

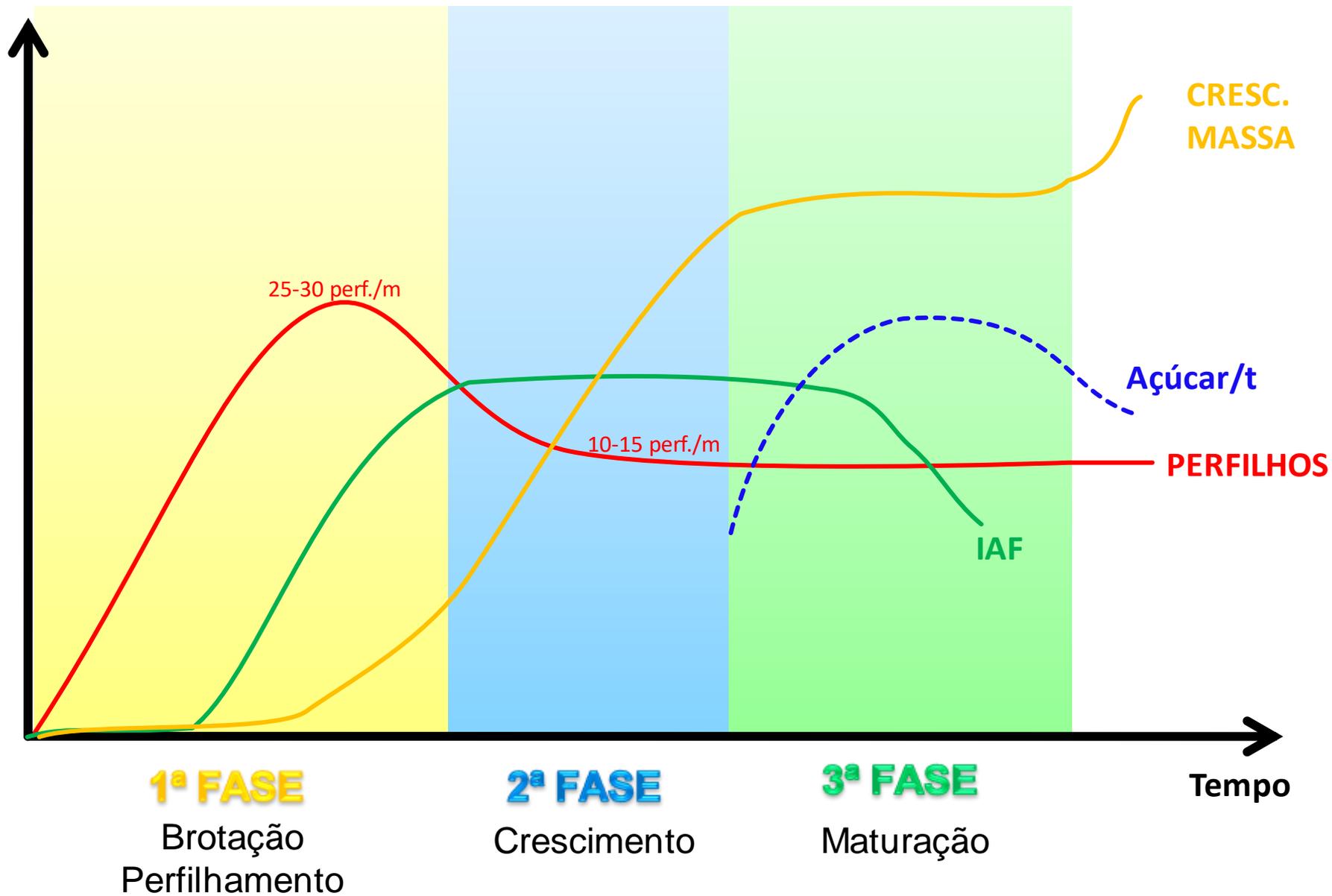


# **FATORES LIMITANTES EM CANA-DE-AÇÚCAR – FERTILIDADE DO SOLO**

Prof. Dr. Edgar G. F. de Beauclair

Depto. Produção vegetal – ESALQ / USP

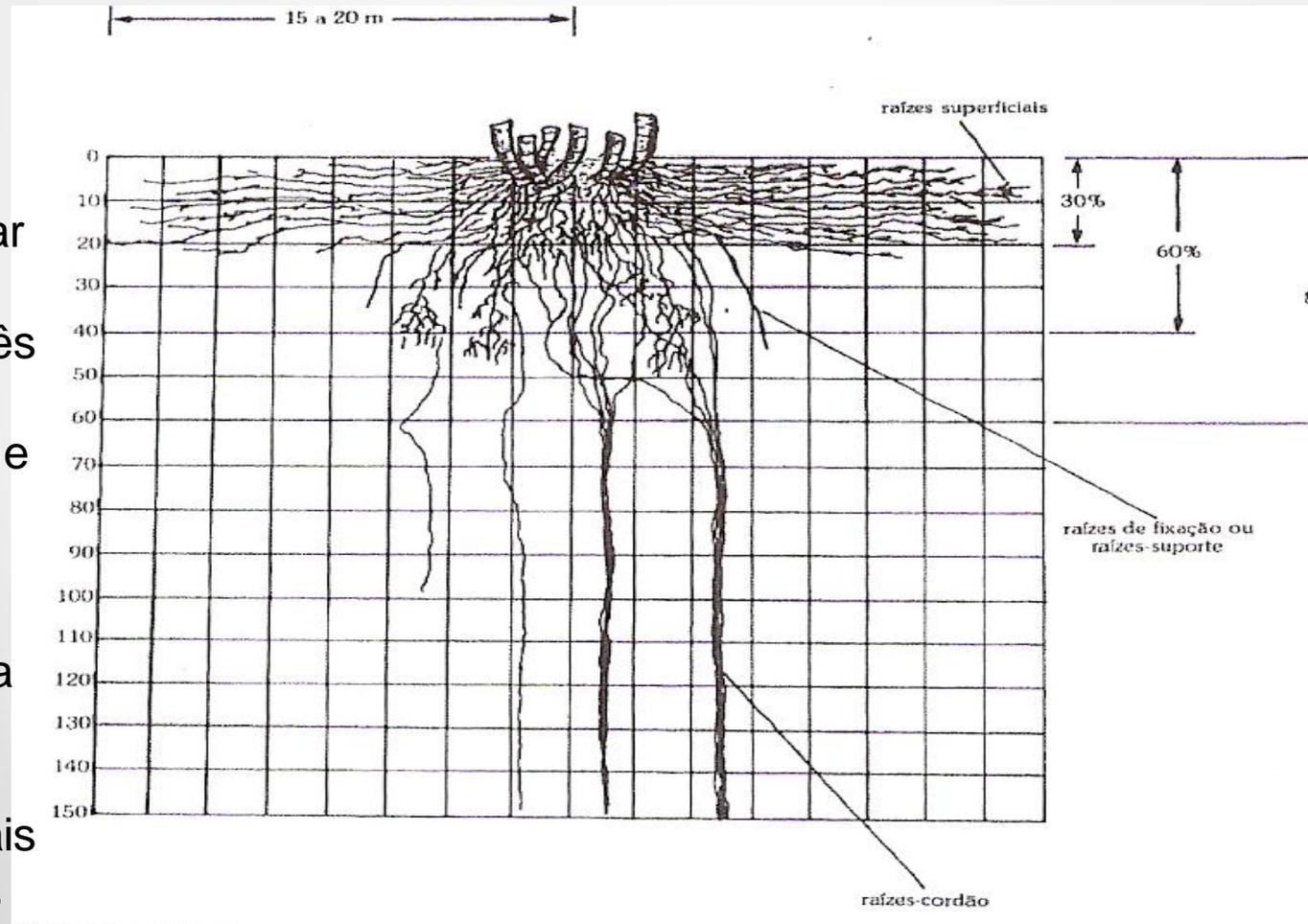
[edgar.beauclair@usp.br](mailto:edgar.beauclair@usp.br)



# 1. Cana-de-açúcar

## 1.1. Botânica – Sistema radicular

■ Sistema radicular de cana planta mostrando os três tipos característicos de raízes, a distribuição percentual em profundidade e a distância lateral atingida pelas raízes superficiais (Dillewijn, 1952).



