

ADUBAÇÃO FOLIAR

Conceito

Fornecimento de nutrientes para as plantas na forma de pulverização, aproveitando a capacidade de absorção pelas folhas.

Bons resultados podem ser obtidos através da adubação foliar quando se consegue aplicar o nutriente necessário no local adequado, na época certa, na quantidade correta e ainda se dispuser de tempo suficiente para a absorção (Rosolem, 1992).

ADUBAÇÃO FOLIAR

→ DEFINIÇÃO

- ↙ Aplicação de nutrientes em solução ou suspensão na parte aérea das plantas, visando **suplementar** e/ou **complementar** a nutrição da planta, principalmente nos períodos de grande consumo de nutrientes e, assim, favorecer o **equilíbrio nutricional**;
- ↙ Prática que objetiva o fornecimento de **micro- e macronutrientes** secundários, evitando-se, desta forma, os problemas que limitam o fornecimento via solo;

Objetivos

Correção imediata das deficiências, servindo como complemento da adubação via solo.

a) Micronutrientes

- ◆ Pequenas quantidades no solo
- ◆ Reduzida eficiência da aplicação via solo.

b) Macronutrientes

Complemento da adubação via solo, visando fornecer estes nutrientes em épocas de elevada exigência.

ADUBAÇÃO FOLIAR x VIA SOLO

Vantagens:

- a) Alto índice de utilização dos nutrientes via foliar
- b) Doses totais em geral são menores
- c) Respostas rápidas (adubação de salvação)
- d) Deficiências de micronutrientes metálicos em pH elevado

Desvantagens:

- a) Custo alto de aplicação (pode ser reduzido quando aplicado conjuntamente com o tratamento fitossanitário e herbicidas de pós-emergência);
- b) Efeito residual menor;
- c) Problemas de compatibilidade e antagonismo.

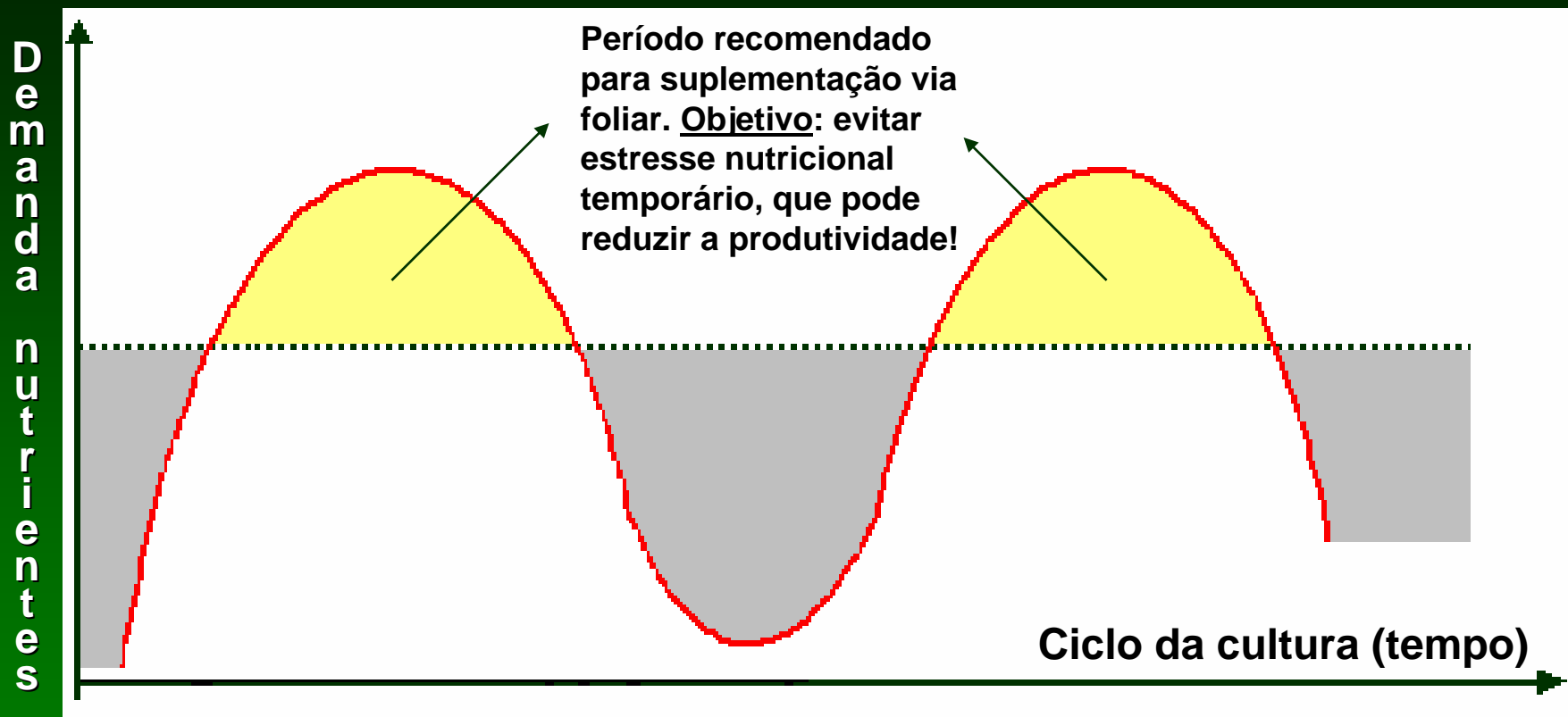
2.3. Formas absorvidas pelas plantas

NUTRIENTE	FORMAS
BORO (B)	$H_3BO_3, H_2BO_3^-$
CLORO (Cl)	Cl^-
COBRE (Cu)	Cu^{++}
FERRO (Fe)	Fe^{++}, Fe^{+++}
MANGANÊS (Mn)	Mn^{++}
MOLIBDÊNIO (Mo)	$MoO_4^{=}$
ZINCO (Zn)	Zn^{++}
COBALTO (Co)	Co^{++}

