

# FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO AGRONEGÓCIO

## 1. NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

Prof. Valdemar Faquin

## 2. DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

Prof. Valdemar Faquin

## 3. ABSORÇÃO FOLIAR E PRINCÍPIOS DE ADUBAÇÃO FOLIAR

Prof. Ciro A. Rosolem (UNESP/Botucatu-SP)

Prof. Valdemar Faquin

# NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

## PROGRAMA

1. INTRODUÇÃO
2. ABSORÇÃO, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO
3. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E FUNÇÕES DOS NUTRIENTES
4. ELEMENTOS ÚTEIS E ELEMENTOS TÓXICOS
5. NUTRIÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS
6. VISITA À HIDROPONIA DO DCS



# NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

VALDEMAR FAQUIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professor Titular, DCS/UFLA, Lavras-MG

# INTRODUÇÃO



Ainda: madeira, energia, celulose, medicamentos, corantes, resinas...

## Matéria Seca

- C, H e O - 90 a 95% do total
- Minerais - 5 a 10% do total

## Elementos Essenciais

- Compõe compostos orgânicos
- Participa de reações
- Na ausência a planta não vive

| ELEMENTOS ESSENCIAIS E BENÉFICOS EM PLANTAS |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| H   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | He |
| Li  | Be |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | B  | C  | N  | O  | F  | Ne |
| Na  | Mg |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |
| K   | Ca | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb  | Sr | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe |
| Cs  | Ba | Lu | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr  | Ra | Lr | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |    | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb |    |    |
|   |    | Ac | Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No |    |    |

Elementos minerais essenciais  
 Elementos minerais benéficos  
 Elementos não minerais essenciais

## Macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

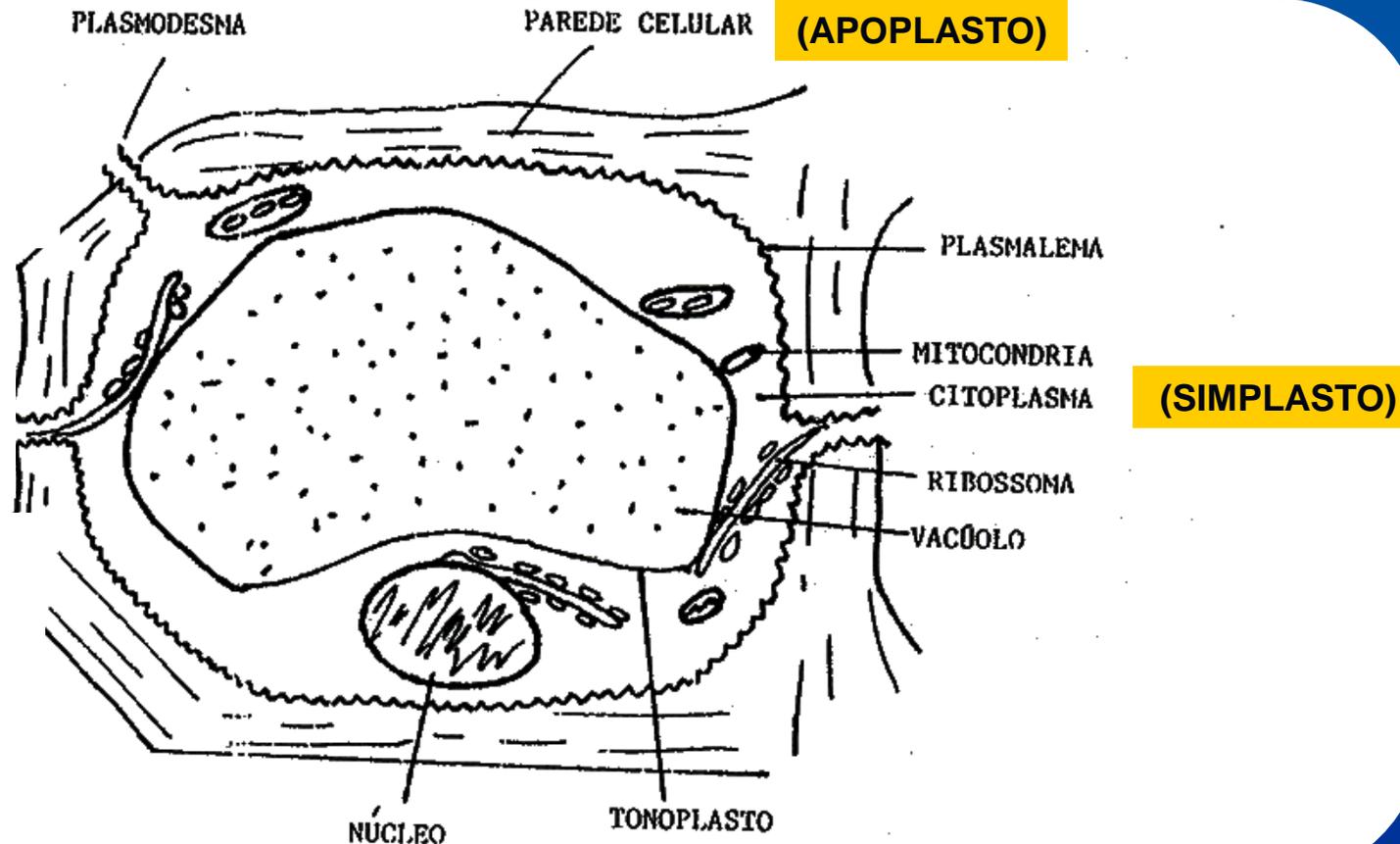
- N, P, K, Ca, Mg e S

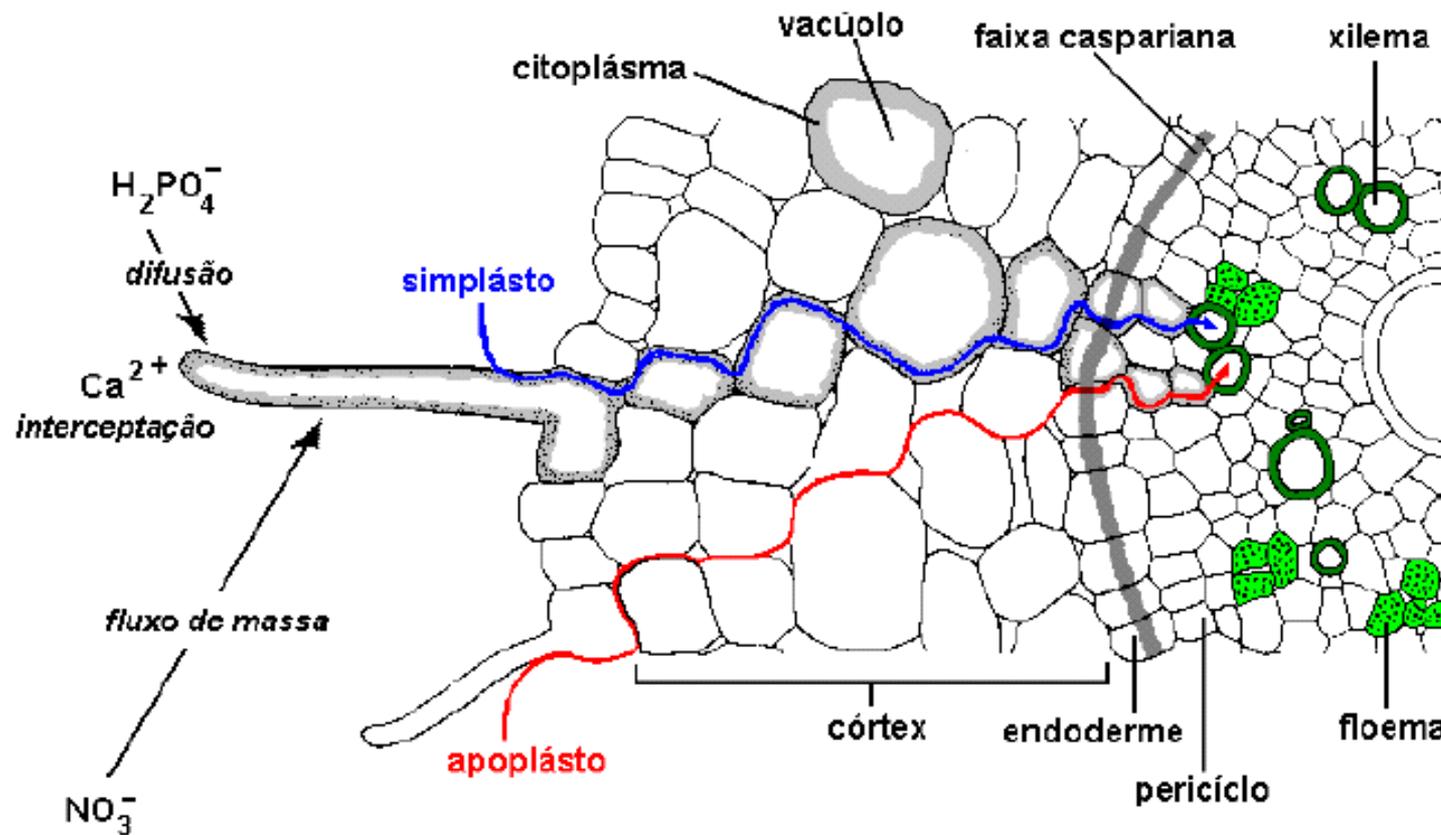
## Micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ )

- B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn (Co, Ni)

# Absorção, Transporte e Redistribuição

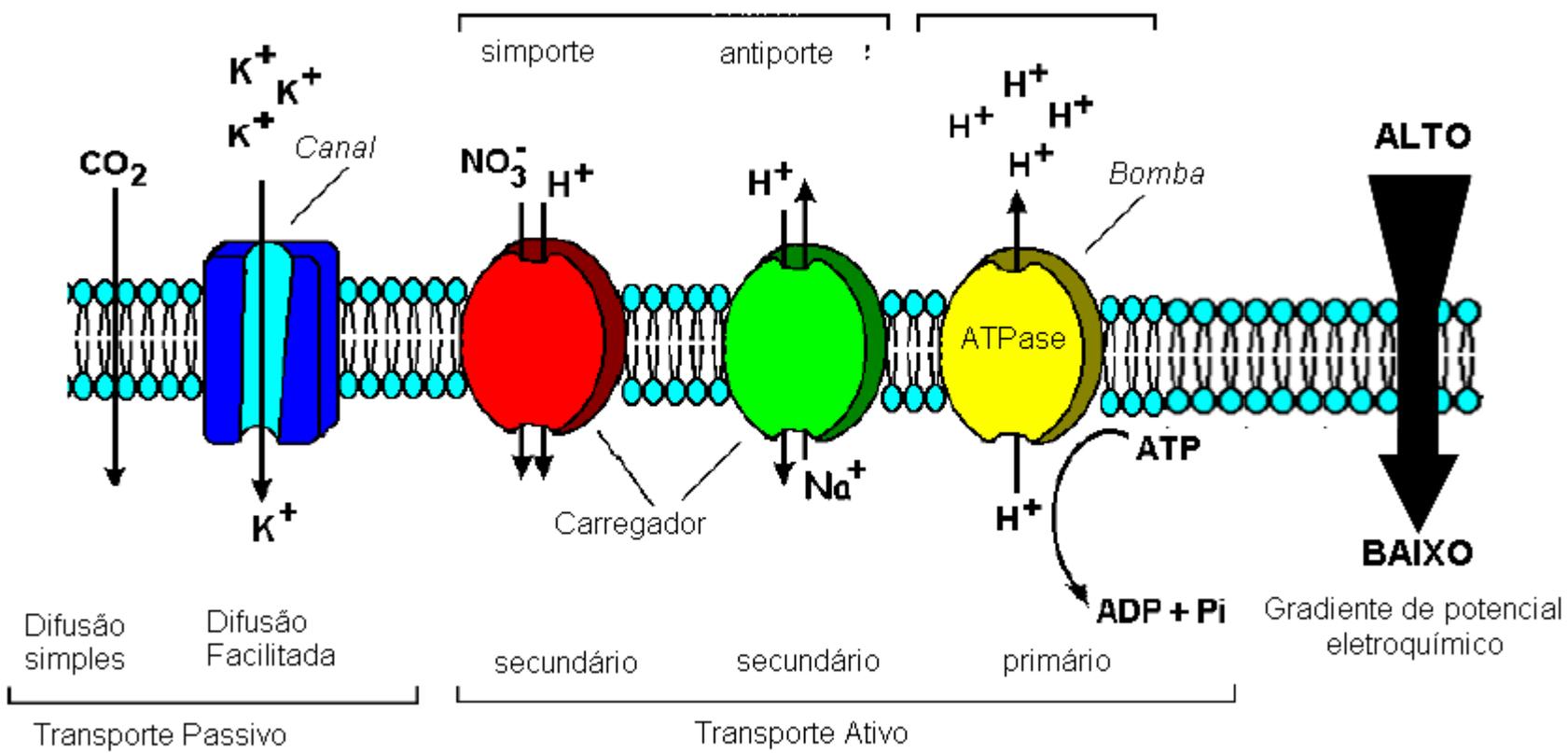
- DEFINIÇÕES
- ABSORÇÃO RADICULAR





Fonte: Adaptado de Peres (2005)

[http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05\\_nutricao\\_mineral/NutricaoMineral.pdf](http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05_nutricao_mineral/NutricaoMineral.pdf)



Fonte: Adaptado de Peres (2005)

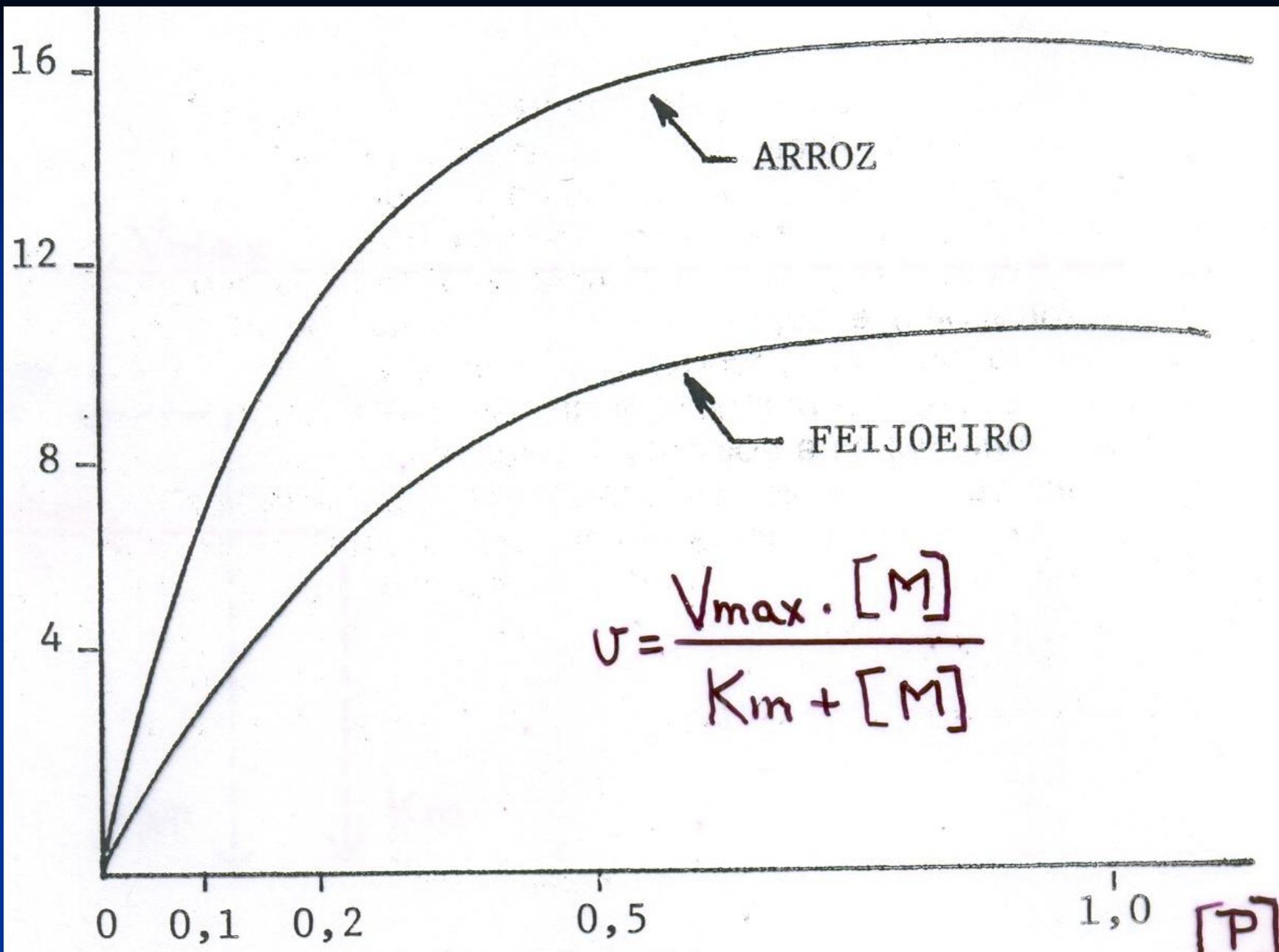
<[http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05\\_nutricao\\_mineral/NutricaoMineral.pdf](http://orion.cpa.unicamp.br/sbfv/arquivos/aulas/grad01/05_nutricao_mineral/NutricaoMineral.pdf)>