# Níveis hierárquicos da produtividade

## Fatores definidores:

- \* CO2
- \* Radiação Solar
- \* Temperatura
- \* Genética



Potencial

## Fatores definidores

+

## Fatores limitantes:

- \* Disponibilidade hídrica
- \* Nitrogênio
- \* Nutrição e fertilidade
- \*\*solo



Limitada

## Fatores definidores

+

## Fatores limitantes

+

## Fatores redutores:

- \* Pragas e doenças
- \* Ervas daninhas
- \* Elementos tóxicos e poluentes

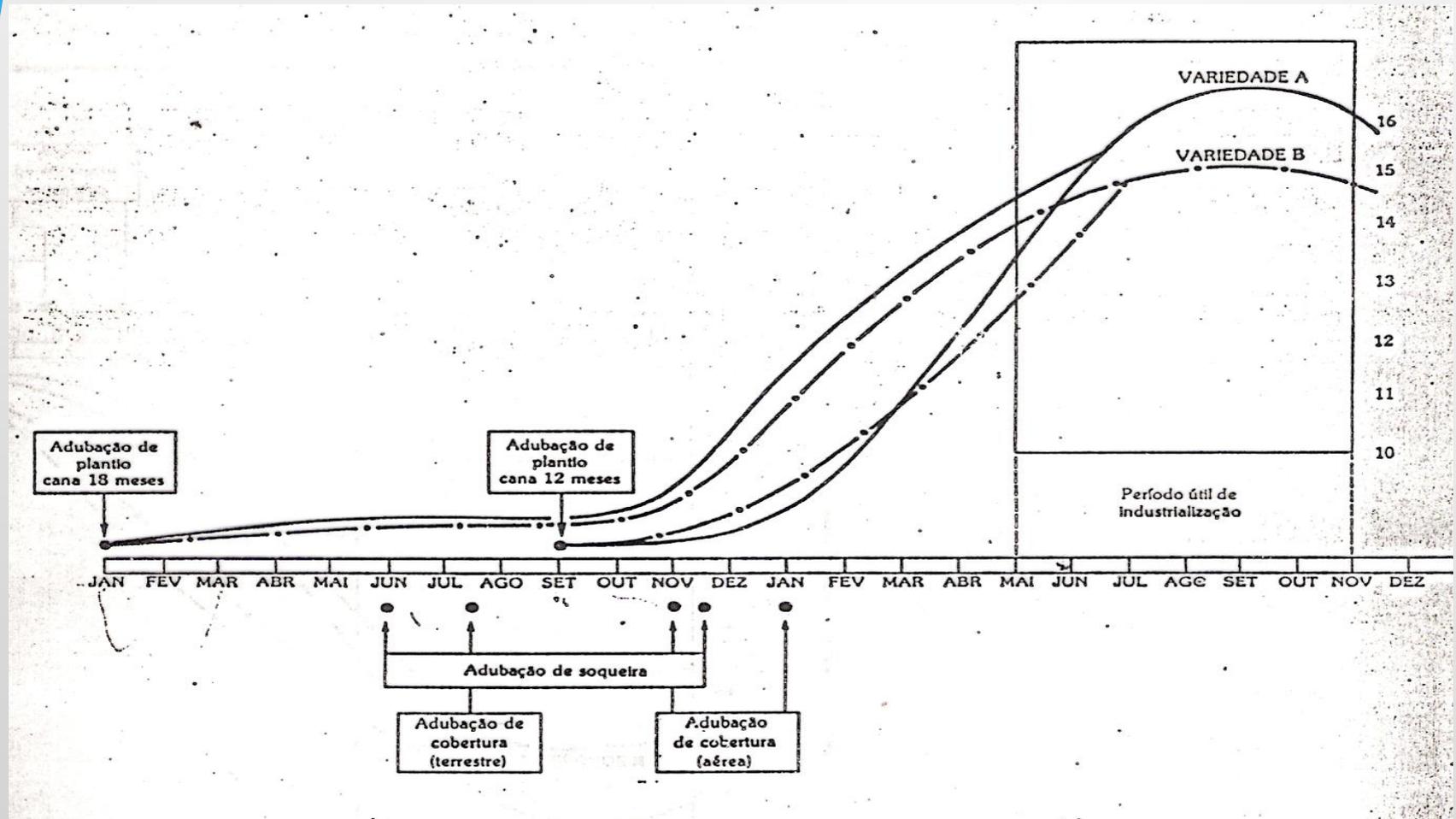
\*\*solo



Atual



# CRESCIMENTO E MATURAÇÃO



# ADUBAÇÃO

- Nutrição de plantas
  - Noções gerais
    - Fornecimento de nutrientes essenciais ao desenvolvimento completo das plantas
    - Macronutrientes
      - Primários: N, P, K
      - Secundários: Ca, Mg, S
    - Micronutrientes
      - B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn
    - Úteis
      - Na, Si, Ni, Co

# ADUBAÇÃO

- Nutrição
  - N
    - Ciclo de crescimento
    - Sistema radicular profundo (5-6 m)
    - Fixação de N: vida livre
    - Renovação sistema radicular – relação C/N alta
  - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
    - Suprir necessidades dos sítios de fixação de P no solo.
    - Aplicação localizada
  - K<sub>2</sub>O
    - Elemento mais importante e exportado na cultura
    - Fundamental no metabolismo dos açúcares

# ADUBAÇÃO

- Nutrição
  - CaO
    - Bastante exportado
    - Fontes calcáreo, gesso e adubos orgânicos
    - Fundamental ao sistema radicular
  - MgO
    - Fontes: calcáreos dolomíticos e magnesianos; termofosfatos magnesianos; fosmag; adubos orgânicos.
    - Relações importantes com P
  - SO<sub>4</sub>
    - Fontes gesso, super simples e adubos orgânicos
  - Micro
    - Mais importantes: Cu (tabuleiros), Zn (cerrado) e B (sintomas)
    - Mo pode ser importante na fixação de N por organismos de vida livre

# ADUBAÇÃO

- Nutrição
  - Correção do solo, calagem, corretivos
    - Sistemas diferentes de recomendação
    - CTC
      - $NC = 3 - (Ca + Mg) * f$
    - IAC
      - Saturação de bases (elevar a 60%)
  - Critérios devem considerar
    - Calcário tem baixa solubilidade ( $Ks = 10^{-13}$ )
    - CTC das análises de rotina não é efetiva e sim calculada
    - Solos com alta CTC tem diferente especiação química da representada nas análises de rotina
    - Doses anuais superiores à 3 t / ha pouco eficientes
    - Necessidade de Ca e Mg pela cultura

# ADUBAÇÃO

- Nutrição
  - Condicionadores inorgânicos
    - Gesso
      - Fornece Ca e S
      - Diminui atividade iônica do Al mas não neutraliza
      - Atua em profundidade
      - Diminui a solubilidade do calcário
  - Condicionadores orgânicos
    - Ácidos húmicos
      - Favorecem fornecimento de N
        - Diminuem perdas por lixiviação e volatilização de  $\text{NH}_3$
      - Melhoram a CTC e a eficiência da adubação química
      - Preenche sítios de fixação de P
      - Melhora a retenção de água na região da rizosfera

# Calagem x Gessagem

## 1. Princípios

- ✓ Histórico
- ✓ Reações no solo
- ✓ Métodos de Recomendação

# Histórico

- **Calagem**

- ✘ Primeiros critérios de recomendação fundamentadas na análise de solo final do século XIX.
  - ✘ Todo solo que tornava o papel de tornassol azul era considerado ácido.
- ✘ 1.900 primeiro método quantitativo: determinação de ac. húmicos (extração com  $\text{NH}_4\text{OH}$  e precipitado com  $\text{HCl}$ ).
  - ⇒ **acidez atribuída a fração orgânica e sendo o H o único íon responsável.**
- ✘ 1904 (Vertch) em extratos obtidos com lavagens sucessivas de  $\text{NaCl}$ , observou a presença de  $\text{Al}$  (troca  $\text{Na} \rightarrow \text{Al}$ )
  - ⇒ **1º vez que acidez é atribuída a fração mineral**
- ✘ Dados contestados pela comunidade científica dos EUA até 1953

- ✘ Conceitos de Vertch introduzidos no Brasil em 1932 por Vageler (IAC)
- ✘ Em 1915 conceito de pH introduzido na ciência do solo (valores baixos tiveram diversas interpretações).
- ✘ Em 1947 Chernov promulga a teoria do Al:
  - Al responsável pela acidez do solo
  - solução KCl 1N extrai Al trocável e H<sup>+</sup> somente em solos muito ácidos e orgânicos.
  - reações entre ac. húmicos e Al ↔ compostos pouco solúveis
- ✘ Shofield (1949) conclui que a hidrólise do Al (pK = 4,8) era responsável pelo caráter de ácido fraco de suspensões de argila e não a dissociação de H<sup>+</sup>
- ✘ Low (1955) H trocável só existe em pH < 4,0
- ✘ Chernov et al. (1956 e 1959) esclarecem definitivamente as dúvidas sobre o Al e o H no solo

✘ Schfield & Taylor (1954) e Ragland & Coleman (1960) estudam a reação de hidrólise de Al:

- valores de pK em solução de  $\text{AlCl}_3$  próximo de 4,8
- hidrólise mais intensa na presença de solo ou argila, comprovando que os produtos da hidrólise são adsorvidos no complexo de troca



- o produto final deve ser  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ , por dois motivos:
  - i) para cada íon hidrolisado são produzidos  $3\text{H}^+$  e
  - ii) sua adsorção não altera o balanço de cargas das argilas.