ÂNIONS: B, Cl^- , $MoO_4^{=}$

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

FLEXIBILIDADE: APLICAÇÃO ÉPOCA DE MAIOR DEMANDA



— Variação por demanda de nutrientes ao longo do ciclo vegetativo da cultura

..... Quantidade de nutriente fornecida pelo solo ao longo do ciclo vegetativo **

■ Solo supre demanda

■ Solo não supre demanda

FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR

PLANTA	MEIO AMBIENTE	SOLUÇÃO
Tipo de cutícula	Temperatura	Concentração
Idade da folha	Luz	Dose
Número de estômatos	Fotoperíodo	Aplicação
<u>Presença de tricomas</u>	Intensidade do vento	Forma química
Turgor	UR	Adjuvantes
Umidade superficial	Seca	pH
CTC	Horário	Polaridade
Estado nutricional	Estresse nutricional	Higroscopicidade
Estádio de crescimento		Interações

Fonte: Camargo & Silva, 1975; Malavolta, 1980; Rosolem, 1984; Boaretto & Rosolem, 1989.

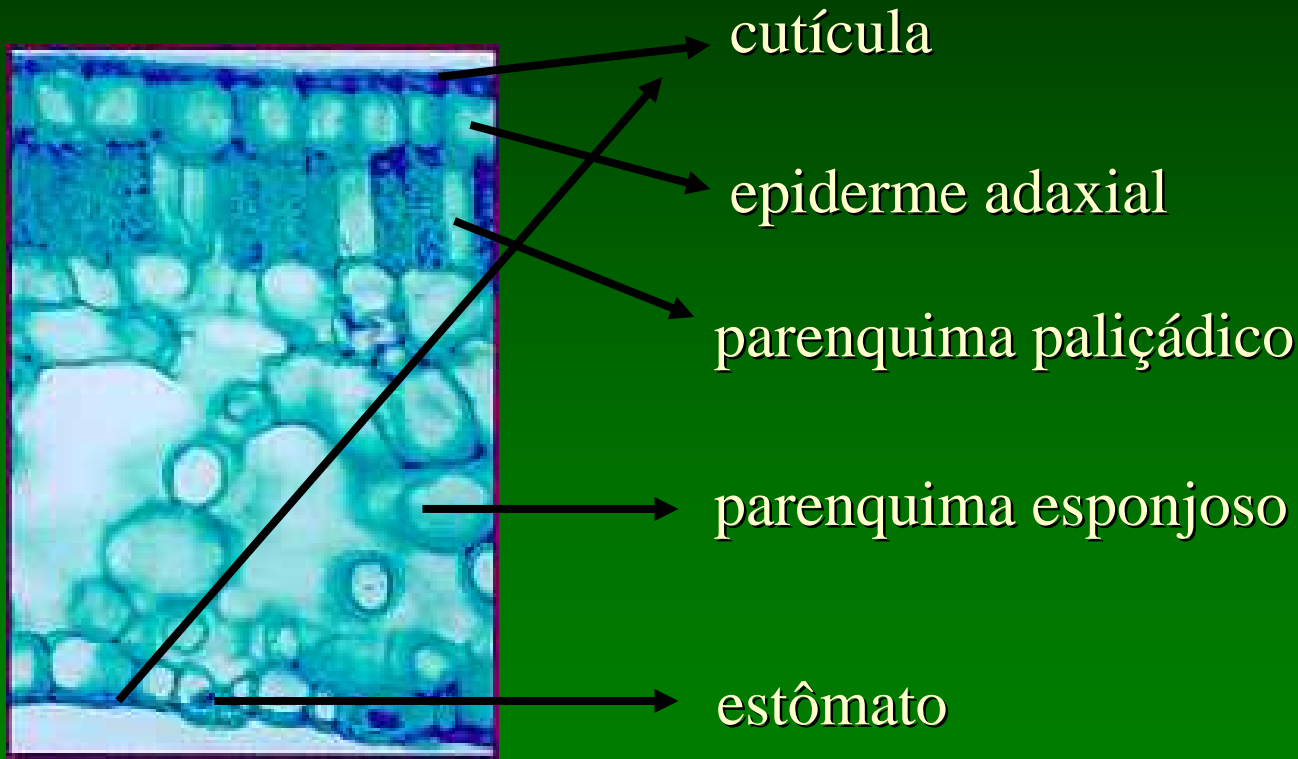
DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS

→ DEFICIÊNCIA INDUZIDA

- ↙ Práticas culturais falhas;
- ↙ Emprego inadequado de nutrientes/fertilizantes;
- ↙ Falta ou excesso de chuva;
- ↙ Problemas físicos do solo;
- ↙ Pragas e/ou doenças do sistema radicular.

