

MICRONUTRIENTES NO SOLO

1. INTRODUÇÃO

- Conceito de micronutrientes
- Ocorrências de deficiências nas culturas
- Comprovação da essencialidade dos micronutrientes:

Fe → final do século XIX

Todos os demais → depois de 1920

Mo em 1939 e Cl em 1954



“Por **micronutrientes** devemos entender aqueles nutrientes que as plantas necessitam em pequeníssimas proporções; são eles: **boro (B)**, **cloro (Cl)**, **cobre (Cu)**, **ferro (Fe)**, **manganês (Mn)**, **molibdênio (Mo)**, **níquel (Ni)** e **zinco (Zn)**.”

Embora as quantidades sejam muito diminutas, nos casos de deficiência muito acentuada as culturas não completam bem seu ciclo vegetativo e, portanto, ou não dão colheita ou produzem muito pouco.” ...

MICRONUTRIENTES - Essencialidade

✓ **Critérios de essencialidade → Arnon e Stout (1939):**

 **Plantas: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn**

Elementos benéficos: Co, Si, Na, Se, V

Animais e humanos: Co, Cu, Cr, F, I, Fe, Mn, Mo, Se e Zn

Equilíbrio dos Micronutrientes no Solo



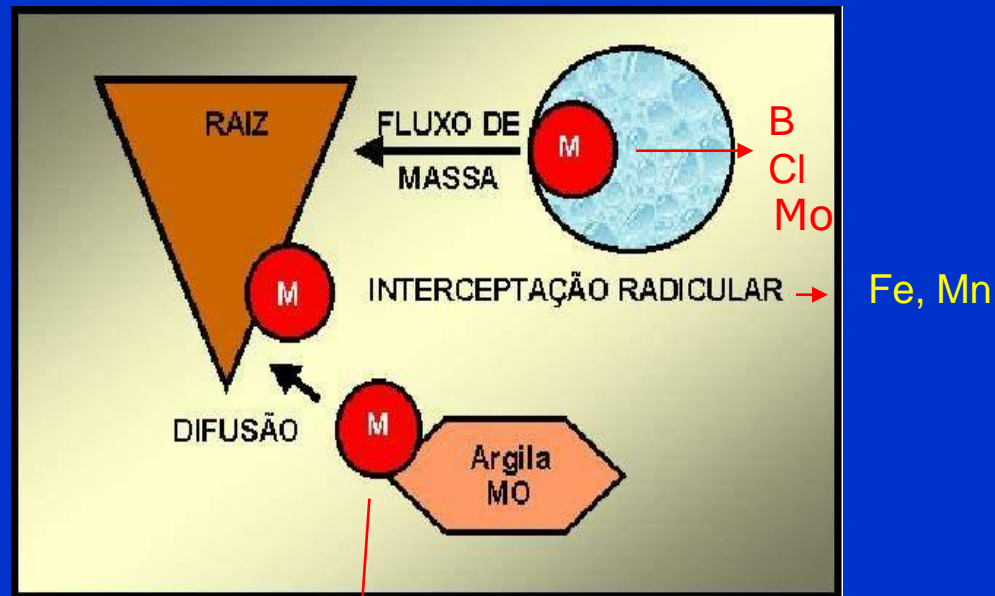
Formas de absorção pelas raízes das plantas

Nutrientes	Formas
Boro (B)	H_3BO_3
Cloro (Cl)	Cl^-
Cobalto (Co)	Co^{2+}
Cobre (Cu)	Cu^{2+}
Ferro (Fe)	Fe^{2+}
Manganês (Mn)	Mn^{2+}
Molibdênio (Mo)	MoO_4^{2-}
Níquel (Ni)	Ni^{2+}
Silício (Si)	H_4SiO_4
Zinco (Zn)	Zn^{2+}

ÂNIONS: $B(OH)_3$, Cl^- , MoO_4^{2-} , $Si(OH)_4$

CÁTIONS: Cu^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Co^{++} , Ni^{++}