# Origem da Acidez

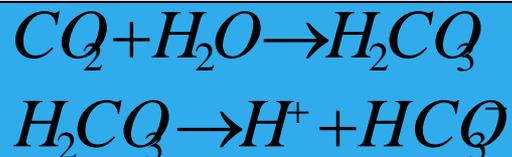
- ☞ Os solos podem ser naturalmente ácidos (material de origem e pedogênese) ou não
- ☞ A acidificação se dá por remoção de bases e adição de H

## Remoção de bases:

- erosão
- exportação pelas culturas
- lixiviação

## Adição de H:

- Gás carbônico



**b) Enxofre da matéria orgânica:**



**c) Matéria orgânica:**

- dissociação de íons H de grupos carboxílicos (pK=5,0) e fenólicos (pK=7,0)

**d) Hidrólise de cátions trocáveis:**

- sob lixiviação muita intensa e concentração da solução do solo extremamente baixa

**e) Monômeros e polímeros de Al:**

- dissolução de hidróxidos de Al amorfos e cristalinos e minerais de argila em meio ácido.

## f) Fertilização

- principalmente amoniacais e uréia



## g) Dissociação de radicais hidroxila em arestas de argilas



## h) Drenagem de solos inundados

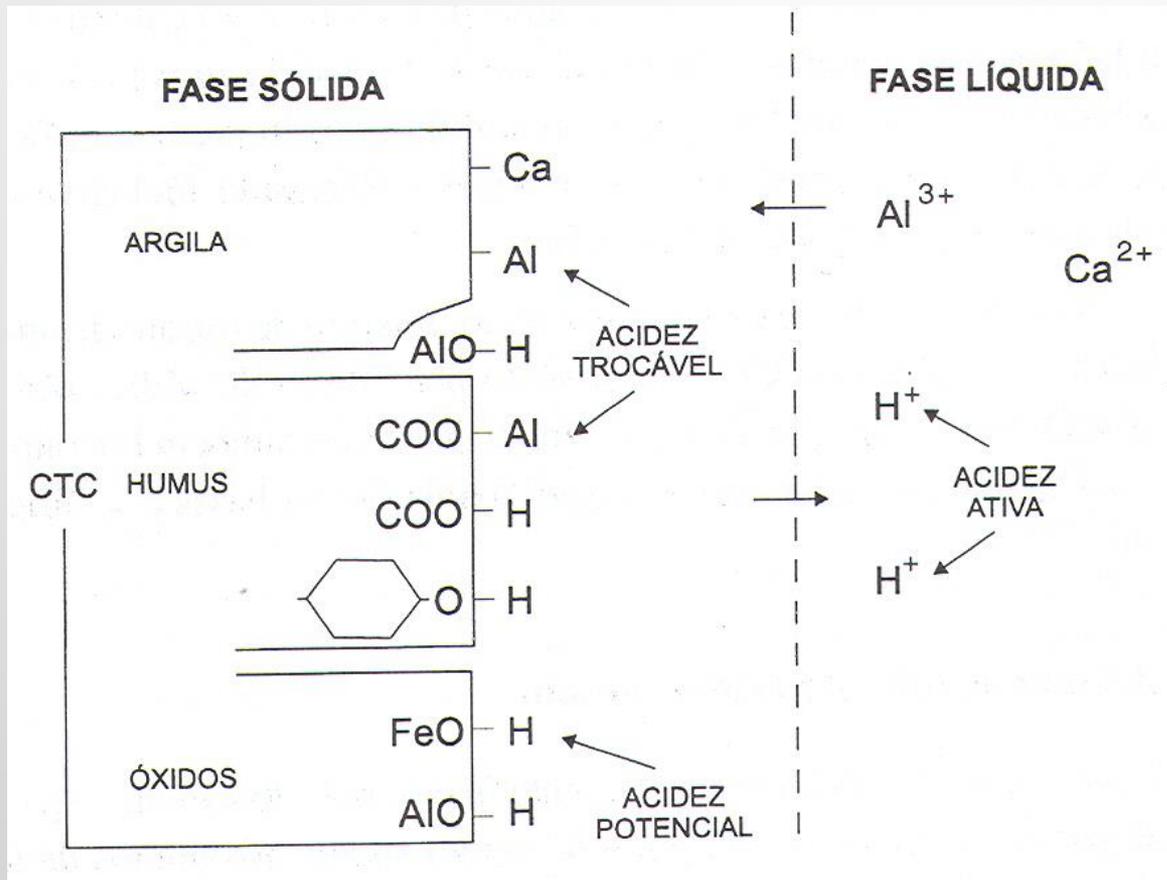
- caráter tiomórfico



# Componentes da Acidez

- ✘ **Acidez ativa:** refere-se a concentração efetiva de íon hidrogênio da solução do solo, expressa em valores de pH
- ✘ **Acidez trocável:** refere-se aos íons Al e H trocáveis, as quais estão retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas
  - H<sup>+</sup> encontrado somente na superfície de coloides com carga permanente (argilas 2:1) e em valores de pH < 4,0 e > 10,0 (em condições tropicais suas quantidades são insignificantes)
  - determinação com sal neutro não tamponado KCl 1N (1:10)
- ✘ **Acidez potencial (trocável + não trocável):** quantidade de íon hidrogênio que a fase sólida é capaz de liberar na solução ao pH 7,0 e corresponde a soma da acidez trocável (Al) e não trocável (H<sup>o</sup>)
  - ac. não trocável: íon H ligação covalente
  - determinação solução tamponada pH 7,0 Ac. cálcio ou SMP

# Esquema Representativo



# Reação de Neutralização



Calcário na presença de  $CO_2$  e  $H_2O$  dissocia-se em:



Ca: desloca Al

$HCO_3^-$  e  $\uparrow$  pH: dissocia  $H^0$

$OH^-$  neutraliza H proveniente da hidrólise

# Critérios de Calagem

- **Histórico**

- ✘ Até 1965 (Brasil) métodos baseados no pH e teor de matéria orgânica do solo
- ✘ Coleman et al. (1958) e Kramprath (1970) desenvolvem o método do Al trocável
- ✘ Em 1965 divulgação do método no Brasil através do Programa Internacional de Análise de Solo (Cate, 1965)
- ✘ Shoemaker et al. (1961) e Mclean et al. (1960) propõem o método da solução tampão SMP
  - ⇒ Adoção nos Estados de SC e RS
- ✘ 1978 introduzido o critério complementar ao critério do Al visando garantir os teores de Ca+Mg no solo de 2 e 3 meq/100 cm<sup>3</sup> para solos com menos e mais de 2% de M.O respectivamente

\* SP – recomenda maior dose entre Al e Ca + Mg

MG - soma-se as duas alternativas

- ✘ Catani & Gallo (1955) recomendação da calagem com base na correlação entre pH e saturação por bases

$$NC = H + Al \frac{(V_2 - V_1)}{1 - V_1}$$

$V_1$  obtida indiretamente através de pH empregando-se a equação  
 $pH = 4,288 + 0,03126V\%$  ( $r=0,97$ )

- ✘ Raij et al. (1979) observa estreita correlação entre os valores de H+Al (Ac. de cálcio) com os valores de pH da suspensão solo:solução SMP (10:20:10)
- ✘ Quaggio (1983), propõe o critério de recomendação pela saturação de bases
- ✘ Benedini (1988), propõe o método recomendado pela Copersucar

# Método do Al e Ca + Mg

- ✘ método ligado ao conceito de CTC efetiva
- ✘ considera que em pH <5,5 a capacidade tampão do solo é devida exclusivamente ao Al.
- ✘ Não considera a capacidade tampão do solo acima de pH 5,4 a 5,6

$$NQt/ha = At^3 \cdot 1,5$$

- ✘ Fator calculado para 4 Ultissols da planície costeira da CN
- ✘ Catani & Alonso (1969) para condições brasileiras chegaram as seguintes equações:

$$y_1 = 1,19x + 0,36 \quad r = 0,74$$

$$y_2 = 1,22x + 0,08 \quad r = 0,72$$

- ✘ Pequenas dosagens recomendadas fez surgir um critério complementar

$$NQt/ha = (Al_{2,0}) + 2 - (Ca + Mg)$$

# Método do Tampão SMP

- ✘ Se baseiam na relação que existe entre o pH de um determinado volume da solução tampão SMP em contato com a amostra de solo e a necessidade de calcário do solo encontrada por meio de um ensaio de incubação
- ✘ Solução tampão deve ter uma variação linear de pH com a adição de ácido e ter sensibilidade suficiente para solos menos tamponados
- ✘ Procedimento para se estabelecer este método:
  - determinar a necessidade de  $\text{CaCO}_3$  de uma série de amostras de solo por incubação
  - medir os valores de pH da solução tampão (volumes determinados de tampão) em equilíbrio com as amostras de solo
  - calcular a regressão  $\text{pH}_{\text{SMP}} \times$  necessidade de  $\text{CaCO}_3$
- ✘ Raij et al. (1979) calibração do método para São Paulo mudança na relação Solo:água:tampão (10:20:10)