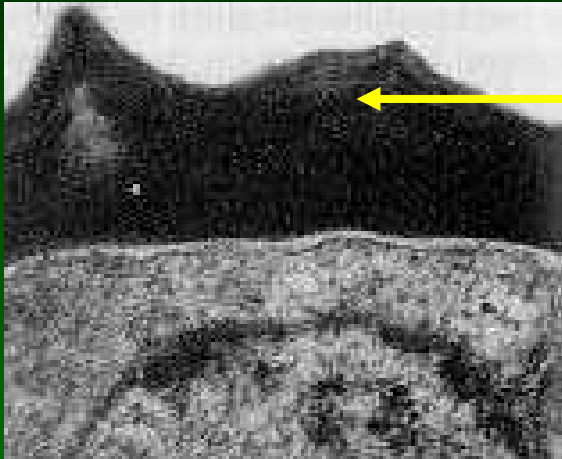
2.4. Mecanismos de absorção

2.4.1. Constituição da lâmina foliar

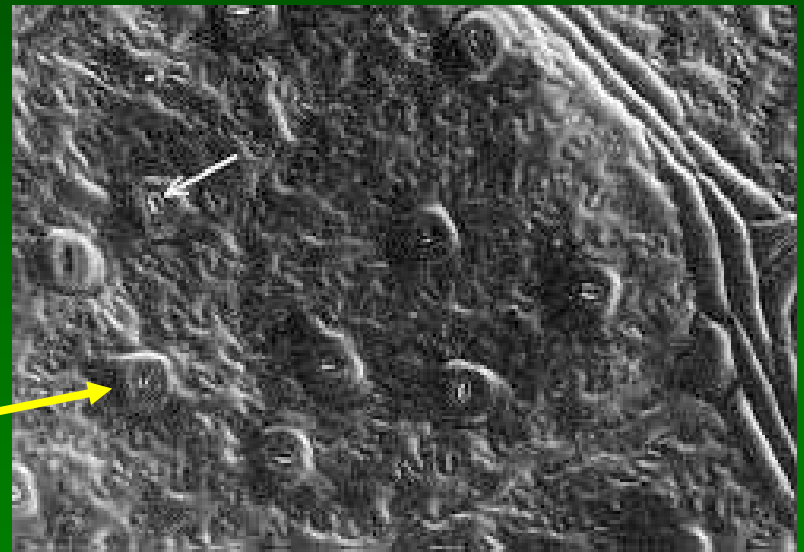


Corte do limbo foliar

Detalhamento da cutícula



Cutícula



Estômatos

Face inferior do limbo
foliar de feijão

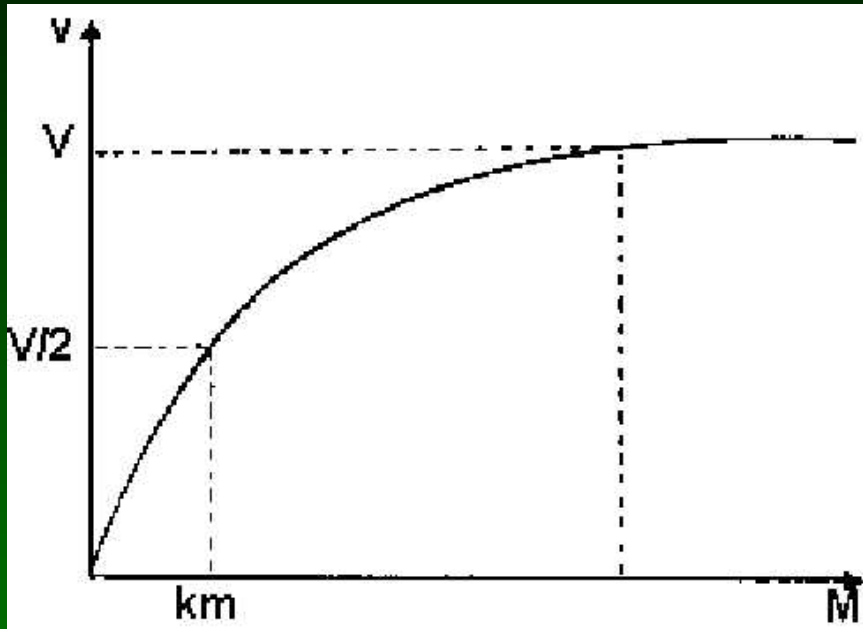
Penetração cuticular

- A cutícula cobre toda a superfície da folha, incluindo os estômatos e os tricomatos. A mesma, compõe desta forma, a primeira barreira a absorção foliar (Sitte & Rennier, 1963).
- Há dúvidas no que diz respeito a importância dos estômatos na absorção foliar, uma vez que os mesmos cobrem apenas de 0,26 a 0,84 % da superfície foliar conforme as espécies. Para contar com este tipo de absorção através dos estômatos, como são pequenos, a solução deve ser de muito baixa tensão para que haja absorção (Audus, 1976).

Absorção celular

➤ Após a penetração pela cutícula os nutrientes se acumulam no “espaço livre aparente”, externamente às células. As paredes celulares oferecem pouca resistência aos íons, mantendo um fluxo entre o exterior e o interior da célula por meio aquoso, no qual os íons se encontram. A absorção por células foliares assemelha-se à de células radiculares (Malavolta, 1980).

c) concentração da solução



Curva de absorção iônica em função de concentração externa do substrato

Altas concentrações:

- * maior velocidade de absorção
- * maior custo
- * pode causar toxidez do nutriente

Velocidade de absorção foliar dos nutrientes

Nutriente	Tempo de absorção	Nutriente	Tempo de absorção
Uréia	1/2 a 2 horas	Cl	---- dias --- 1 a 4
K	10 a 24 horas	P	5 a 10
Mg	10 a 94 horas	S	5 a 10
Ca	1 a 2 dias	Fe	10 a 20
Mn	1 a 2 dias	Mo	10 a 20
Zn	1 a 2 dias		

$N_{(uréia)} > K > Mg > \text{Demais Nutrientes}$

Mobilidade de redistribuição dos elementos na planta

Altamente móveis	Móveis	Parcial/móveis	Imóveis
N ↓	P ↓	S ↓	Ca ↓
K ↓	Cl ↓	Zn ↓	B ↓
Na ↓	Mg ↓	Cu ↓	
		Mn ↓	
		Fe ↓	
		Mo ↓	

