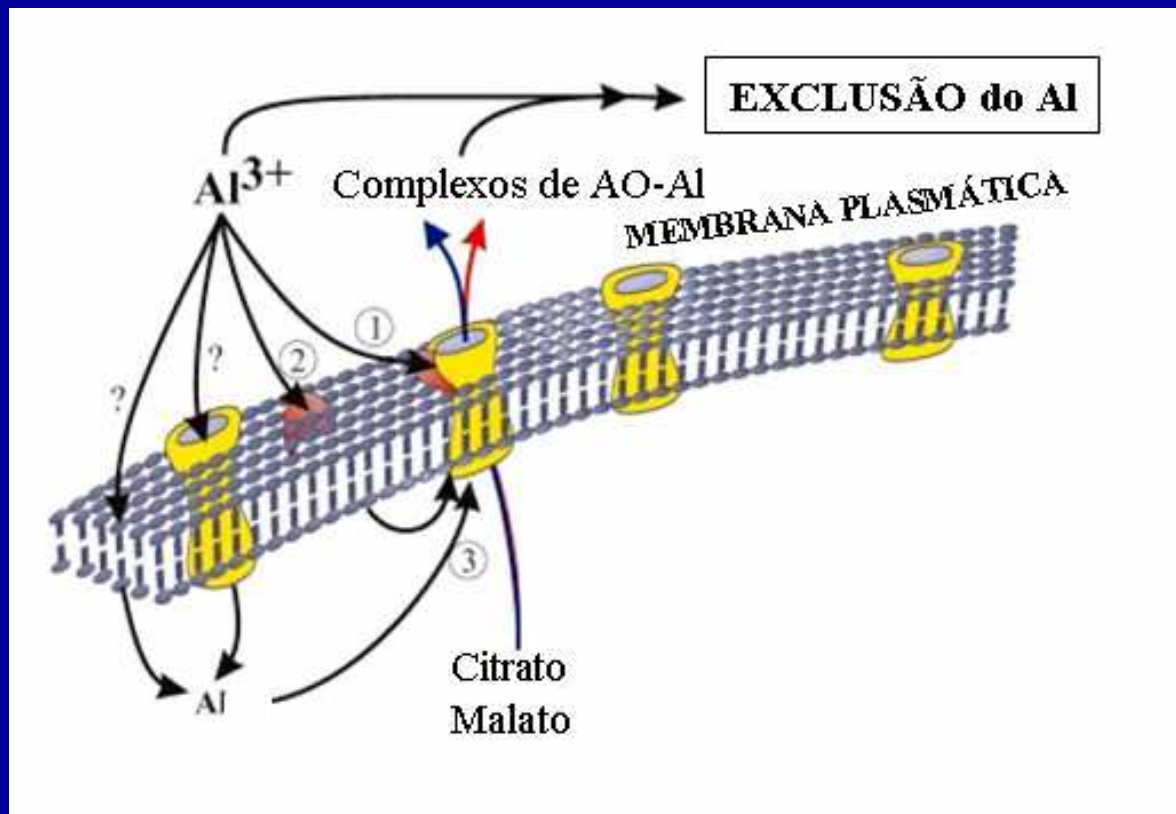
- (1) Imobilização às cargas negativas de ácidos carboxílicos**
- (2) Precipitação na rizosfera**
- (3) Complexação por compostos orgânicos produzidos e exsudados pelas plantas**

## **MECANISMOS DE TOLERÂNCIA INTERNA**

- (1) Imobilização ou complexação por ácidos orgânicos, compostos fenólicos ou outros compostos orgânicos**
- (2) Compartimentação em vacúolos**
- (3) Modificação do metabolismo vegetal para desenvolver tolerância diferencial**