# Método da Saturação de Bases

- ✘ Se baseia correlação entre o pH e a saturação em bases
- ✘ Requer a determinação da SB, acidez potencial (H+Al) obtendo-se indiretamente a CTC e o V%
- ✘ Determinação de H+Al por Ac. de cálcio impraticável em laboratórios de rotina
- ✘ Quaggio (1983) desenvolve procedimento para determinação da acidez potencial através da medida do pH de equilíbrio da suspensão solo:solução:tampão SMP, permitindo a determinação de H+Al em amostras com até 300 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>3</sup>
- ✘ O pH do solo esta relacionado a SB, porém para solos de mesmo pH pode existir diferente quantidade de bases, não sendo possível estabelecer correlação entre os dois!!!!
- ✘ No entanto ocorre relação estreita entre o pH (principalmente em CaCl<sub>2</sub>) e a saturação por bases

# Dedução da Fórmula

$$q = S_2 - S_1$$

$$q = \frac{V_2 T}{100} - \frac{V_1 T}{100} = \frac{T(V_2 - V_1)}{100} \text{ meqC/d } 100 \text{ m}$$

$$q = \frac{T(V_2 - V_1)}{100} \text{ tcalcar/bd } 20 \text{ cm}$$

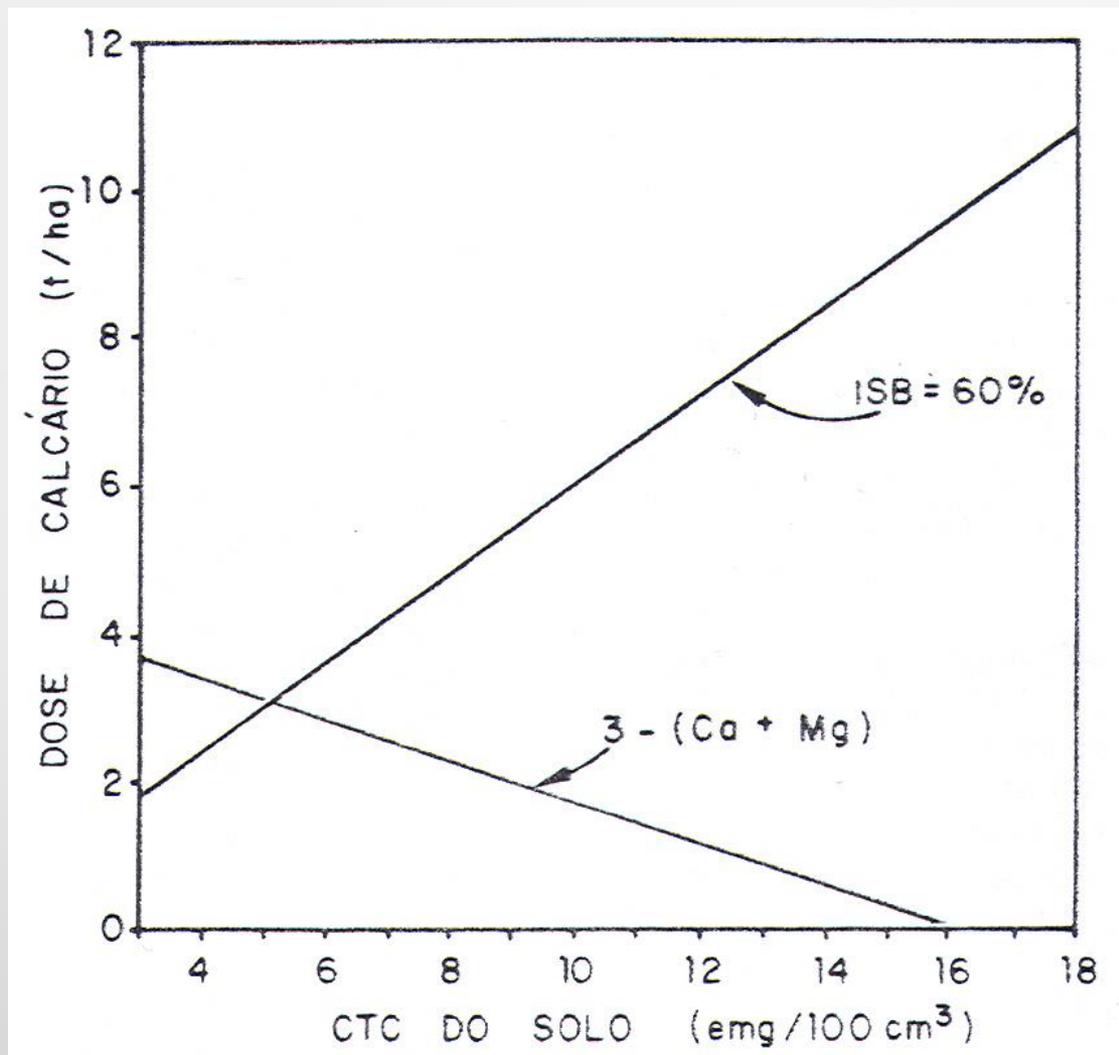
$$Q = \frac{T(V_2 - V_1)}{100} \frac{100}{PRNT} = \frac{T(V_2 - V_1)}{PRNT}$$

# Método Copersucar

- ✘ Tem por objetivo manter teores satisfatórios de Ca e Mg no solo para atingir o último corte com teores próximos do nível crítico para a cultura, independente dos fatores responsáveis pela acidez do solo.
- ✘ Definiu o nível crítico de Ca + Mg como  $1,4 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$  e de Ca isoladamente como  $1 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ , para atingir 97% da produção relativa.
- ✘ Baixa correlação entre saturação de bases, Al trocável e M% com a produtividade.
- ✘ Exportação equivale a  $0,4 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$  de Ca e  $0,49 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$  de Mg (soma de quatro cortes), o que corresponde a 0,9 t de calcário.

- ✘ Áreas com número de cortes superior a quatro devem ser amostradas e re-analisadas periodicamente
- ✘ Em solos com CTC inferior a 5 ou 6 meq/100 cm<sup>3</sup> recomenda-se o monitoramento dos níveis de Ca e Mg já nas primeiras soqueiras
- ✘ Adicional em função das perdas devido a lixiviação de bases 0,7 meq/100 cm<sup>3</sup>

“Solos de baixa CTC não foram capazes de reter teores necessários de Ca + Mg para atingir o 4º corte com valores acima do nível crítico, sendo que quantidades significativas de Ca + Mg lixiviaram para a camada de 25 a 50 cm do solo, com a aplicação de altas doses de calcário”.



# Gessagem

- **Histórico**
- ✘ **Reeve & Summer (1972), na África do Sul, verificaram que o sulfato de cálcio percolado através de colunas contendo amostras de um Oxissol, reduzia os teores de Al do solo**
- ✘ **Ritchey et al. (1980), avaliando fontes de fósforo na cultura do milho, no CPAC em Brasília, em Latossolo Vermelho escuro, observou que após veranico as plantas dos canteiros tratados com SFT apresentavam-se murchas enquanto as plantas tratadas com SFS estavam túrgidas.**
- ✘ **Mais tarde pesquisa minuciosa revelou um maior aprofundamento do sistema radicular e maiores teores de Ca e menores teores de Al no subsolo**
- ✘ **Início de uma nova tecnologia para correção de subsolos ácidos**

✘ Resíduo da fabricação de ácido fosfórico

✘ Paolinelli et al. (1986), indicam a produção de 4,5 t de gesso para cada tonelada de  $P_2O_5$ , estimando uma produção anual de 3,6 milhões de toneladas do produto considerando a capacidade de produção de ácido fosfórico daquele ano

# Diagnóstico da Toxidez de Al e ou Deficiência de Ca

- ✘ Sousa (1988), indica o uso de gesso quando M% maior que 30 e/ou teor de Ca < 0,2 meq/100 cm<sup>3</sup>
- ✘ Lopes (1986), camada subsuperficial com menos de meq/100 cm<sup>3</sup> e/ou Al > 0,5 meq/100 cm<sup>3</sup> ou M% > 40
- ✘ Malavolta (1991), recomenda o uso quando M% > 20 e/ou saturação de cálcio (CTCe) < 40%
- ✘ Sousa & Ritchey (1986), propõem o método biológico, indicando que para valores > 1,3 de raiz solo + gesso/raiz solo sem tratar existe alta possibilidade de resposta ao gesso
- ✘ Copersucar (1994), camada de 25-50 cm, o solo deve apresentar Ca < 0,6 meq/100 cm<sup>3</sup>, M > 50% e V < 20%
- ✘ Vitti (2004), recomenda o uso quando V < 35% (camada 20-40 cm)