Obs.: Ordem decrescente de translocação dentro da coluna

Formas transportadas dos elementos no xilema

Elemento	Formas transportadas
N	NH_4^+ , NO_3^- , amidas, açúcares
P	H_2PO_4^- , nucleotídeos, ésteres de carboidratos
K, Ca, Mg	K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}
S	SO_4^{2-} , cisteína, cistina
B	H_3BO_3 , boratos, aril boratos
Cu	Cu^{2+} , complexos, quelados
Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+} , Fe-citrato
Mn	Mn^{2+} , Mn-quelados
Mo	HMoO_4^- , Mo-aminoácidos
Zn	Zn^{2+} , Zn-quelados

FATORES QUE INFLUENCIAM A ADUBAÇÃO FOLIAR

1. Fatores externos:

- ângulo de contato da gota com a superfície da folha;
- temperatura e umidade do ar;
- concentração da solução;
- composição da solução;
- ânion acompanhante;
- pH da solução;
- luz;

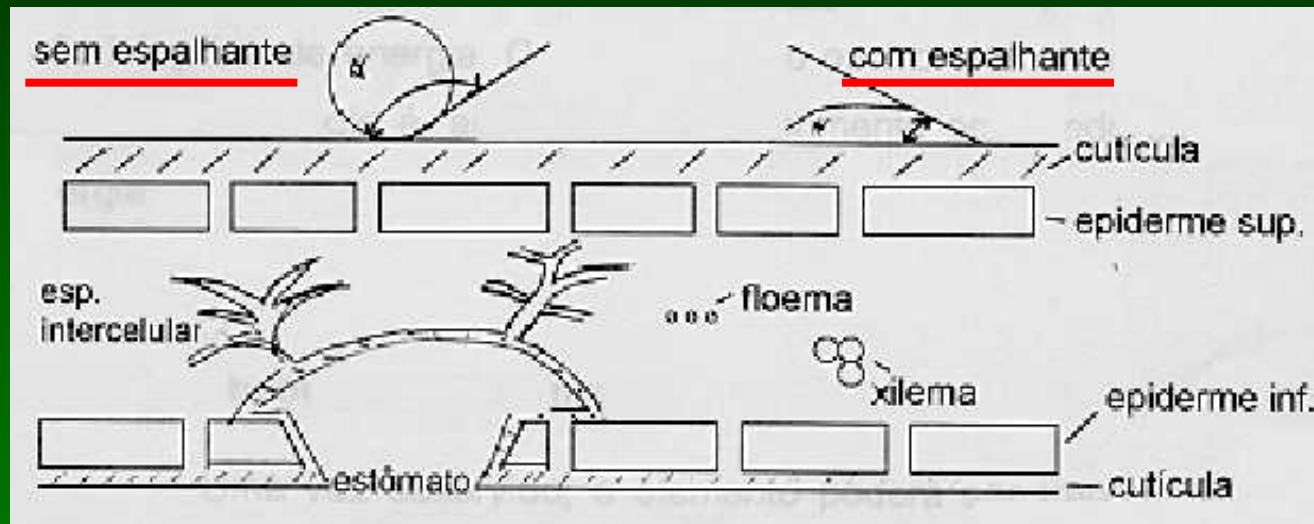
2. Fatores Internos:

- estado iônico interno;
- superfície da folha;
- idade da folha.

Fatores externos

a) ângulo de contato da gota com a superfície da folha

É função: da superfície foliar e da tensão superficial do produto



* $< \theta$ o ângulo $\implies >$ a superfície molhável

Soluções

- * Utilização de espalhantes e adesivos
- * Utilização de bicos que proporcionem gotas menores

b) temperatura e umidade do ar

Altas temperaturas

- * Secamento da solução aplicada**
- * Pode causar toxidez na superfície das folhas**

Alta umidade do ar

- * Redução da absorção foliar, devido ao menor contato do produto com a superfície da folha**

d) composição da solução

Velocidade em função do elemento em solução

$\text{N(uréia)} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Mn} \sim \text{Zn} > \text{Cl} > \text{P} \sim \text{S} > \text{Fe} \sim \text{Mo}$

Velocidade em função da forma fornecida

$\text{CO(NH}_2)_2 > \text{NO}_3 > \text{NH}_4$

e) ânion acompanhante



Decresce a absorção

* Antagonismo:

Cu ou B reduziu em 50% a absorção de Zn aplicado em folhas de café

pH de solução X absorção foliar

➤ Um aspecto importante é que Shu et al. (1991) determinaram que a absorção de B foi máxima em pH 7 a 8. Este pH é próximo ao melhor pH para absorção de Zn, mas em soluções multi-nutrientes podem ocorrer problemas, pois a uréia (Rosolem et al., 1990), o fósforo e potássio (Rosolem, 1984) e cálcio (Chamel, 1988) são melhor absorvidos em pH bem mais baixo.

f) pH da solução

Efeito sobre a carga (+ ou -) do elemento na parede celular

- Cátions em geral ==> maior absorção em pH 5,0 e 6,0
- H_2PO_4 ==> maior absorção em pH baixo (pH = 4,0)

Problema:

Aplicação simultânea de vários nutrientes na forma de sais

g) Luz

Fonte de energia

- * maior absorção**
- * maior translocação**

Fatores internos

a) estado iônico interno

A absorção foliar ocorre por difusão

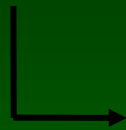
Logo;