# CINÉTICA DA ABSORÇÃO IÔNICA

- ABSORÇÃO SEGUE MODELO MATEMÁTICO

Figura 2.7

$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ g}^{-1} (\text{MS}) \text{ h}^{-1}$



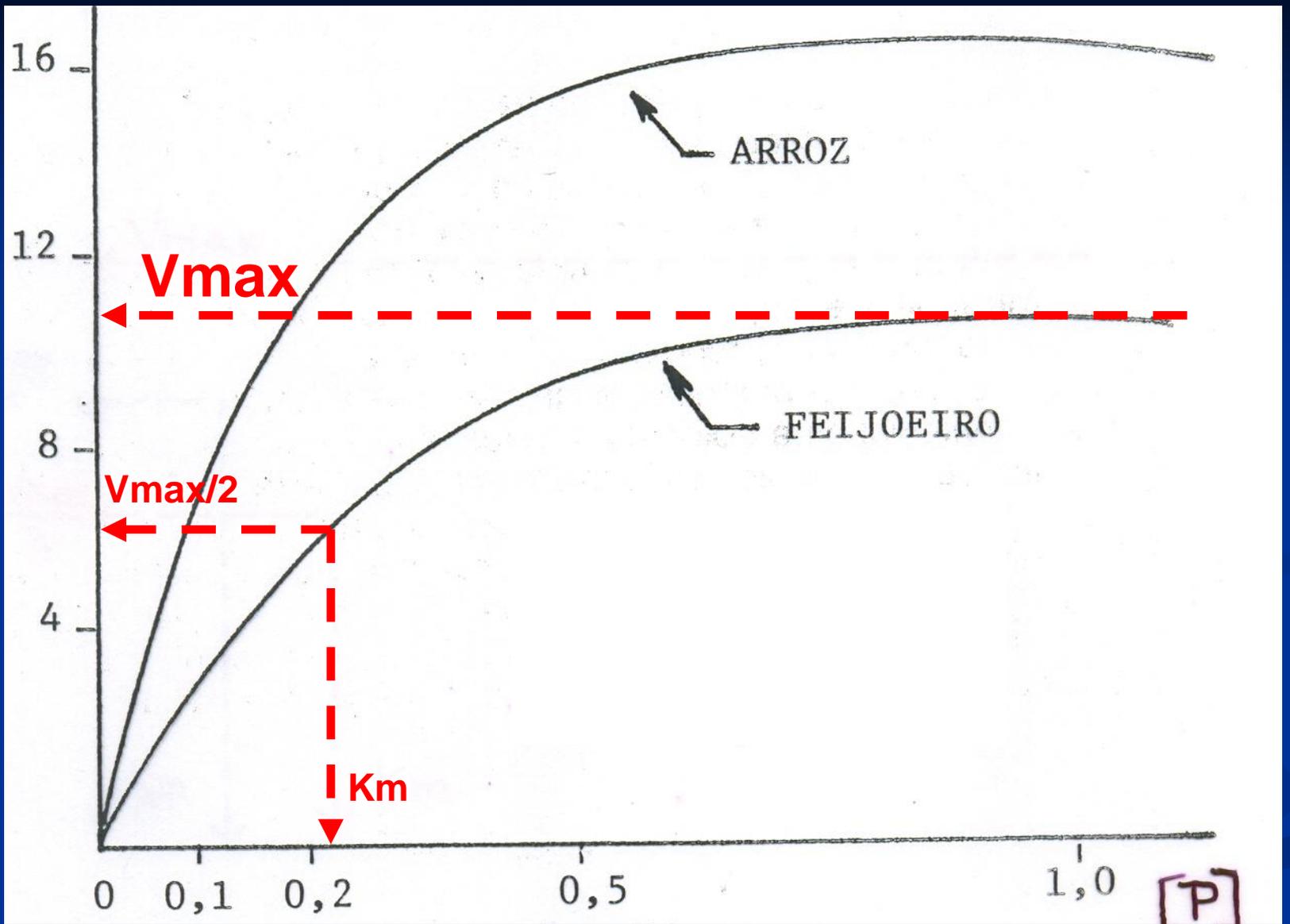
$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ L}^{-1}$

# EQUAÇÃO DE MICHAELIS E MENTEN

$$\rightarrow v = V_{\max} \cdot [M] / K_m \cdot [M]$$

- $v$  = velocidade de absorção
- $[M]$  = concentração externa de M
- $V_{\max}$  = velocidade máxima de abs.  
= carregador saturado com M
- $K_m$  = Constante de Michaelis  
=  $[M]_{\text{ext}} = V_{\max} / 2$   
= medida afinidade Carregador para M  
= quanto  $< K_m, >$  afinidade

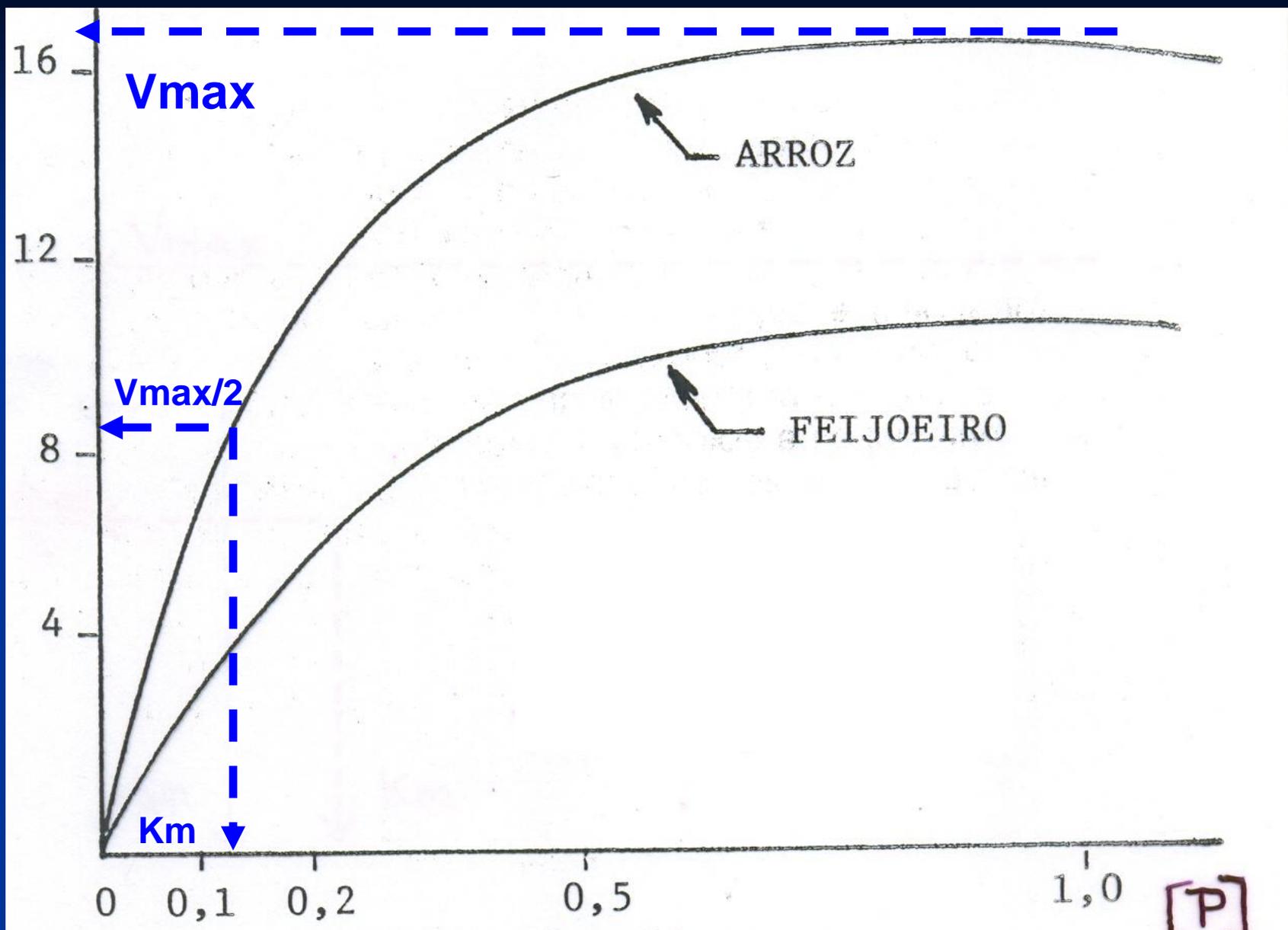
$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ g}^{-1} (\text{MS}) \text{ h}^{-1}$