# Efeitos no Solo

- ✘ Efeito na atividade do íon  $\text{Al}^{+3}$  em solução
- ✘ Especiação química ( $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{AlSO}_4^-$ ,  $\text{AlOH}^{+2}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2$ )
- ✘ Presença do F formando complexos muito estáveis com o íon  $\text{Al}^{+3}$  (F pode ultrapassar até 0,5% na composição do fosfogesso)
- ✘ Oates & Cardwell (1985), concluíram que o fosfogesso é superior ao gesso de minerações em reduzir o  $\text{Al}^{+3}$  do solo
- ✘ A formação do par iônico  $\text{AlSO}_4^-$  não reduz o  $\text{Al}^{+3}$  total da solução, embora **ocorra diminuição de sua atividade**
- ✘ A adição de gesso promove uma diluição dos cátions trocáveis ( $\text{Al}^{+3}$ ) conseqüentemente reduzindo o M%

1 t/ha de fosfogesso = 0,5 meq Ca/ 100 cm<sup>3</sup>

- ✘ Alguns trabalhos tem demonstrado a redução do Al em solos através do gesso mas duvidas ainda persistem sobre os mecanismos envolvidos

# Métodos de Recomendação

- **Histórico**

- ✘ Malavolta (1981), sugerem o uso de gesso com doses variando entre 450 e 75 Kg/ha, ignorando qualquer parâmetro de acidez e recomendando as maiores doses para solos arenosos (teor de M.O)
- ✘ Lopes (1986), propõe substituir 25% do CaO do calcário por CaO do fosfogesso (método do V%), ou adicionar 25% a mais de CaO do calcário na forma de fosfogesso (método Al e Ca+Mg)
- ✘ Malavolta (1991) sugere as seguintes expressões para calculo da gessagem:

$$N.G (t/ha) = (0,4.CTCe - Ca) \cdot 2,5 \text{ ou}$$

$$N.G (t/ha) = (Al - 0,2.CTCe) \cdot 2,5$$

- ✘ Sousa (1988) recomenda a aplicação de 500, 1000, 1500 e 2000 Kg/ha de gesso para solos de textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente
- ✘ Sousa (1992), sugere a recomendação com base em teores de argila pela seguinte formula:  $N.G = 50 \cdot \% \text{ arg}$ 
  - 13 perfis de cerrado, camada 20 a 40cm (teor de argila de 18 a 69%)
  - retenção de  $SO_4$  na fase sólida controla a velocidade e intensidade de movimentação de bases
  - teor de argila (óxidos de Fe e Al) associado ao poder tampão de S
  - assume-se que a retenção na camada de 0-20 cm seja baixa devido a correção do pH, > M.O e aplicação de fertilizantes fosfatados
  - através de estudos de adsorção determinou-se a quantidade retida de S (camada de 20 a 60 cm) p/ manter 10 ppm em solução, quantidade suficiente para que ocorre movimentação de S e cátions para camada 20-60 cm no primeiro ano agrícola

- ✘ A quantidade de S retida na camada de 20 a 60cm foi então correlacionada com propriedades do solo a fim de determinar a N.G.

Teor de argila :

$$N.G \text{ (Kg S/ha)} = 17,0 + 6,508 \cdot \text{arg}\% \quad (r=0,79)$$

S na fase sólida/S na solução:

$$N.G \text{ (Kg S/ha)} = -113,7 + 82,773(S \text{ ret./S sol.}) - 2,739 (S \text{ ret./S sol.})^2$$

(r= 0,97)

- ✘ Devido as dificuldades de se determinar a relação S ret./S sol. A recomendação com base nos teores de argila parece mais adequada

# ADUBAÇÃO

- Nutrição
  - Fórmulas mais comuns de adubação de base
    - Plantio: 4-20-20; 5-25-25; 2,5-10-10; 10-30-20; etc
    - Soqueira: 18-00-27; 14-07-28; 14-07-21; 20-00-30; etc
  - Cobertura nitrogenada em cana planta (0 a 60 kg / ha)
    - Início das águas
    - Cultivo “quebra-lombo”
  - Adubação de base “padrão” – kg / ha

ESTÁGIO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CANA PLANTA	0 a 60	100 a 150	100 a 170
CANA SOCA	60 a 100	0 a 45	100 a 170

# ADUBAÇÃO

Nutrição – exportação de nutrientes kg / t cana

NUTRIENTE	CANA PLANTA	CANA SOCA
N	0,92	0,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,30
K <sub>2</sub> O	0,77	0,85
CaO	0,83	0,49
MgO	0,56	0,51
SO <sub>4</sub>	0,84	0,69

# Introdução N

- ✓ Dos nutrientes, o N é o principal responsável por aumentos em produtividade
- ✓ Panorama: Uréia: 52%; Sulfato de Amônio: 19%; 12% Nitrato de Amônio, Demais: 17%.
- ✓ N: Alto custo energético de obtenção.
- ✓ A adubação nitrogenada deve ser explorada visando máxima eficiência.
- ✓ Novas formas...



# FUNÇÕES DO N NA PLANTA

- Síntese de clorofila: fotossíntese.
- Componente dos citocromos, vitaminas e sistema enzimático.
- Componente dos aminoácidos: Proteínas.
- Formas transportadas:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , amidas e açúcares.



# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA

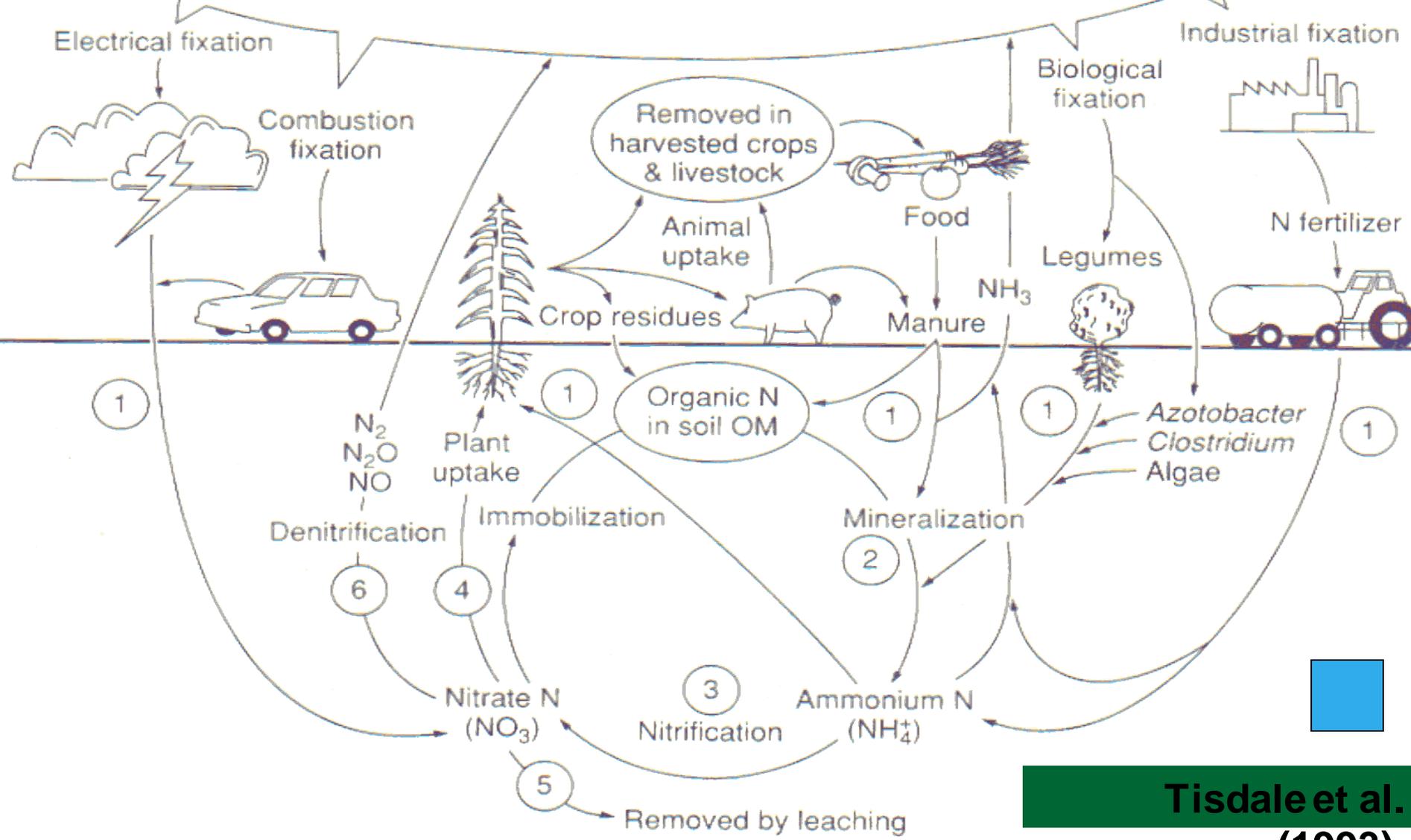
- Clorose foliar
- Crescimento de plantas reduzido
- Menor perfilhamento (Whitehead, 1995)
- Alteração no ponto de maturidade
- Baixo teor de proteína