maior [] iônica interna \implies menor absorção

menor [] iônica interna \implies maior absorção

b) superfície da folha

*** Cutícula menos delgada na superfície inferior**



maior velocidade de absorção

c) idade da folha

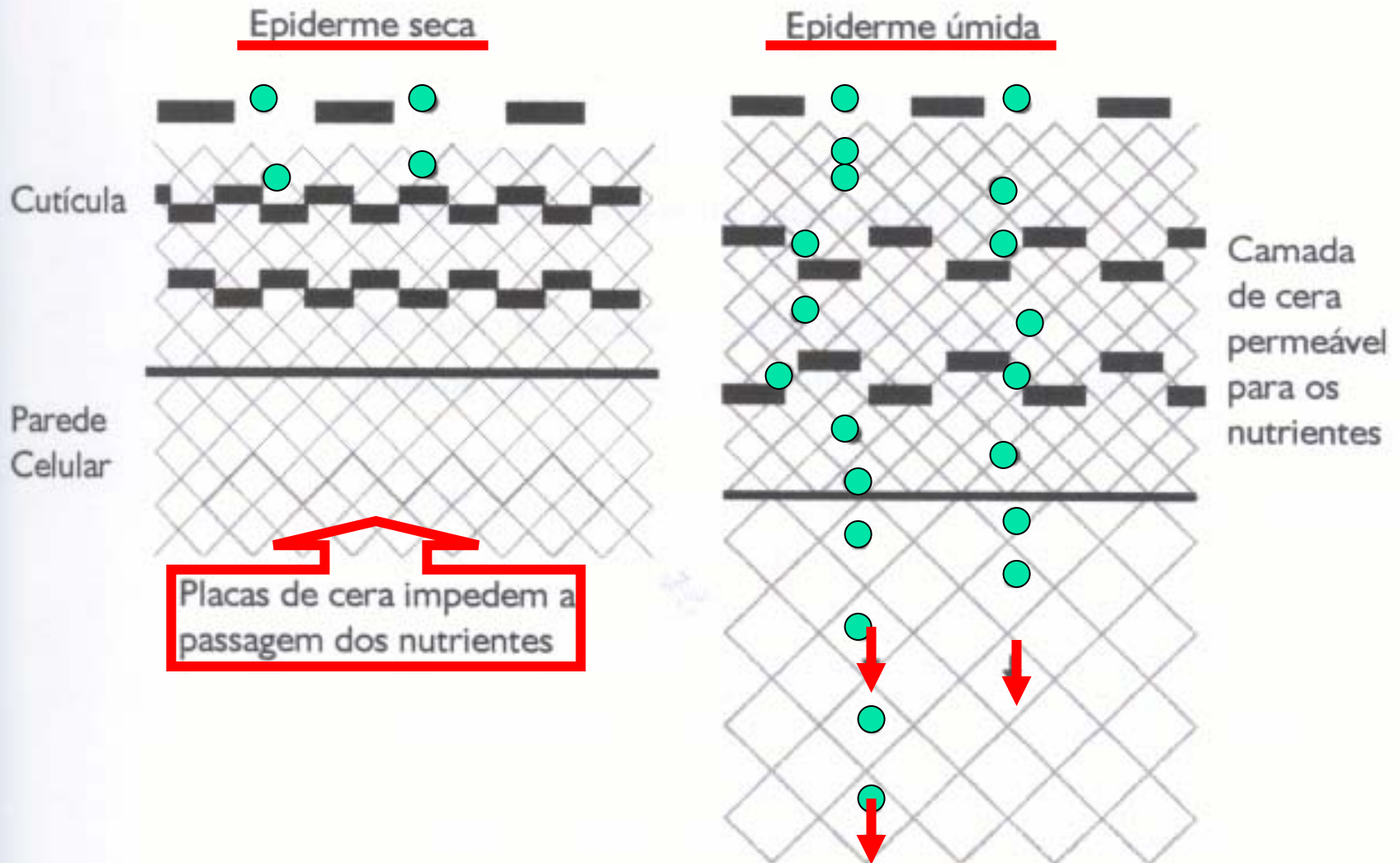
Maior velocidade de absorção nas folhas mais novas.

*** maior metabolismo**

*** menor espessura da cutícula**

FERTILIZAÇÃO FOLIAR

ABSORÇÃO FOLIAR



Absorção e Transporte

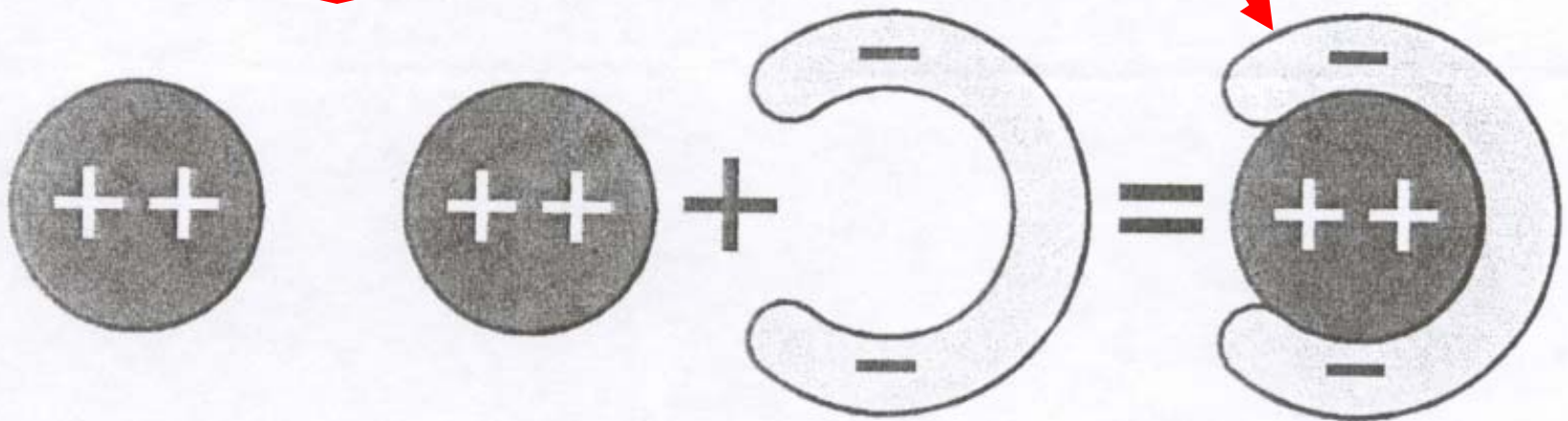
- Um nutriente é considerado absorvido quando está dentro da célula. A absorção foliar compreende uma fase passiva (penetração cuticular) e uma fase ativa (absorção celular).
- Para que se obtenha bons resultados, geralmente o nutriente precisa ser translocado para locais de maior demanda dentro da planta (Rosolem, 1992).
- Normalmente o transporte dos macronutrientes como N, P e K é muito mais intenso que o dos micronutrientes. Desta forma, o transporte dos micronutrientes geralmente é melhorado quando estão em formas quelatizadas (Rosolem, 1992).

QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

Quelatação

Não quelatizado

Quelativado



QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

→ POR QUE A QUELATIZAÇÃO EM FERTILIZANTES FOLIARES?

- ↳ Tornar as formulações estáveis (**eliminação da reatividade** dos nutrientes metálicos em solução);
- ↳ Facilitar a entrada dos nutrientes pela cutícula e paredes celulares através da eliminação da **carga elétrica positiva** (reatividade);
- ↳ Quelatação significa: *absorção maior e mais rápida*;
- ↳ Proteção dos nutrientes que caem no solo: os **elementos quelatizados ficam na solução do solo**.

QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

→ TIPOS DE QUELATOS

↳ Quelatizantes Ácidos (Ácidos Orgânicos):

- ★ Ácido Cítrico
- ★ Ácido Fenólico
- ✱ Ácido Málico
- ✱ Ácido Glutâmico
- ⊞ Ácido Glucônico

↳ Quelatizantes Aminados:

- ★ NTA
- ★ DTPA
- ✱ EDTA
- ✱ EDDHA
- ⊞ Outros...

QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

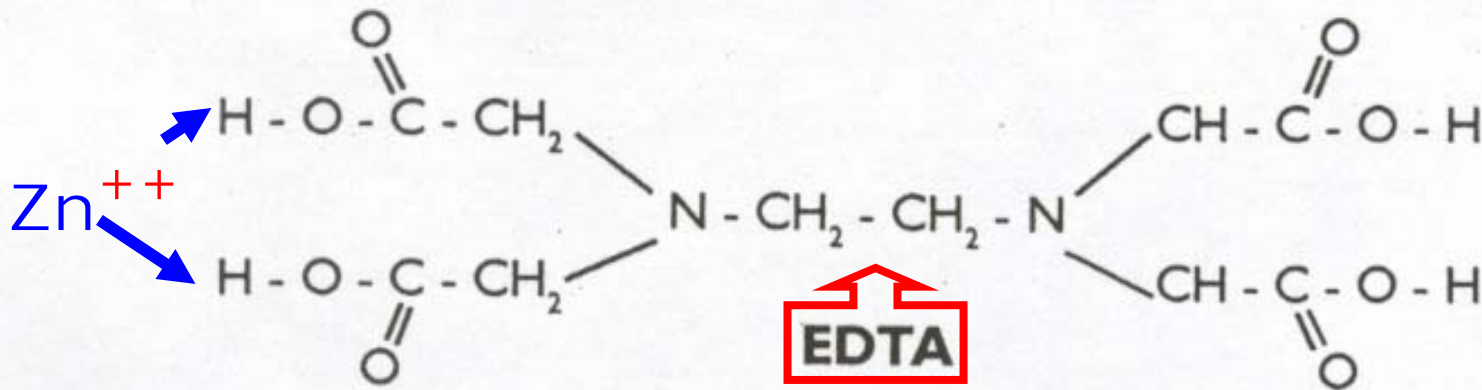
→ TIPOS DE QUELATOS (cont.)

↳ Outros quelatizantes:

- ★ Sulfonatos de lignina (lignossulfonato)
- ★ Açúcar e melão
- ★ Poliflavonóides modificados
- ★ Ésteres de acrilossilicatos de sódio
- ⊞ Outros...

QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

→ A FÓRMULA ESTRUTURAL DO EDTA



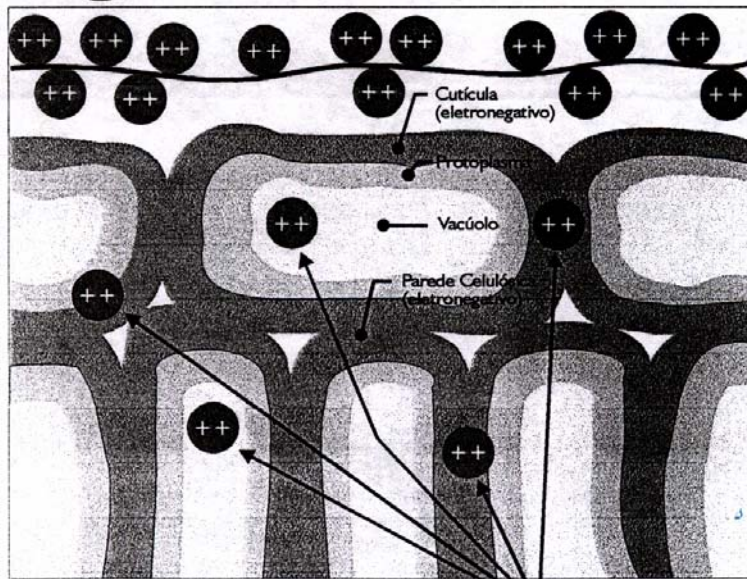
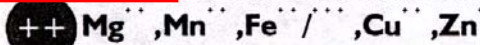
QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

Absorção Foliar de Elementos Menores

A absorção foliar de elementos menores

Não quelatizados

Os elementos menores metálicos estão carregados positivamente:



Íons ativos

Menor absorção

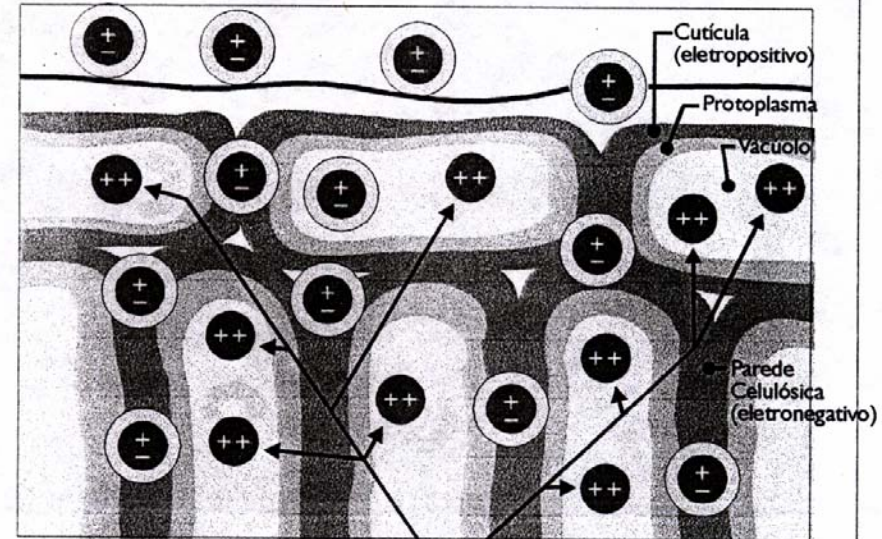
→ SEM QUELATIZAÇÃO

Quelatizados

Íon metálico (eletropositivo)

Colóide protetor (eletropositivo)

Íon metálico quelatizado (neutro)



Quelatização significa:
absorção maior e mais rápida

Íons ativos

Maior absorção

→ COM QUELATIZAÇÃO

Absorção X Translocação através de quelatos

* Ferro

FORMA APLICADA	% ABSORVIDO (DO APLICADO)	% TRANSLOCADO (DO ABSORVIDO)
Sulfato	0,9 b	7,1 c
EDTA	19,9 a	26,8 a
EDDHA	15,0 a	19,4 b
DTPA	14,1 a	22,0 ab

Absorção X Translocação através de quelatos

* Manganês

FORMA APLICADA	% ABSORVIDO (DO APLICADO)	% TRANSLOCADO (DO ABSORVIDO)
Sulfato	20,8 b	1,5 b
EDTA	26,9 ab	7,9 a
EDDHA	24,6 ab	1,8 b
DTPA	34,1 a	1,6 b

Absorção X Translocação através de quelatos

* Zinco

FORMA APLICADA	% ABSORVIDO (DO APLICADO)	% TRANSLOCADO (DO ABSORVIDO)
Sulfato	4,4 c	7,7 a
EDTA	24,5 b	10,6 a
EDDHA	3,7 c	10,0 a
DTPA	5,7 a	7,5 a

Segundo Wallace (1996), as culturas necessitam receber 5 a 10 vezes mais Zn quando se opta por um sal inorgânico em lugar de um quelato, ou seja, os quelatos de Zn são muito mais disponíveis e absorvidos por unidade aplicada do que as formas inorgânicas.

Tabela . Comparação de adubos foliares orgânicos, quelatizados e sais na produção do **cafeeiro.**

Tratamentos	Produção Sc. Beneficiadas/ha			
	1989	1990	Acumulada	Rel.
1- Testemunha	12,80 d	11,57 c	24,37 c	100
2- Ad. Foliar orgânico e aminoácidos a 0,5%	13,13 cd	14,27 c	27,40 c	112
3- Ad. Foliar orgânico e aminoácidos a 1,0%	13,60 bcd	16,53 c	30,13 c	123
4- Produto quelatzado 0,5%	17,17 abc	33,07 b	50,23 b	206
5- Produto quelatzado 1,0%	18,17 a	45,50 a	63,67 a	261
6- S.Zinco 0,6% + Ac. Bórico 0,3%	17,77 ab	40,10 ab	57,87 ab	237
7- 6 + Uréia 1,0%	17,83 ab	42,17 ab	60,00 ab	246
8- 7 + S. Magnésio 1,0%	17,23 abc	40,90 ab	58,13 ab	238
9- 8 + Clor. Potas. 0,5%	17,50 abc	41,50 ab	59,00 ab	242
10- 9 + Enxofre 1,0%	16,63 bcd	41,93 ab	58,57 ab	240
Ducam	5%	5%	5%	-----

Fonte: Santinato e Parduci , 1990

MELÃO

- Pereira, 1997 em experimento utilizando melão híbrido Gold Mine comparou a eficiência de duas fontes de Ca: CaCl_2 e **Cálcio quelatizado**. Com relação ao número e peso de frutos por planta o autor obteve os seguintes resultados:

Tabela. Número e peso médio de frutos (g) por plantas, submetidos a diferentes fontes de cálcio. UFLA, LAVRAS-MG, 1997.