ABSORÇÃO: CONTATO ÍON - RAIZ



Micro Metálico: Co, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn

Malavolta, 1976

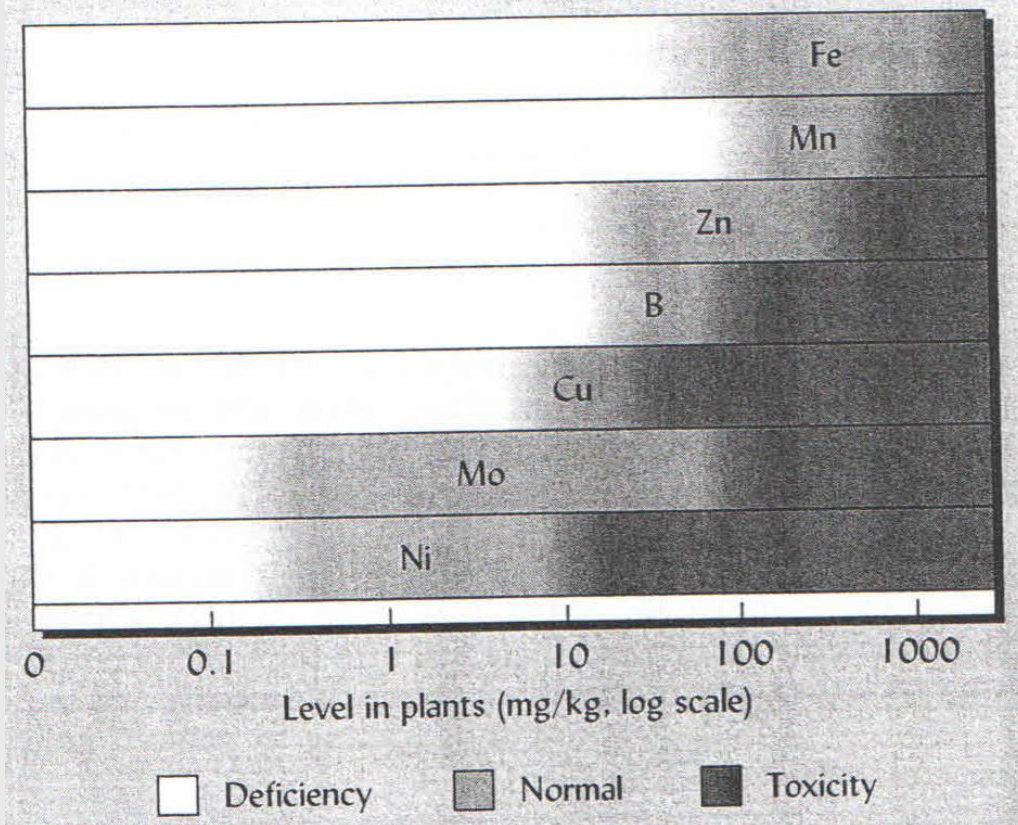
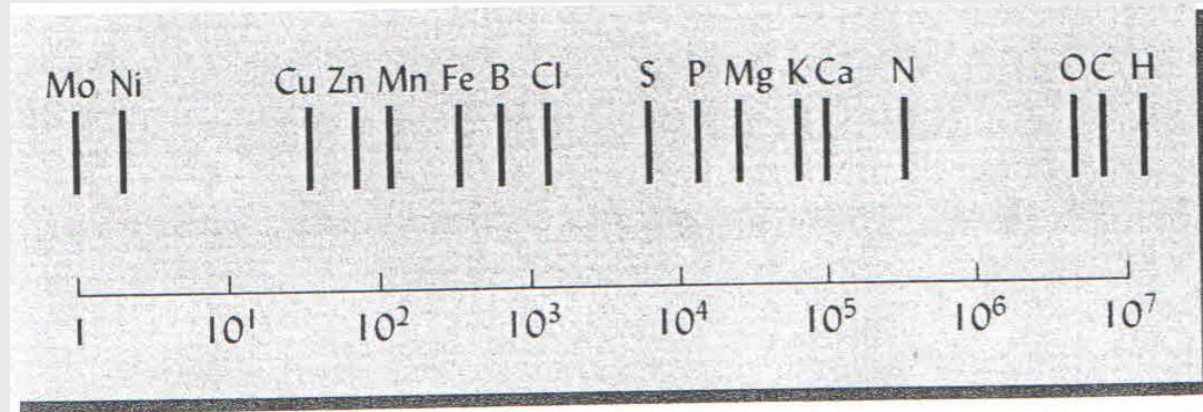
Relação entre o processo de contato e a localização dos fertilizantes