# Ciclo biogeoquímico do N

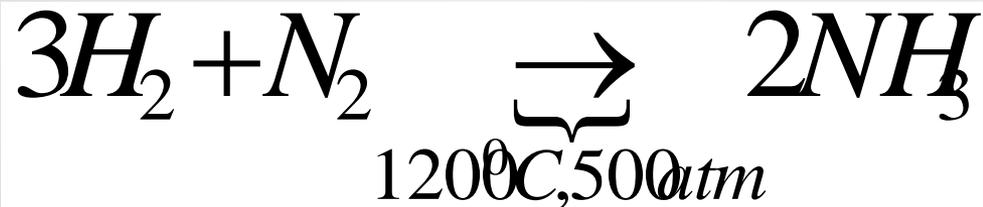
Atmospheric N Gas ( $N_2$ )

and small amounts of N oxides and  $NH_3$   
70,000,000 lb over each acre



# Ganhos de N no sistema: (*Input*)

- Raios
- Fixação biológica (livre ou simbiótica)
- Resíduos orgânicos
- Fixação industrial (adição de fertilizantes)



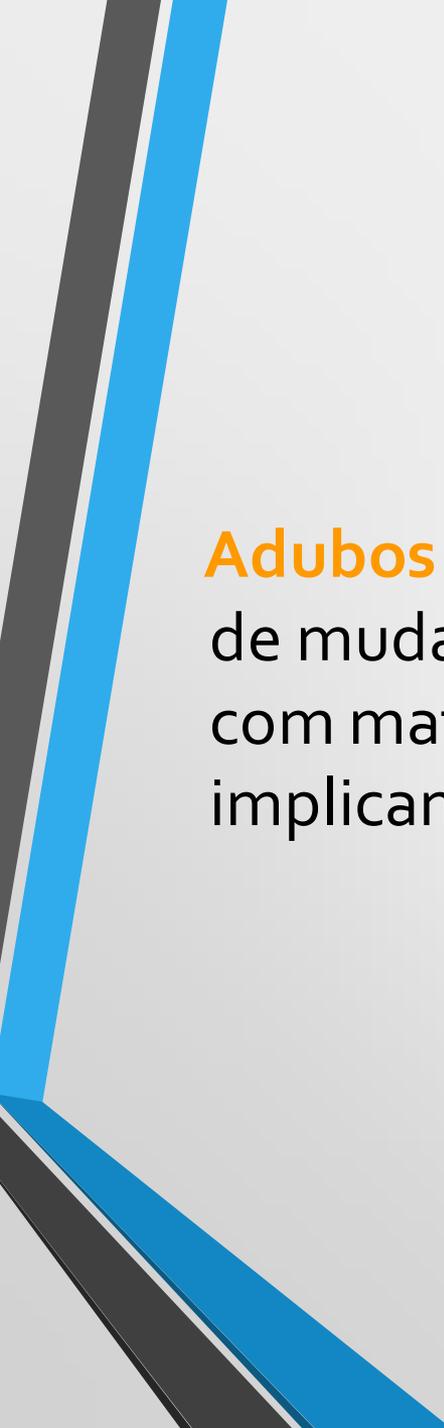
# Perdas de N do sistema: (*Output*)

- Colheita do órgão de interesse
- Lixiviação
- Volatilização (amônia)
- Desnitrificação
- Erosão



# Práticas que melhoram a eficiência de uso do fertilizante:

1. Uso de fertilizantes com maior controle da disponibilidade.
2. Mistura de fertilizantes ou c/ outros materiais.
3. Práticas agronômicas.
4. Utilização de plantas que transformam o N no órgão de interesse.



**Aducos de disponibilidade controlada:** Obtidos através de mudanças na estrutura ou através do recobrimento com materiais mais ou menos impermeáveis, implicando em maior custo.

# Principais adubos nitrogenados de disponibilidade controlada.

<b>Produtos</b>	<b>%N</b>
<b>Uréia formaldeído (UF)</b>	<b>38</b>
<b>Uréia – Z</b>	<b>33-38</b>
<b>Crotonílideno diuréia (CDU)</b>	<b>32</b>
<b>Isobutileno diuréia (IBDU)</b>	<b>30</b>
<b>Oxamida</b>	<b>31</b>
<b>Guaniluréia</b>	<b>28-37</b>
<b>Uréia Revestida de Enxofre (URS)</b>	<b>32-37</b>

Fonte: Vitti (2003)

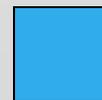




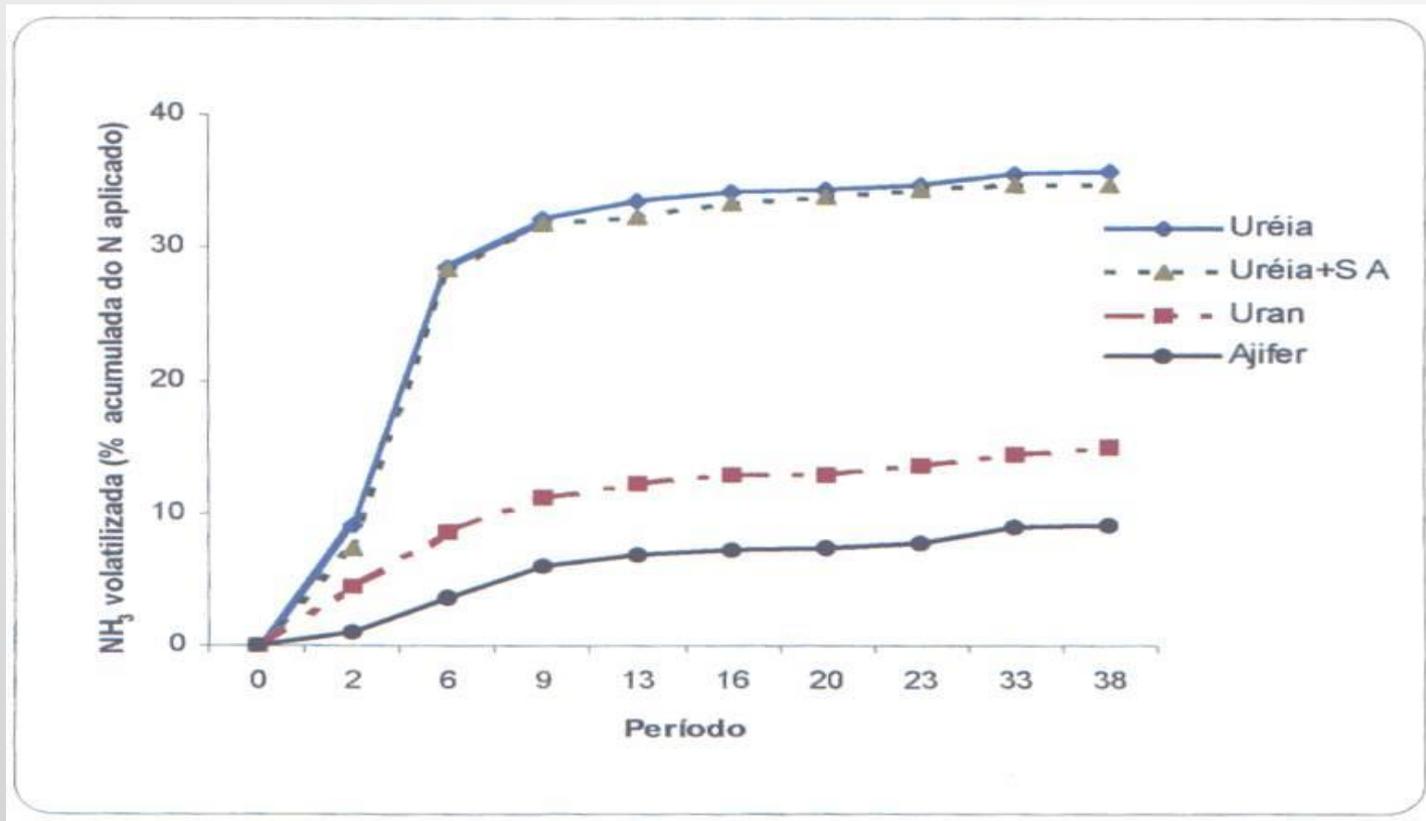
- Fertilizantes

- ✓ Uréia + Sulf. Amônio

- N + Gesso



# Resultados da pesquisa: Perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (em cana sem despalha).



Costa (2001)

- Parcelamento: Maior proporção no período de máxima absorção.
- Método de aplicação: Incorporado, superficial (à lanço ou em linha), via água de irrigação.