$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ L}^{-1}$

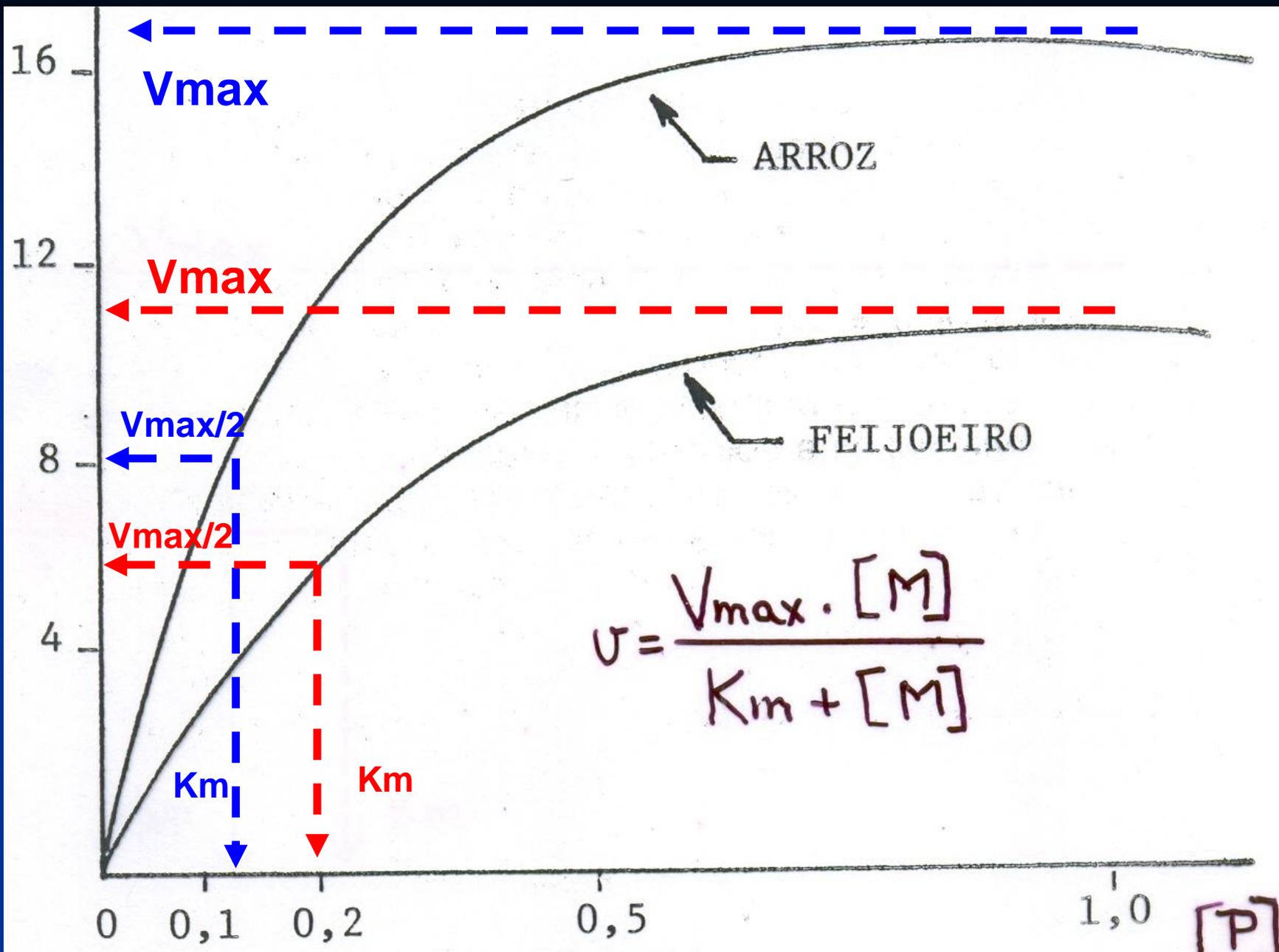
[P]

$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ g}^{-1} (\text{MS}) \text{ h}^{-1}$



$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ L}^{-1}$

$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ g}^{-1} (\text{MS}) \text{ h}^{-1}$



$\mu\text{moles H}_2\text{PO}_4^- \text{ L}^{-1}$

# PORTANTO:

## ■ Km e Vmax:

= Parâmetros cinéticos

= Características da planta

= Conferem  $>$  ou  $<$  absorção

→ Desejável  $\Rightarrow < K_m$  e  $> V_{max}$

# CONCENTRAÇÃO MÍNIMA

## ■ Planta não esgota M da solução

⇒ reduz à concentração mínima =  $C_{min}$

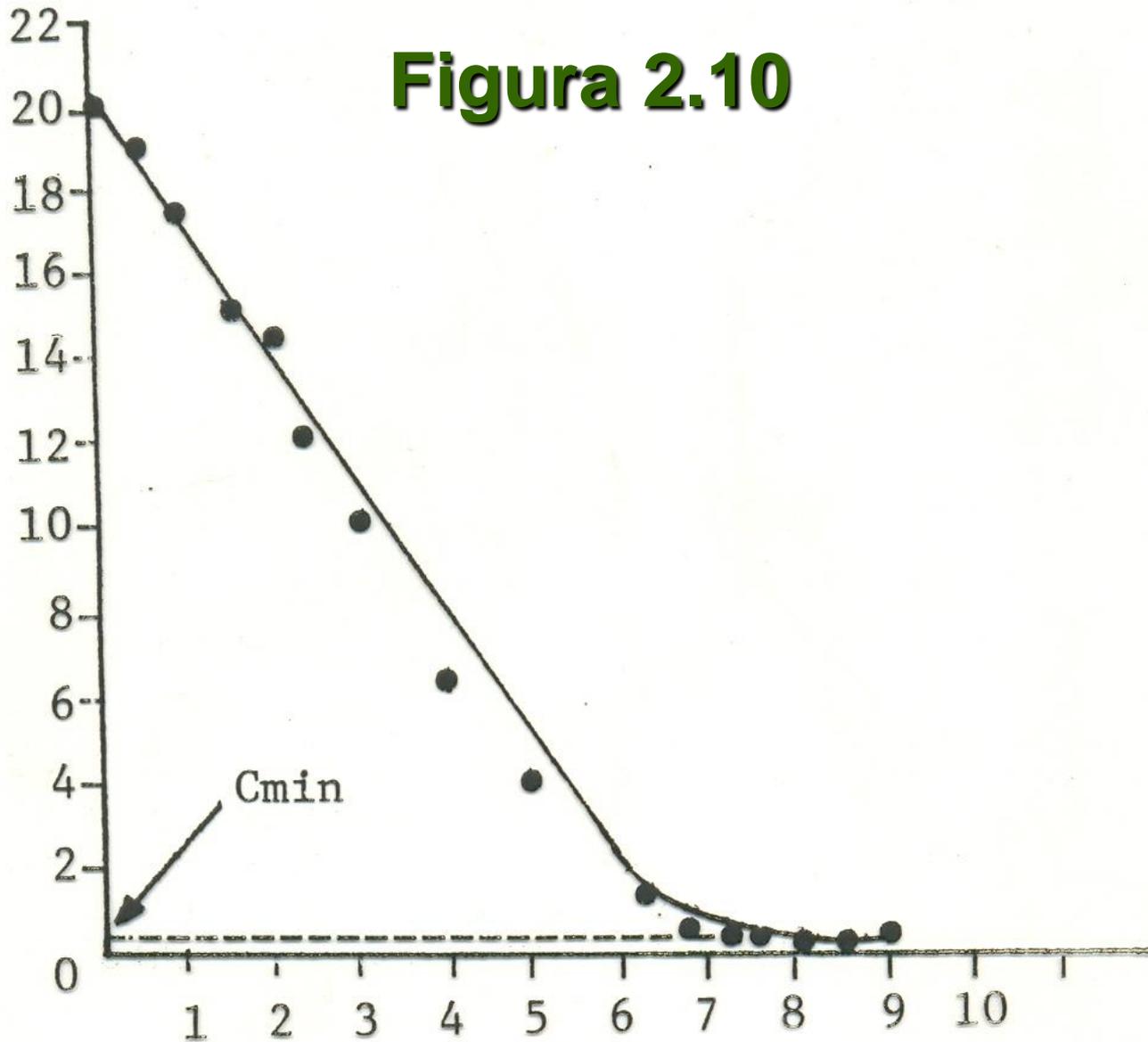
⇒  $C_{min} = [M]$  solução onde  $v = 0$