Elem.	Processo de contato			Aplicação de adubos
	Interceptação	Fluxo de massa	Difusão	
-----(% do total)-----				
B	3	97	0	Distante, em cobertura (parte)
Mo	5	95	0	Cobertura
Cu*	15	5	80	Próximos das raízes
Fe*	40	10	50	Próximos das raízes
Mn*	15	5	80	Próximos das raízes
Zn*	20	20	60	Próximos das raízes

Fonte: Malavolta et al, 1997.

* Aplicação Foliar/Aplicação em Mudas

Número relativo de átomos de ele/os essenciais em alfafa



Concentrações de micronutrientes em plantas

2. CONTEÚDO NO SOLO

ELEMENTO		TEOR TOTAL	TEOR DISPONÍVEL
		----- mg kg ⁻¹ -----	
Boro, co	(3,3 a 5%)	2-300	(0,03%)
Mangané	(0,7 a 25%)	20-3.000	(0,3%)
Ferro	(0,1 a 2,5%)	200-100.000	(10%)
Molibdên	(25 a 40%)	0,2-5,0	(0,0005%)
Cloro	(10%)	10-10.000	(1%)

Fe: 4º elemento em abundância na crosta terrestre

Mo: deficiente a $<0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ e tóxico a $>3,0 \text{ mg kg}^{-1}$

Cl: concentrações elevada apenas em solos salinos

3. FORMAS DE OCORRÊNCIA

3.1. Boro

- Minerais primários Turmalina (3,1% de B)
- Matéria orgânica 50 a 200 mg kg⁻¹ de B
- Adsorvido $B_4O_7^{-2}$, $H_2BO_3^-$
- Na solução H_3BO_3 , $H_2BO_3^-$, $B_4O_7^{2-}$

3.2. Cobre

- Minerais primários Calcopirita ($CuFeS_2$)
Bornita ($CuFeS_3$)
- Matéria orgânica Complexos e quelatos
- Adsorvido Cu^{2+}
- Na solução Cu^{2+} e complexos solúveis

3.3. Ferro

- Minerais primários
 - Olivina, hornblenda, biotita
 - Ilmenita (FeTiO_2)
 - Magnetita (Fe_3O_4)
 - Pirita (FeS_2)
- Minerais secundários
 - Goetita (αFeOOH)
 - Hematita (Fe_2O_3)
 - Lepidocrocita (γFeOOH)
 - Óxidos e hidróxidos amorfos
- Matéria orgânica
 - Complexos e quelatos
- Adsorvido
 - Fe^{2+}
- Na solução
 - Fe^{2+} e complexos solúveis

3.4. Manganês

- Minerais primários
 - Pirolusita (MnO_2)
 - Hausmanita (Mn_3O_4)
 - Manganita (MnOOH)
 - Rodocrosita (MnCO_3)
- Minerais secundários
 - Óxidos e hidróxidos
 - Minerais de argila
- Matéria orgânica
 - Complexos e quelatos
- Adsorvido
 - Mn^{2+}
- Na solução
 - Mn^{2+} e complexos solúveis