# Fontes de N

## *6 categorias de fontes:*

- ✓ Amoniacal (geralmente mais acidificantes)
- ✓ Nítrica (geralmente mais lixiviáveis)
- ✓ Amídica (geralmente mais volatilizáveis)
- ✓ Formas lentamente disponíveis
- ✓ Misturas de materiais
- ✓ Orgânicas



# Quanto do quê?

1. Definir o Rendimento (quantidade de produto por hectare) que atenda o máximo lucro, conforme o valor de mercado do produto.
2. Dado o Rendimento, definir a quantidade de adubo nitrogenado que atenda esse Rendimento, conforme o teor de N e a eficiência agronômica.
3. Comparar, para saber quanto do quê será aplicado.
4. [O modelo...](#)

Rendimento?

$$\pi = RT - CT$$

$$RT = \text{Preço}_{\text{produto}} * Q_{\text{produto}}$$

$$CT = \underbrace{\alpha}_{\substack{\text{Intercepto} \\ (\text{Custo Fixo})}} + \beta_1 * \underbrace{Q_{\text{produto}}^2}_{X_1} + \beta_2 * \underbrace{Q_N}_{X_2} + \beta_3 * \underbrace{C_N}_{X_3} + \varepsilon$$

# Rendimento?

$$CT = \underbrace{\alpha}_{\substack{\text{Intercepto} \\ \text{(Custo Fixo)}}} + \beta_1 * \underbrace{Q_{\text{produto}}^2}_{X_1} + \beta_2 * \underbrace{Q_N}_{X_2} + \beta_3 * \underbrace{C_N}_{X_3} + \varepsilon$$

$$\underbrace{\begin{matrix} | \\ | \\ \vdots \\ | \\ | \\ \hline 50 \times 1 \\ Y \end{matrix}} = \underbrace{\begin{matrix} | & | & | & | \\ 1 & \vdots & \vdots & \vdots \\ | & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline 50 \times 4 \\ X \end{matrix}} * \underbrace{\begin{matrix} | \\ | \\ \vdots \\ | \\ | \\ \hline 50 \times 1 \\ \varepsilon \end{matrix}} \quad n \approx 50$$

$$b = (X' * X)^{-1} * X' * Y$$

$$b = \begin{matrix} | \\ \hat{\alpha} \\ | \\ \hat{\beta}_1 \\ | \\ \hat{\beta}_2 \\ | \\ \hat{\beta}_3 \\ | \end{matrix}$$

$$\hat{CT} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 * \underbrace{Q_{\text{produto}}^2}_{X_1} + \hat{\beta}_2 * \underbrace{Q_N}_{X_2} + \hat{\beta}_3 * \underbrace{C_N}_{X_3}$$

$$\pi = RT - CT$$

$$\pi = (P_{\text{reço}} * Q_{\text{produto}}) - \left( \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 * \underbrace{Q_{\text{produto}}^2}_{X_1} + \hat{\beta}_2 * \underbrace{Q_N}_{X_2} + \hat{\beta}_3 * \underbrace{C_N}_{X_3} \right)$$

$$\pi = (P_{\text{milho}} * R_{\text{end}}) - \left( \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 * \underbrace{R_{\text{end}}^2}_{X_1} + \hat{\beta}_2 * \underbrace{Q_N}_{X_2} + \hat{\beta}_3 * \underbrace{C_N}_{X_3} \right)$$

$$0 = \frac{\partial RT}{\partial R_{\text{end}}} - \frac{\partial CT}{\partial R_{\text{end}}}$$

$$0 = RMg - CMg$$

$$\pi_{\text{máx}} : \frac{\partial \pi}{\partial Q_{\text{cana}}} = 0$$

$$0 = P_{\text{cana}} - 2 * \hat{\beta}_1 * Q_{\text{produto}}$$

$$\frac{\partial^2 \pi}{\partial R_{\text{end}}^2} < 0$$

$$R_{\text{end}} = \frac{P_{\text{cana}}}{2 * \hat{\beta}_1}$$

Rendimento  
almejado ([Ra](#))

# Resultados da pesquisa: Síntese

- ✓ Grande diversidade de informações, principalmente variando conforme tipos de solo, formas de aplicação e épocas de aplicação.
- ✓ Pouco variando conforme a fonte, quando submetidas ao mesmos tratamentos, e quando as fontes são do mesmo tipo (nitríca, amoniaca, etc.).
- ✓ Contrastantes algumas vezes.

# Algumas adoções práticas:

Ureia (sup.): 0,5

Ureia (inc.): 0,7

Sulfato de Amônio (sup.): 0,7

Sulfato de Amônio (inc.): 0,8

Nitrato de Amônio (sup.): 0,6

Nitrato de Amônio (inc.): 0,7

**Fancelli (2003, comunicação pessoal)**



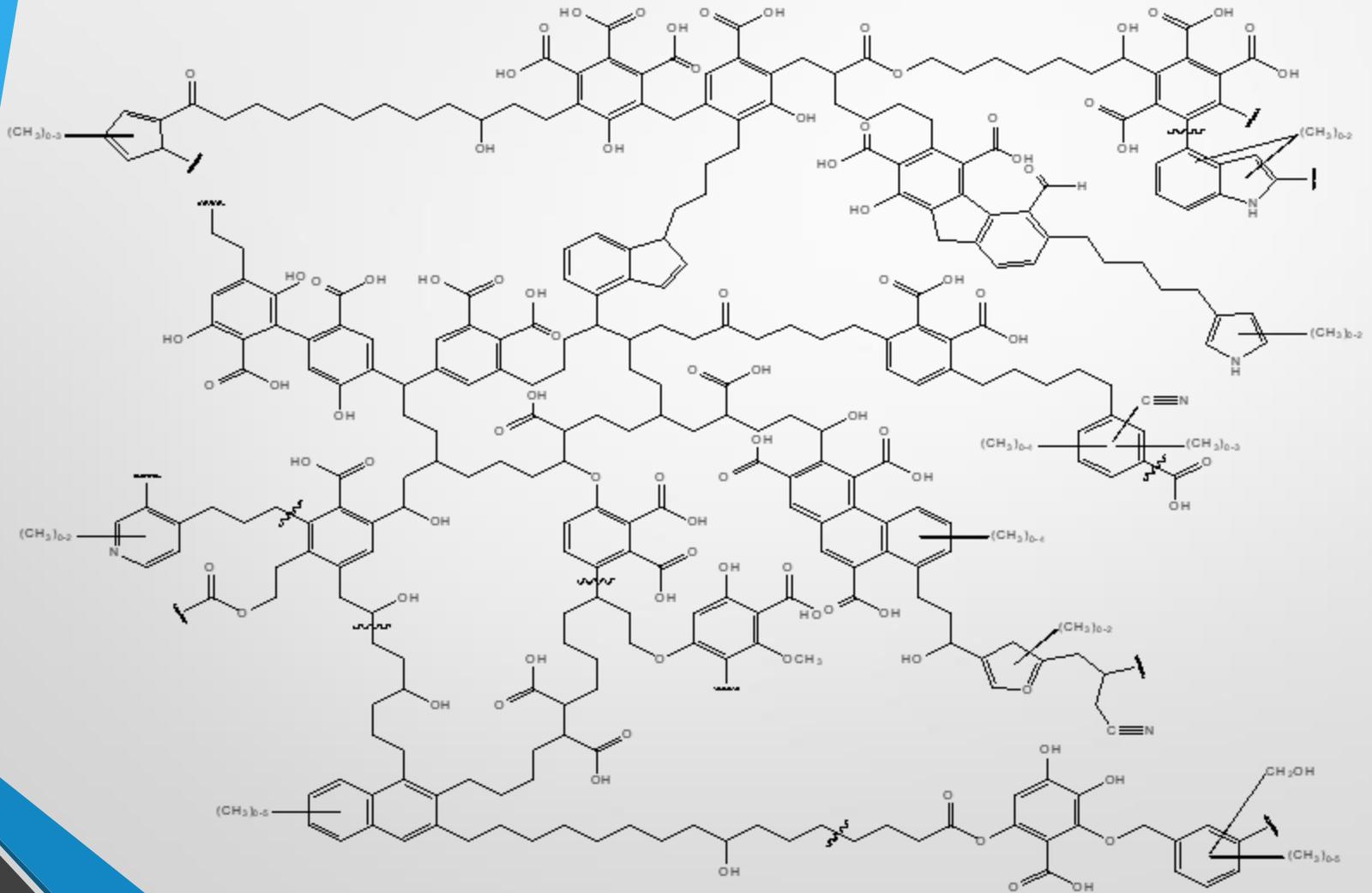
# Considerações N

- ✓ Não há diferenças consideráveis entre as diversas fontes tradicionais, no que diz respeito à eficiência agronômica.
- ✓ Não há uma fonte de N ideal, mas sim metas e manejos a serem atingidos.
- ✓ O aspecto financeiro e as condições de solo e clima vigentes determinarão qual o melhor fertilizante nitrogenado a ser empregado.
- ✓ A pesquisa deve continuar determinando valores de eficiência para as diversas situações, para efeitos de compilação de dados.