⇒  $C_{min}$  = outro parâmetro cinético

→ Desejável:  $V_{max}$  → >  
 $K_m$  → <  
 $C_{min}$  → <

**Figura 2.10**

[P] NA SOLUÇÃO  $\mu\text{mol L}^{-1}$



TEMPO DE ABSORÇÃO (HORAS)

# Fatores que afetam a absorção radicular

## Fatores Externos

- DISPONIBILIDADE
- AERAÇÃO
- UMIDADE
- TEMPERATURA
- PRÓPRIO ÍON
- OUTROS ÍONS
- pH
- MICORRIZAS
- FLUXO DE MASSA
- DIFUSÃO

## Fatores da Planta

- POTENCIAL GENÉTICO ( $K_m$ ,  $V_{max}$  e  $C_{min}$ )
- ESTADO IÔNICO CÉLULA
- CARBOIDRATOS
- TRANSPIRAÇÃO
- MORFOLOGIA SIST. RADICULAR (área radicular)

Concentração na superfície da raiz

Capacidade de absorção

**ABSORÇÃO  
RADICULAR**

# Transporte e Redistribuição

## ■ TRANSPORTE

- Radial
- Longa distância

## ■ REDISTRIBUIÇÃO

| Nutrientes             | Redistribuição | Sintomas Visuais de Deficiência Ocorre: |
|------------------------|----------------|---|
| N, P, K e Mg           | Móveis         | folhas velhas                           |
| S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo | pouco móveis   | folhas novas                            |
| B e Ca                 | Imóveis        | folhas novas e meristemas               |

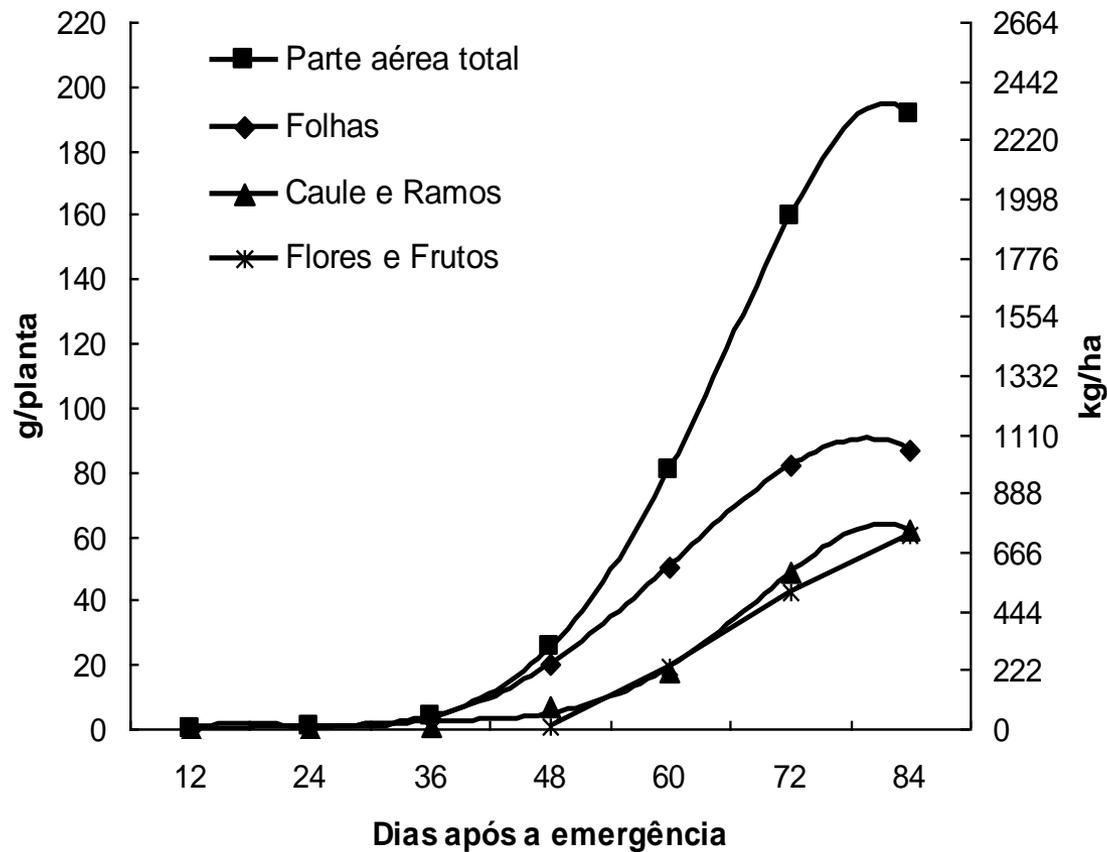
# EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES

## ▪ DEFINIÇÕES

### → EXIGÊNCIAS:

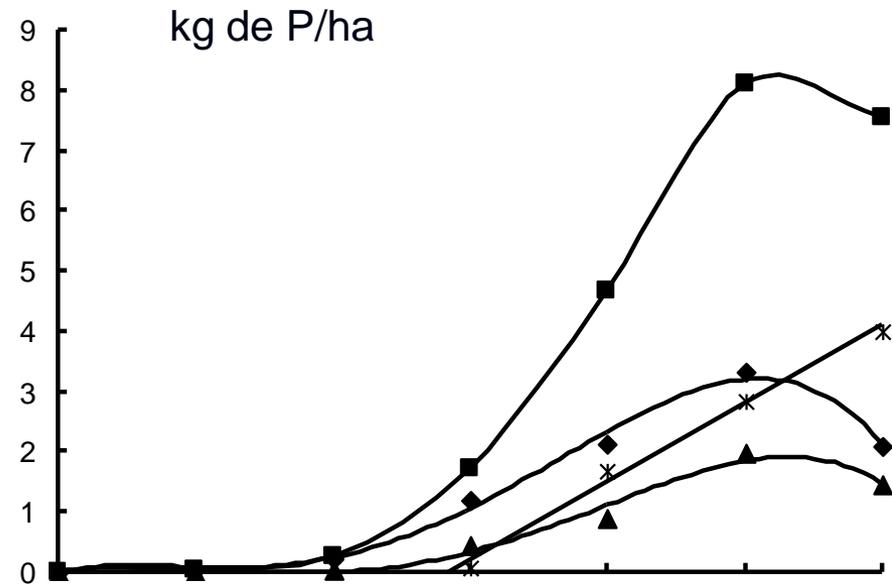
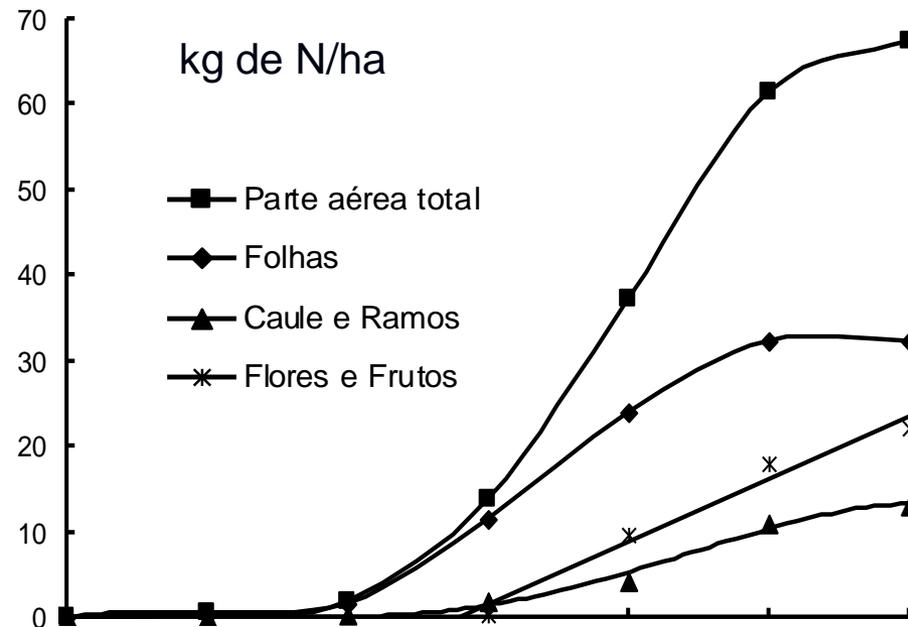
- **MACROS:** N>K>Ca>Mg>P=S
- **MICROS:** Fe>Mn>Zn>Cu>B>Mo

# Crescimento



Fonte: Adaptado de Solis (1982)