3.5. Molibdênio

- Minerais primários
 - Olivina
 - Piroxênios
 - Plagioclásios
- Minerais secundários
 - Minerais de argila
- Matéria orgânica
 - Inúmeros comp. orgânicos
- Adsorvido
 - MoO_4^{2-} (adsorção específ.)
- Na solução
 - MoO_4^{2-}

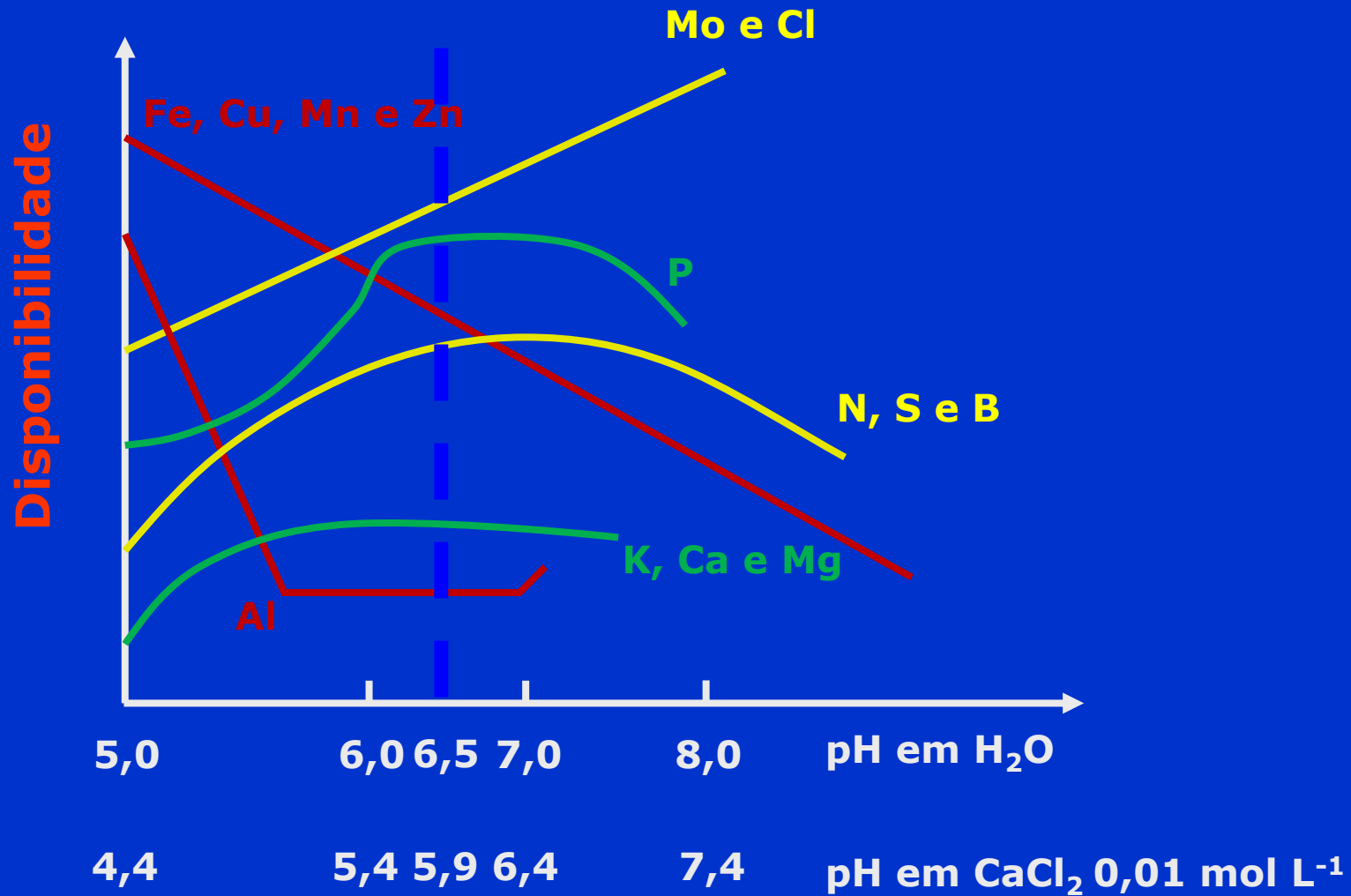
3.6. Zinco

- Minerais primários
Olivina, Hornblenda,
Biotita, Augita, Magnetita
- Minerais secundários
Fosfatos, Carbonatos
Hidróxidos
Zincato de cálcio
[CaZn(OH)₄]
- Matéria orgânica
Complexos e quelatos
- Adsorvido
Zn²⁺
- Na solução
Zn²⁺ e complexos solúveis

3.7. Cloro

- | | |
|------------------------|---|
| - Minerais primários | Cloroapatita
Sodalita |
| - Minerais secundários | Minerais de argila |