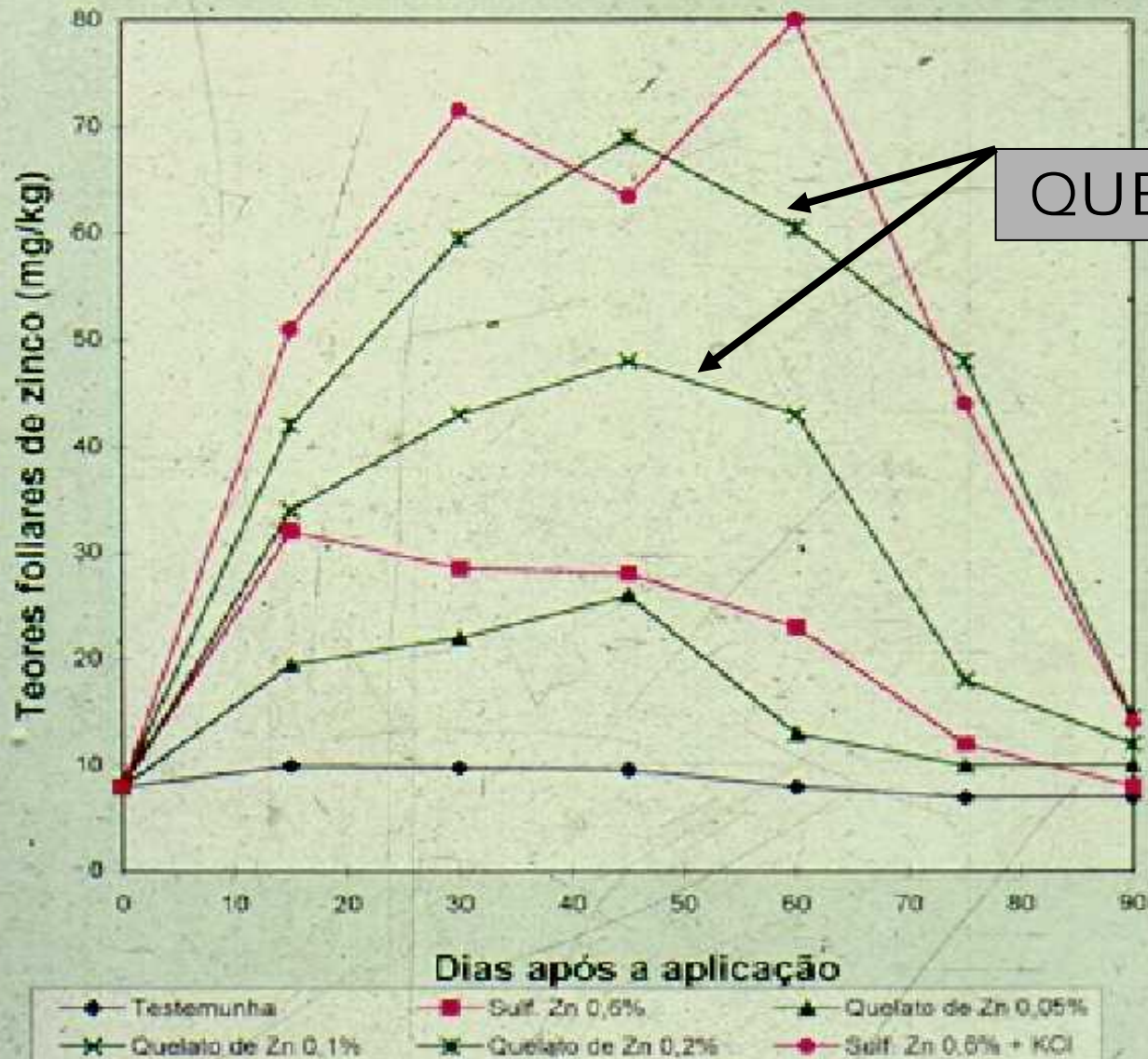
Fontes de Cálcio	Número de frutos/planta	Peso médio de frutos (g)
Cálcio Quelatizado	2,5675 a	896,6666 b
Cloreto de Cálcio	2,2533 b	987, 8333 a.

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (p 0,05).

Fonte: Pereira, 1997

CONCLUSÃO: mesmo com frutos menores, a aplicação de quelatizado proporcionou uma produção maior

Evolução do teor foliar de zinco no cafeeiro a partir de fontes quelatizadas e minerais (Santinato & Camargo, 1989)



QUELATO

QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

→ QUE NUTRIENTES PODEM SER QUELATIZADOS?

↳ **Podem** ser quelatizados:

- ★ Potássio (K^+)
- ★ Cálcio (Ca^{++})
- ✱ Magnésio (Mg^{++})
- ✱ Zinco (Zn^{++})
- ⊕ Manganês (Mn^{++})
- ⊕ Cobre (Cu^{++})
- ✧ Cobalto (Co^{++})
- ✧ Ferro (Fe^{+++})

↳ **Não podem** ser quelatizados:

- ★ Nitrogênio (NO_3^-)
- ★ Fósforo (PO_4^-)
- ✱ Boro (BO_4^-)
- ✱ Molibdênio (MoO_4^-)
- ⊕ Enxofre (SO_4^{--})
- ⊕ Cloro (Cl^-)

QUELATOS E QUELATIZAÇÃO

→ CARACTERÍSTICAS DO EDTA (Ácido ETILENODIAMINOTETRACÉTICO)

- ↙ Quelatizante **aniônico** (apresenta cargas negativas);
- ↙ **Quelatiza cátions** (nutrientes metálicos de carga positiva);
- ↙ Formam-se compostos quelatizados **solúveis em água** de boa “fitocompatibilidade”;
- ↙ Os compostos formados são estáveis **em ampla faixa de pH**;
- ↙ Os compostos formados são estáveis **em ampla faixa de temperatura**.

CÁLCULO DO TEOR DE NUTRIENTES A PARTIR DE SOLUÇÕES

→ Ex.: Adubo contendo Manganês

↙ Mn: 10%

↙ d = 1,30 g/cm³ (densidade)


$$\rightarrow \text{Teor (g/l)} = \frac{(\text{densidade} \times 1000) \times \%}{100}$$

$$\rightarrow \text{Teor (g/l)} = \frac{(1,30 \text{ g/cm}^3 \times 1000) \times 10\%}{100} = 130 \text{ g/litro}$$

Atenção: A utilização de quelatos ou outros componentes de alto peso molecular em fertilizantes foliares pode aumentar a densidade, mascarando o total do teor de nutriente(s)!!