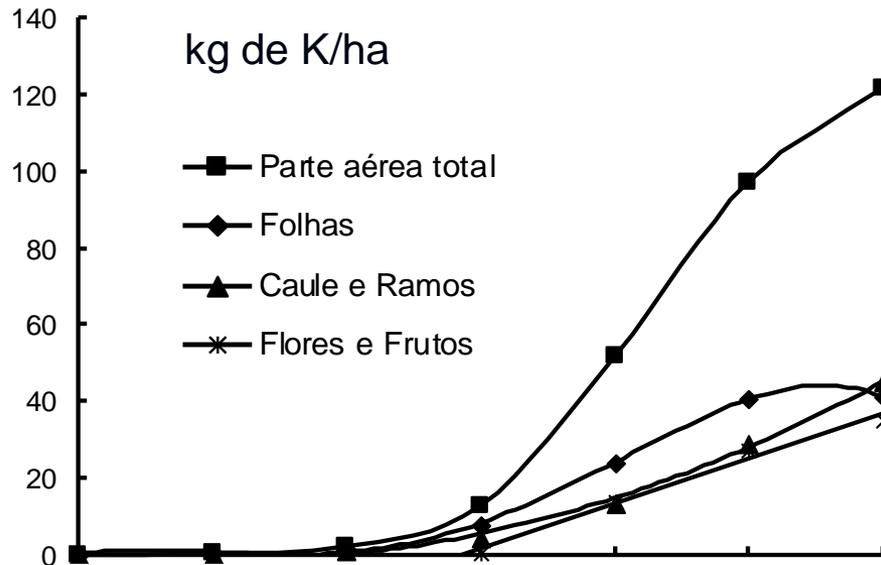
# Acúmulo de MACRONUTRIENTES



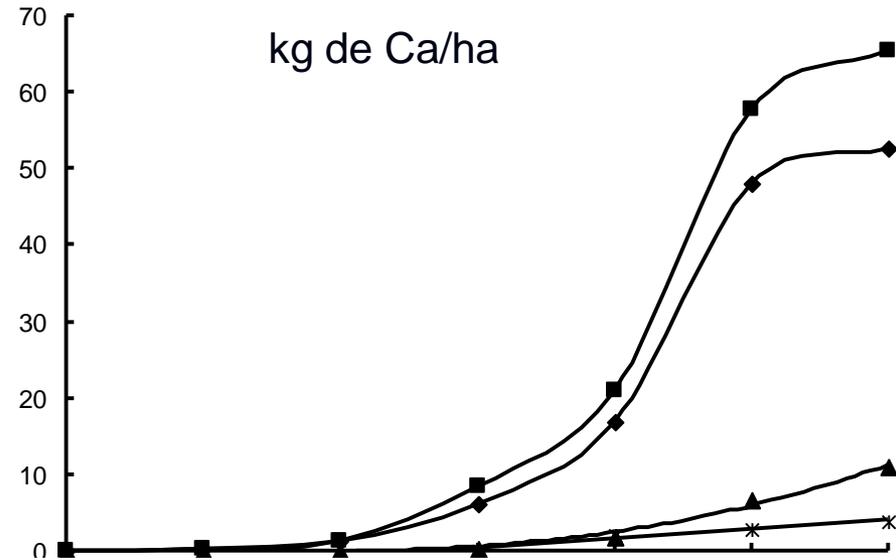
# Acúmulo de MACRONUTRIENTES

kg de K/ha

- Parte aérea total
- ◆ Folhas
- ▲ Caule e Ramos
- \* Flores e Frutos

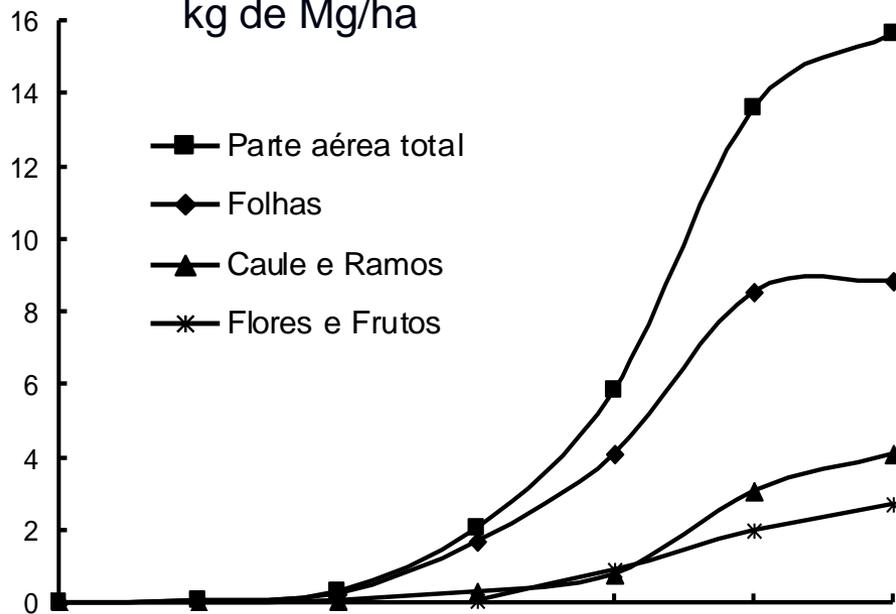


kg de Ca/ha

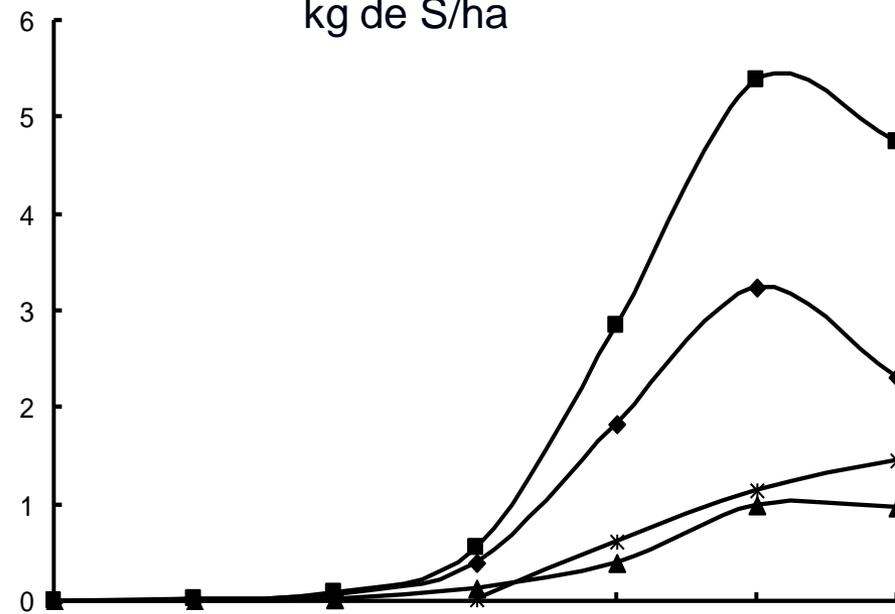


# Acúmulo de MACRONUTRIENTES

kg de Mg/ha



kg de S/ha



# FUNÇÕES DOS NUTRIENTES (tipos de funções)

## a) **ESTRUTURAL** → COMPONENTE DE COMPOSTOS

- N – a.a.; proteínas ....
- Mg – clorofila

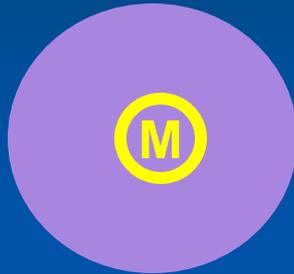
## b) **CONSTITUINTE DE ENZIMAS (COFATOR)**

- Grupo prostético => Mo – Redutase do Nitrato
- => Fe – Citocromos

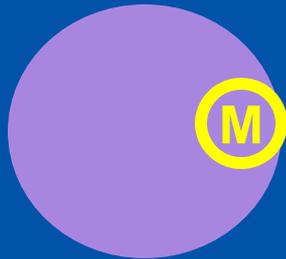
## c) **ATIVADOR ENZIMÁTICO**

- Cofator metálico =>  $Mg^{2+}$ ;  $K^{+}$ ;  $Mn^{2+}$ ;  $Zn^{2+}$
- Coenzimas => NAD; NADP (reações de oxi-redução)