| - Adsorvido | Cl ⁻ (adsorção não específ.) |
| - Na solução | Cl ⁻ (sais solúveis) |

Disponibilidade dos elementos em função do pH



Calagem

CÁTIONS - Fe^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Co^{++} → Diminui disponibilidade

ÂNIONS - MoO_4^- e Cl^- → Aumenta a disponibilidade

$\text{H}_3\text{BO}_3 \Rightarrow$ Efeito quadrático



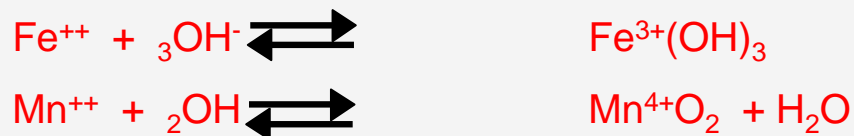
Calagem

1) CÁTIONS

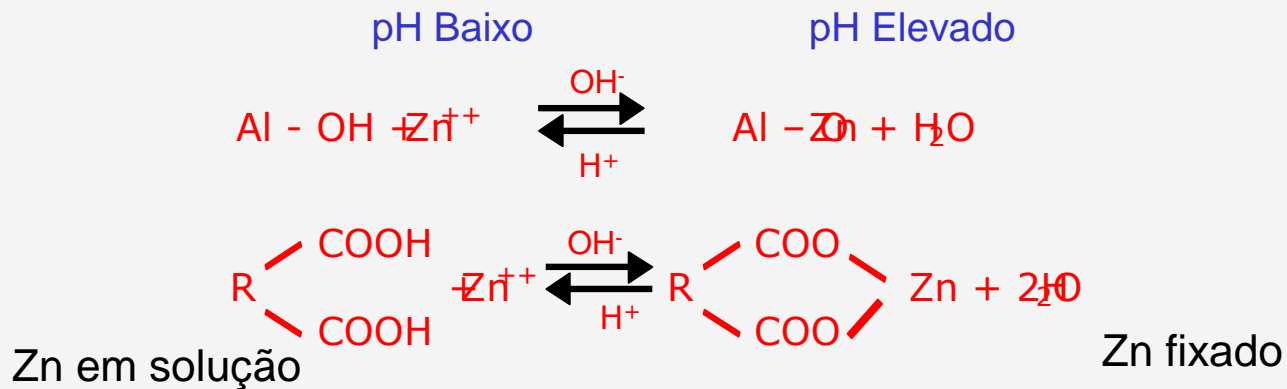
A elevação do pH provoca a diminuição na disponibilidade

Mecanismos:

(1) Precipitação pelo OH⁻ na solução do solo



(2) Fixação ↑ Adsorção específica na fração coloidal do solo (Zn, Cu, Mn e Co)