# MECANISMO DE EXCLUSÃO

## Exsudação de ácidos orgânicos

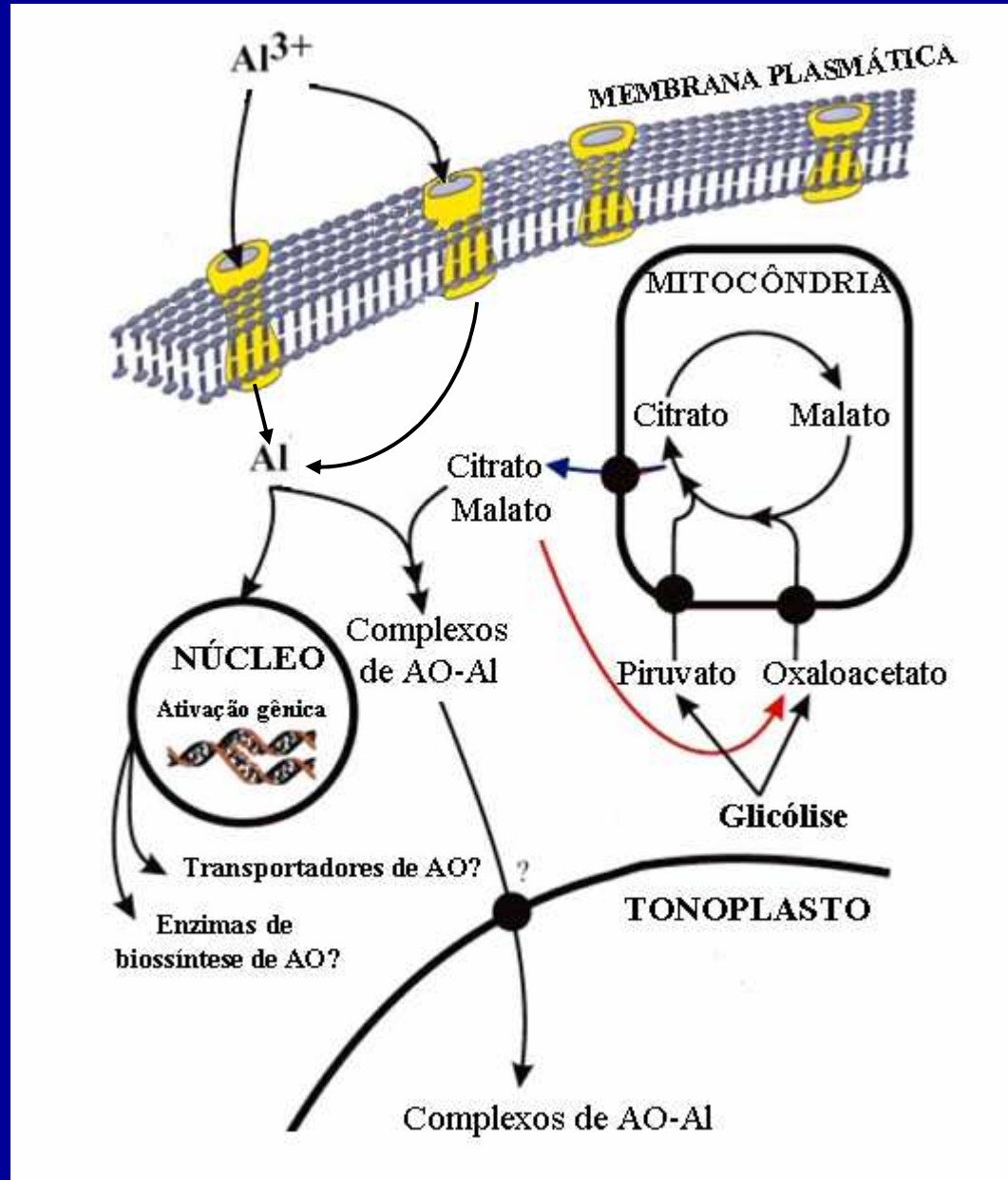


83 genes associados com estresse causado por Al

25 associados com a tolerância

- \* estresse oxidativo
  - \* canais de AO
- HOUDE & DIALLO, 2008)

# DESINTOXICAÇÃO INTERNA DO ALUMÍNIO



# **EFEITOS DO ALUMÍNIO SOBRE A ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES**

**(1) Redução na absorção de macronutrientes: P, K, Ca e Mg (MENDONÇA et al., 2003; PEREIRA et al., 2008) e de diversos micronutrientes: (RENGEL; ROBINSON, 1989 )**

**(2) Interferência na assimilação de macronutrientes**

- a) Interferência na redução e assimilação do nitrato
- b) Interferência na redução e assimilação do sulfato

**(3) Redução na eficiência de utilização de macronutrientes**

# **QUAL O MECANISMO DE TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO?**

**Permanece essencialmente desconhecido!**

**Provavelmente, mais de um mecanismo!**

# COMO O ALUMÍNIO AFETA A ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES?

## DIFICULDADES

- Sistemas de transporte de alguns nutrientes, principalmente micronutrientes, somente agora começam a ser identificados