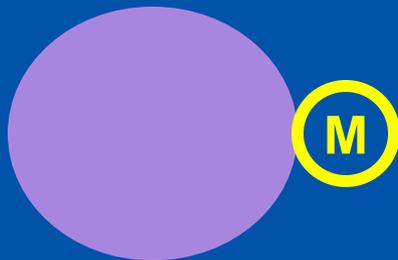
# Funções dos Nutrientes



**ESTRUTURAL**



**GRUPO PROSTÉTICO**



**ATIVADOR**

# NITROGÊNIO

- **FONTE:** ATMOSFERA = gasoso
- **PLANTA:** N- $\text{NO}_3^-$  e N- $\text{NH}_4^+$
- **PROCESSOS:**
  - FIXAÇÃO BIOLÓGICA
  - FIXAÇÃO INDUSTRIAL
  - FIXAÇÃO ATM

# FIXAÇÃO DO NITROGÊNIO (FBN)

- SISTEMA SIMBIÓTICO (+ importante)
  - LEGUMINOSA x RIZÓBIO
  - BACTÉRIA = Nitrogenase (Nase)
  - Nase = Fe e Mo ( $N_2$  gasoso  $\longrightarrow$   $2 NH_3$ )

# NITROGENASE (Nase)

## ■ **Complexo enzimático → 2 sub-unidades**

⇒ Fe-proteína (4 Fe + 4 S)

⇒ Fe-Mo-proteína (24 Fe + 2 Mo)

## ■ **Outros nutrientes:**

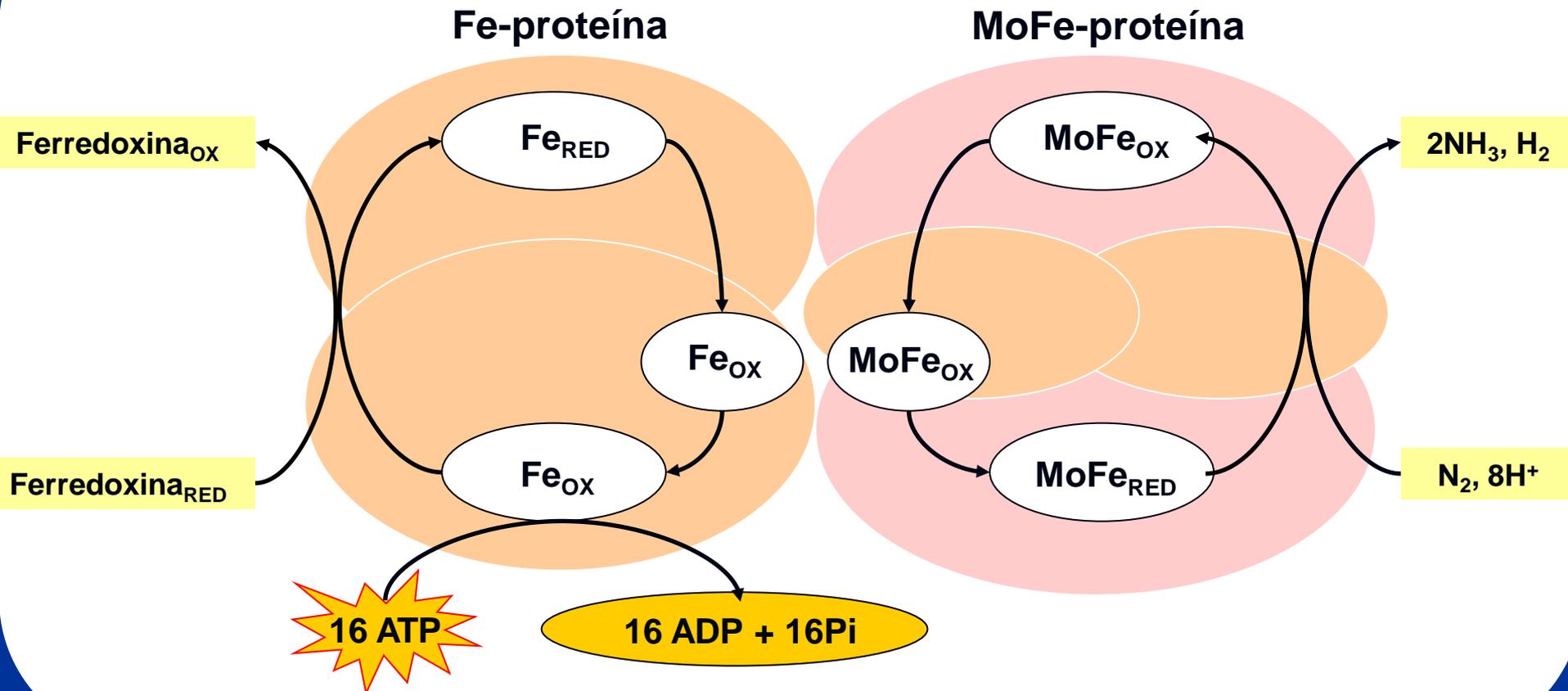
- P e Mg (ATP)

- Ca → nodulação

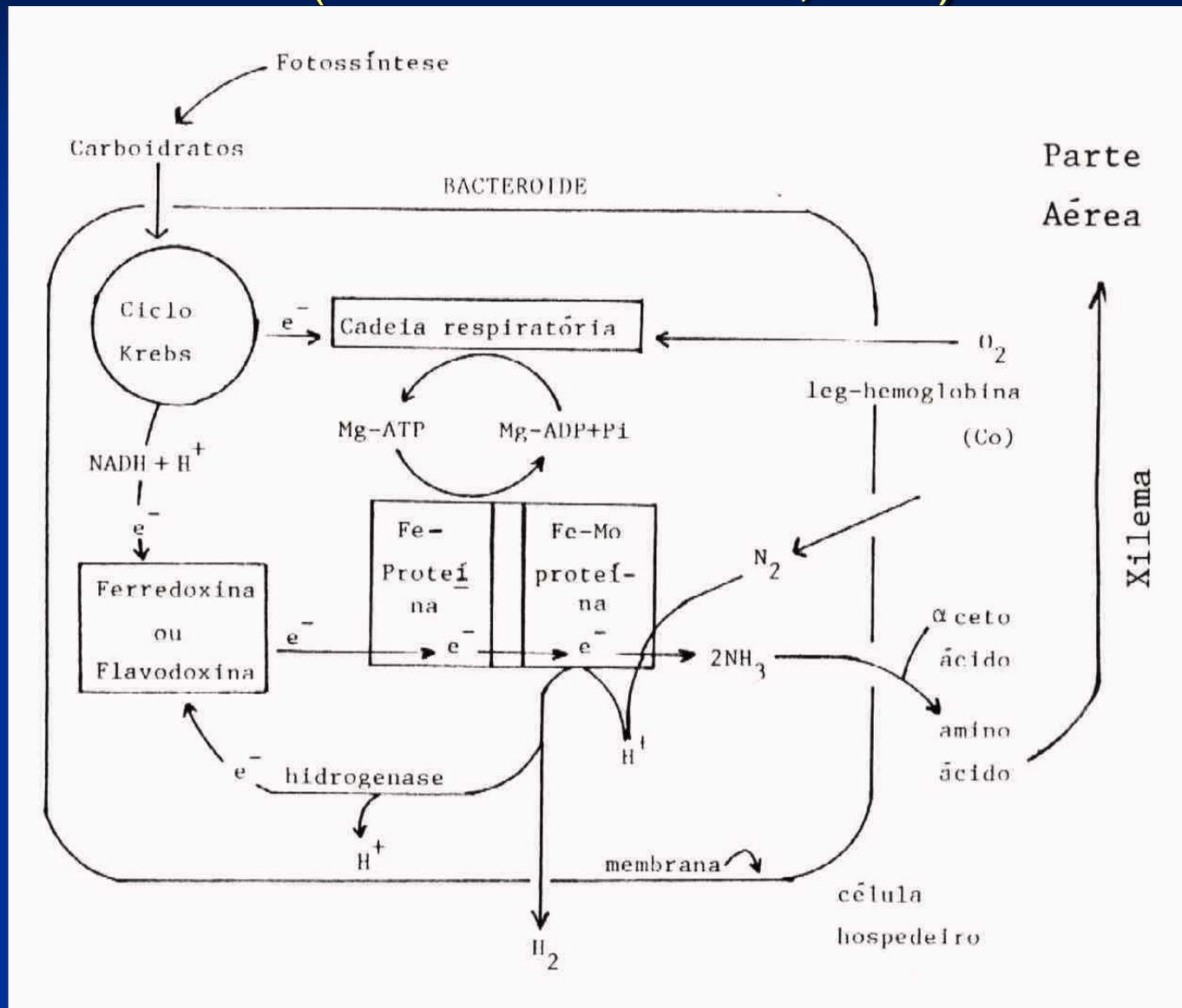
- Co → cobalamina → leg-hemoglobina

## ■ Nitrogenase (FBN)

### COMPLEXO DA ENZIMA NITROGENASE



# REAÇÕES METABÓLICAS DA FBN NOS BACTERÓIDES (MENGEL & KIRBY, 1987)



# NITROGÊNIO NA PLANTA

■ **ABSORÇÃO:**  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{NH}_4^+$ ; uréia;  $\text{N}_2$

■ **FUNÇÕES DO N:**

■ 90% - N orgânico (80% proteínas, 10% ác. nucl.)