Calagem

2) ÂNIONS

Boro

pH Baixo - Menor teor do boro disponível

- Falta de mineralização da matéria orgânica
(1ª Fonte de Boro do solo)

pH Elevado - Menor teor de boro disponível

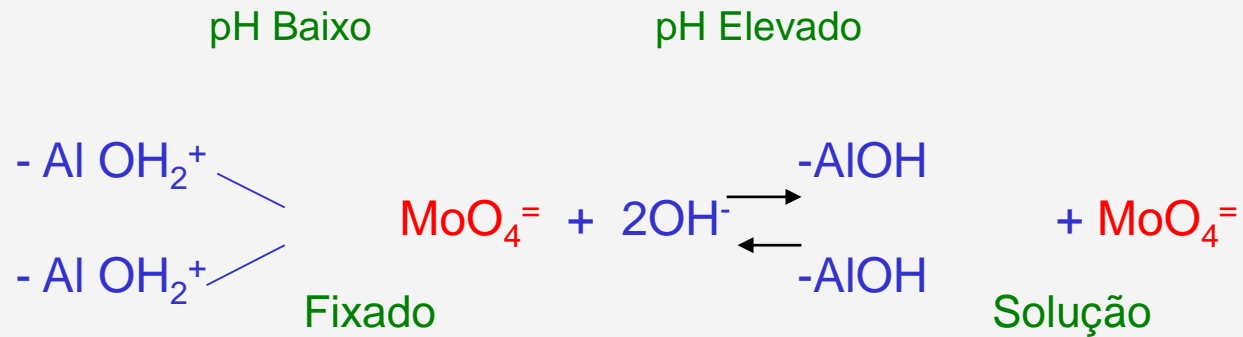
- Maior Lixiviação (H_2BO_3^-) pela redução da CTA do solo
- Aumento da relação Ca/B