(2) Muitos destes ST são regulados por vários fatores internos das plantas

**O modo de ação do Al sobre a absorção, assimilação e, ou utilização destes nutrientes deve ser variável e complexo.**

# COMO ALUMÍNIO AFETA A ABSORÇÃO E, OU UTILIZAÇÃO DE MINERAIS?

**1) Impedindo a formação e, ou utilização de ATP e, ou pela formação de complexo com ATP**

**2) Inibindo da H<sup>+</sup>-ATPase**

a) Reduzindo a força próton motiva **Transporte ativo-secundário**

b) Reduzindo o potencial de membrana

**Atividade de canais iônicos**

# COMO O ALUMÍNIO AFETA A ABSORÇÃO E, OU UTILIZAÇÃO DE MINERAIS?

## **3) Modificando a permeabilidade das membranas**

- a) Ligando-se a grupos carboxílicos e, ou fosfóricos na superfície da membrana plasmática
- b) Induzindo estresse oxidativo com a formação de ROS que promove a peroxidação de lipídios da membrana

## **4) Inibindo a atividade de transportadores e, ou de canais iônicos:**

- a) Modificando a afinidade de sistemas de transporte
- b) Competindo com outros minerais por sítios de ligação no transportador ou canal iônico

# MANGANÊS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELAS PLANTAS

**2º fator limitante do crescimento das plantas mais importante em solos ácidos (KOCHIAN et al., 2004)**

## SINTOMATOLOGIA DE TOXIDEZ DE Mn

**Manifesta-se principalmente na parte aérea**

- ☐ Redução de crescimento das plantas**
- ☐ Clorose**
- ☐ Manchas amarronzadas no limbo foliar  
(deposições de Mn<sup>IV</sup> e fenóis oxidados nas paredes celulares)**

**Indução de estresse oxidativo**

## **MECANISMOS DE TOLERÂNCIA AO MANGANÊS**

- 1. Capacidade de manter elevada concentração de ascorbato no simplasma**
- 2. Capacidade manter elevada atividade de enzima antioxidativas nas células foliares**
- 3. Exsudação de ácidos orgânicos para o meio nutritivo externo**
- 4. Transporte do Mn do simplasma para dentro de vacúolos, mediado por um antiporte  $H^+ / Mn^{2+}$**

**O exato mecanismo de tolerância permanece ainda indefinido**

# ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES NA PRESENÇA DE MANGANÊS

Quais os principais efeitos de níveis tóxicos de Mn sobre a absorção de nutrientes?

- 1. reduz a absorção de Ca, Mg, Fe, Zn e Cu** (VENKATESAN et al., 2008; SHI; ZHUA, 2008)
- 2. Causa desequilíbrio nos teores de Fe, K e Ca** (DE VARENNES et al., 2001)
- 3. Reduz a biossíntese de clorofila, levando a uma redução na taxa fotossintética** (MacFIE; TAYLOR, 1992)

# **ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES NA PRESENÇA DE MANGANÊS**

**Como o Mn provoca estes efeitos?**

- (1) Diminuição na disponibilidade de energia metabólica**
- (2) Competição com íons divalentes por sítios disponíveis em seus sistemas de transporte**

## **ALGUMAS CONCLUSÕES**

Os solos ácidos constituem importante fator limitante ao aumento de produtividade das plantas

Solução atual: aplicação de ton. de calcário e fertilizantes  
Onera a produção de alimentos  
Problema para o meio ambiente.

O que se deseja?

- (1) Conhecer os mecanismos de tolerância ao Al e Mn
- (2) Obter plantas mais tolerantes a estes minerais e, ainda assim produtivas

O grande problema:

**Envolvimento de grande número genes  
e a expressão destes genes**

## **PERSPECTIVAS FUTURAS**

### **Utilização de ferramentas da biologia molecular**

- (1) Esclarecer os mecanismos moleculares de tolerância ao Al e Mn**
- (2) Obter plantas mais tolerantes e produtivas**

## AGRADECIMENTOS

- ❑ Colegas e amigos Professores do Programa de Fisiologia Vegetal da UFV
- ❑ Estudantes de Mestrado e Doutorado
- ❑ CNPq