→ **Função estrutural**

■ a.a.; proteínas; enzimas; coenzimas; clorofila; DNA e RNA; ATP; hormônios; etc

# REDUÇÃO ASSIMILATÓRIA DO $\text{NO}_3^-$

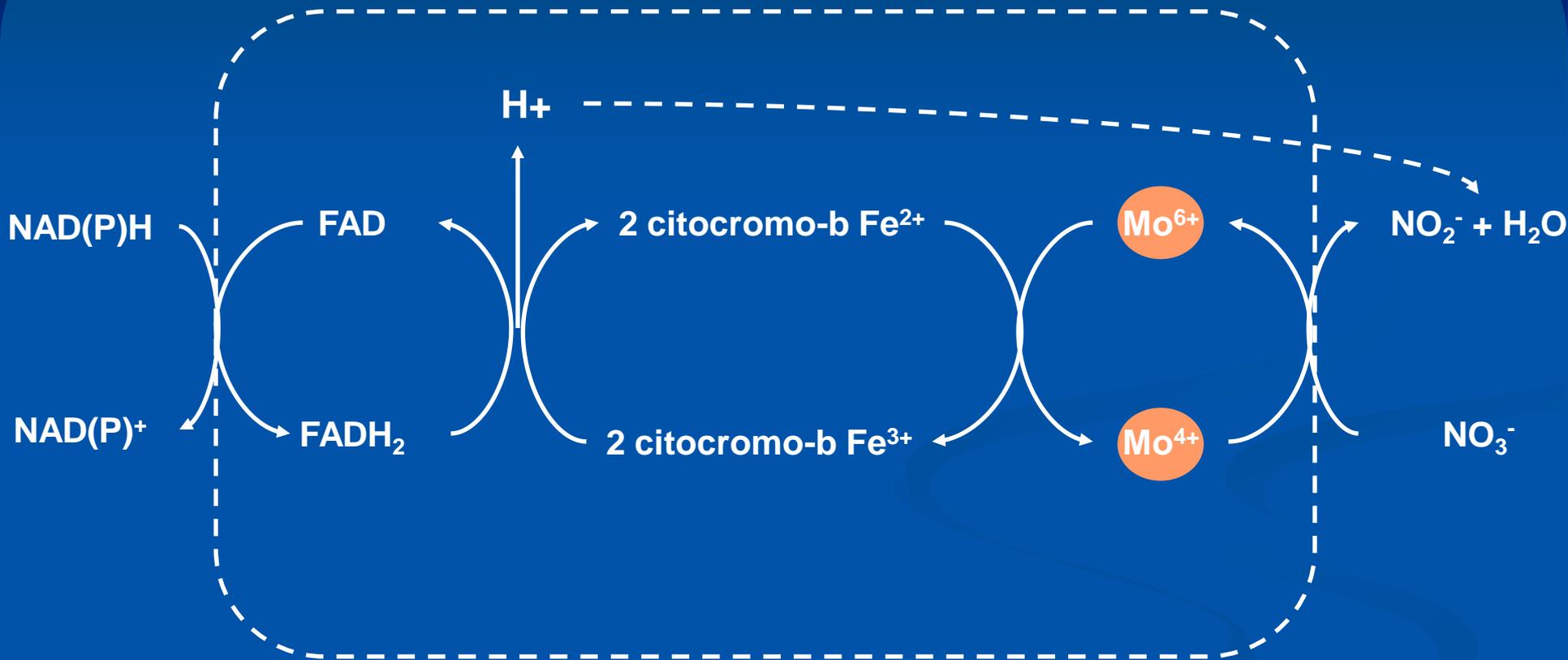
- $\text{NO}_3^-$  → forma absorvida (oxidada)
- $\text{R-NH}_2$  → compostos orgânicos (reduzida)
- $\text{NO}_3^-$  → reduzido →  $\text{NH}_4^+$  → assimilado

# 1º PASSO: OCORRE NO CITOPLASMA



→  $\text{RNO}_3^-$  → contém Fe e Mo

## ■ Redutase do Nitrato



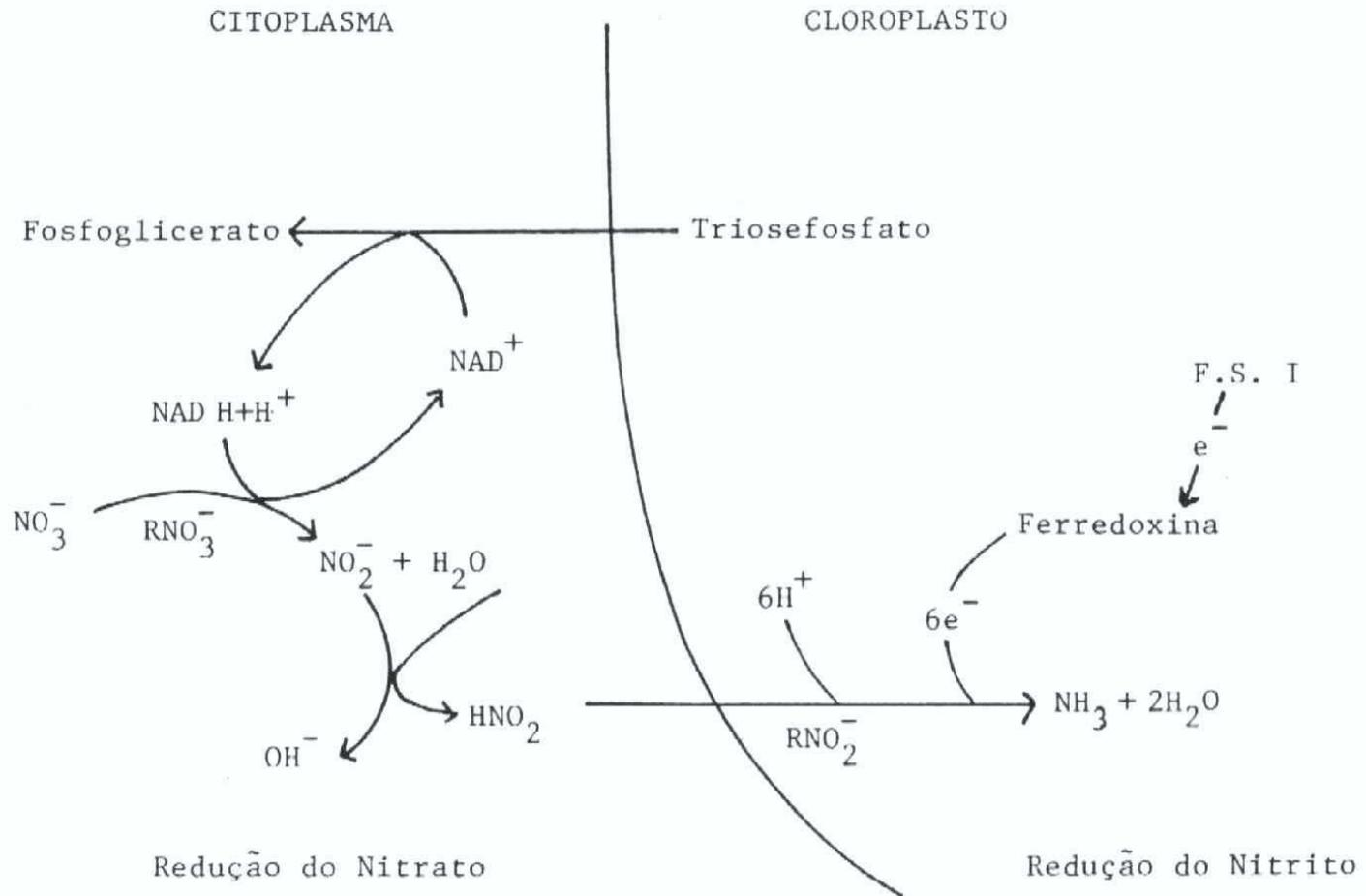
## 2º PASSO: OCORRE NOS CLOROPLASTOS

### REDUTASE DO NÍTRITO



→  $\text{RNO}_2^-$  → CONTÉM Fe e S

# REDUÇÃO DO NITRATO E DO NITRITO



# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE NITROGÊNIO

- **MÓVEL => FOLHAS VELHAS**
- **CLOROSE GENERALIZADA NO LIMBO FOLIAR**