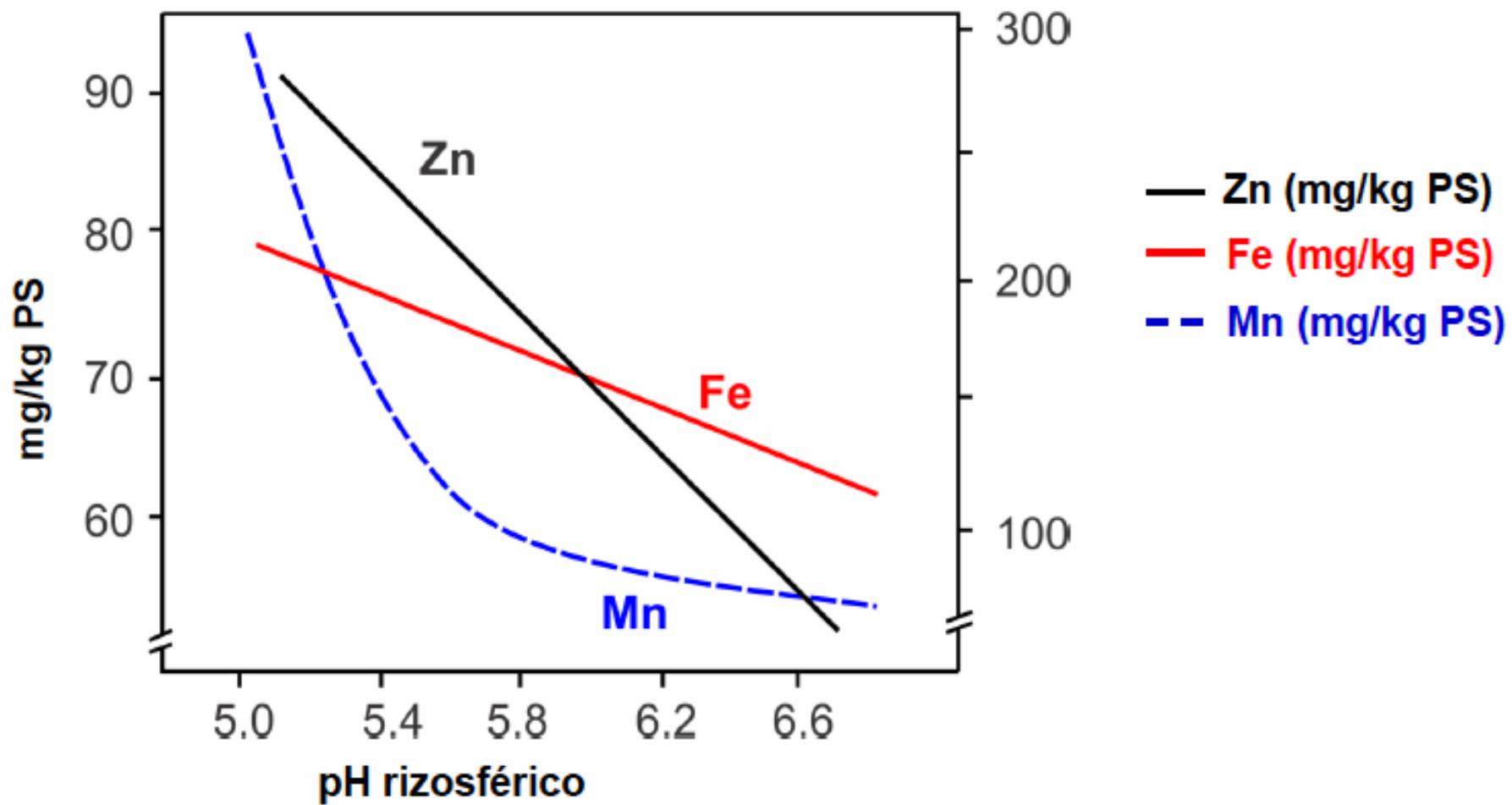
Calagem

2) ÂNIONS

Molibdênio e Cloro

A disponibilidade aumenta com a elevação do pH





4. CONDIÇÕES PARA DEFICIÊNCIA

4.1. Material de origem

Maior probabilidade de deficiência:

Boro:

Ígneas básicas > Ígneas ácidas > Sedimentares

Demais:

Sedimentares > Ígneas ácidas > Ígneas básicas

4.2. Reação do solo (pH)

ELEM.	CONDIÇÃO PARA DEFICIÊNCIA	CAUSA
B	pH baixo	Perdas por lixiviação
Mo	pH baixo	Precipit. como óxidos Maior adsorção aos óxidos de ferro
Fe	pH elevado	Precipit. como óxidos e hidróxidos
Mn	pH elevado	Precipit. como óxido (MnO_2)
Cu	pH elevado	Precipit. como óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfatos e fosfatos
Zn	pH elevado	Precipit. como carbonato, hidróxido ou zincato de cálcio

4.3. Teor de matéria orgânica

- Boro

Quando teor de MO é muito baixo

Causa: a MO é fonte de boro

- Cobre

Em solos orgânicos

Causa: forte complexação do Cu pela MO

4.4. Secas prolongadas

- Boro

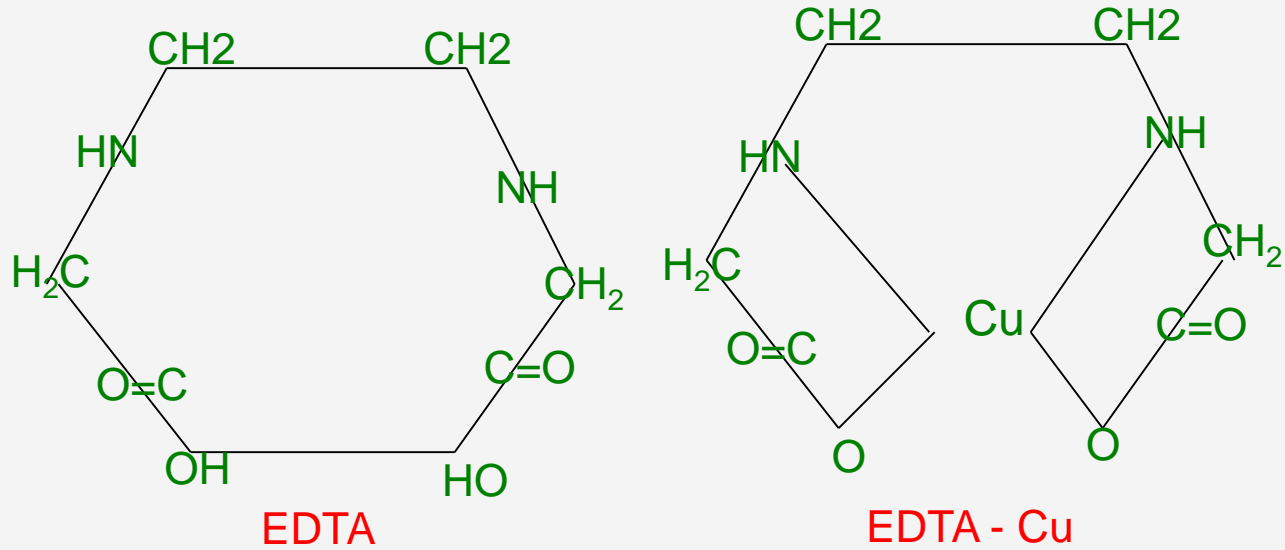
Causa: paralização da decomposição da MO

4.5. Solos arenosos de regiões úmidas

- **Todos** → Causa: perdas elevadas por lixiviação

Plantio Direto

Formação de Quelados pelo aumento da matéria orgânica

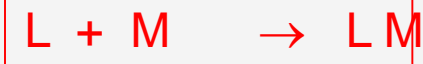


Plantio Direto

Ordem de estabilidade dos quelados

Cu > Fe > Co > Zn > Mn

$$K = \frac{[LM]}{[L][M]}$$



L = Agente quelante

M = Cátion Metálico

LM = Quelato

5. CONDIÇÕES PARA TOXIDEZ:

5.1. Boro

Condições

- Solos provenientes de rochas ricas em B situados em regiões áridas (pH alto)

Controle

- Aplicação de gesso (forma borato de Ca insolúvel)
- Adubação fosfatada pesada (precipita o B)
- Aplicação de S e irrigação abundante



5.2. Cobre

Ocorrência de toxidez pouco provável

Condições

- Solos ácidos tratados com fertilizantes, defensivos ou resíduos ricos em cobre
- Uso prolongado de calda bordaleza (CuSO_4)

Controle

- Calagem
- Aplicação de fertilizantes orgânicos
- Aplicação de fosfato (precipita o cobre)



5.3. Ferro

Condições

- Solos ácidos
- Solos mal drenados (formação de reboleiras nas depressões do terreno) ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$)

Controle

- Calagem
- Drenagem



5.4. Manganês

Condições

- Solos ácidos (pomares adubados com sulfato de amônio)
- Solos mal drenados ($\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$)
- Solos tratados com resíduos contendo Mn (ex: lodo de esgoto)

Controle

- Calagem
- Drenagem



5.5. Molibdênio

Condições

- Solos alcalinos (toxidez pouco comum em plantas e mais frequente em animais, causando doença chamada molibdenose)

Controle

- Aplicar S para baixar o pH

5.6. Zinco



Condições

- Solos ácidos formados de material de origem rico em zinco
- Solos tratados com resíduos contendo Zn (ex: lodo de esgoto)

Controle

- Calagem
- Adubação fosfatada (precipita o Zn como fosfatos de zinco)

5.7. Cloro

Condições

- Muito especiais (solos salinos, próximos ao litoral)
- Raramente ocorre porque as plantas têm alta tolerância ao cloro (o KCl possui 45% de Cl)

Controle

- Irrigação abundante com água sem cloro
- Aplicação de S se o pH for alto

6. EXTRATORES PARA DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS MICRONUTRIENTES NO SOLO

- **B** Água quente
- **Cu, Fe, Mn e Zn** DTPA (ácido dietilenotriamínico-pentacético)
- **Mo** Oxalato de amônio