# Referências importantes

- Tisdale et al. (1993)
- Whitehead (1995)
- Costa, M. G. C. (2001)
- Urquiaga & Zapata (2000)
- Malavolta (1976)
- Vitti et al. (2002)
- Dourado-Neto & Fancelli (2000)
- Loomis & Connor (1996)
- Workshop sobre fertilizantes N e S (2001)

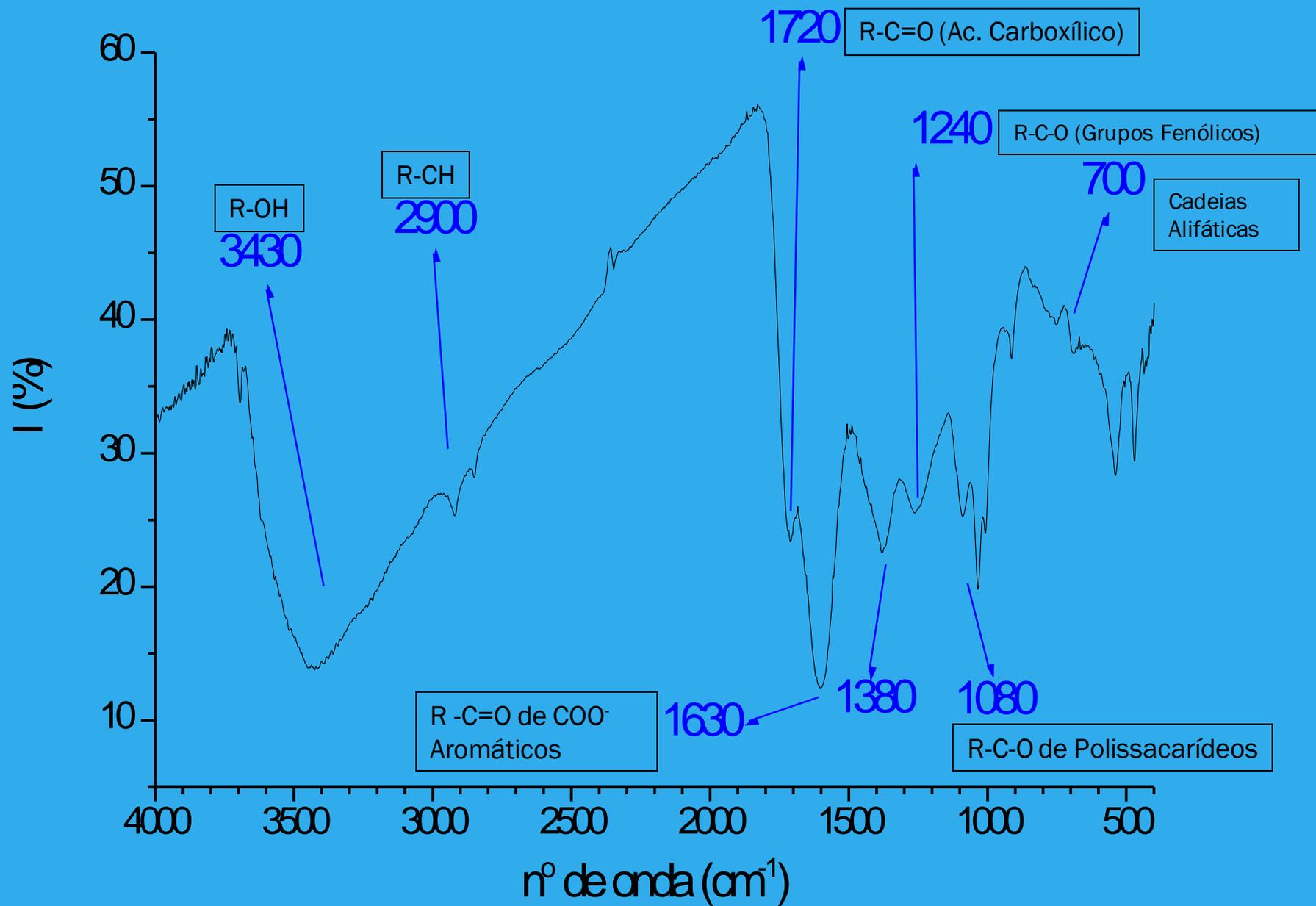
# Ácidos húmicos



# Ácidos húmicos - prerrogativas

- Sistema cíclico com pelo menos **UMA** dupla ligação no anel
- Cadeia lateral com grupamento carboxílico (-COOH) ou grupamento convertido a carbonilo (-COON)
- Pelo menos **UM** C entre carboxílico e anel
- Relação espacial entre grupo carboxílico e anel
- Forte carga negativa à 5,5 angstroms e fraca carga positiva

Fonte: CASTRO et al. 2005



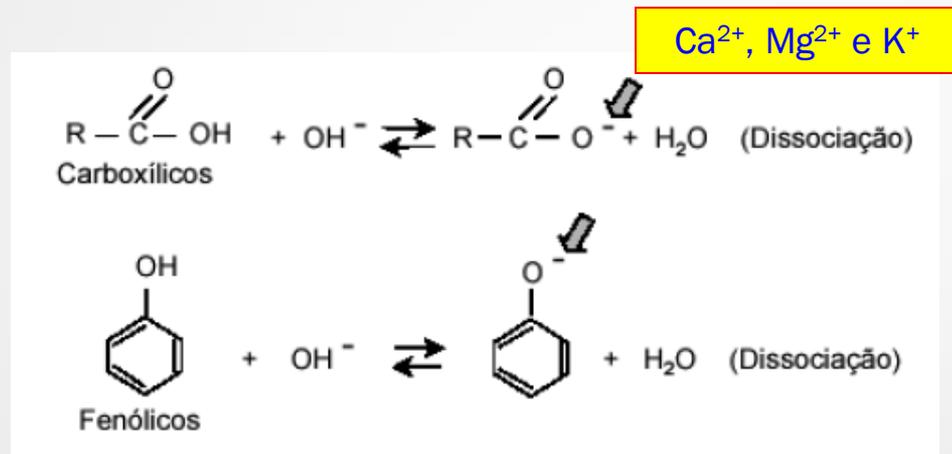
Espectro na região do infravermelho de amostra de ácidos húmicos extraído da turfa



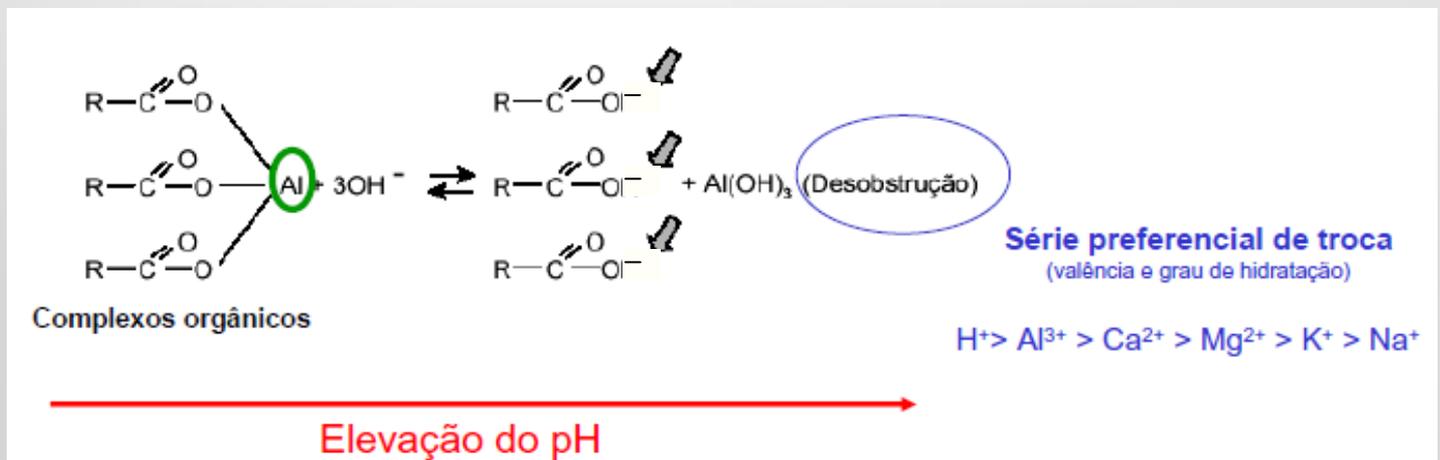
# Ação no solo

- INTIMAMENTE RELACIONADA COM AÇÃO DA **MATÉRIA ORGÂNICA** NO SOLO
- INTERAÇÃO COM A MICROBIOTA DO SOLO

# Ação de ácidos orgânicos no solo



- Geração de cargas



# Ação na dinâmica do N

✘ Denitrificação - REDOX

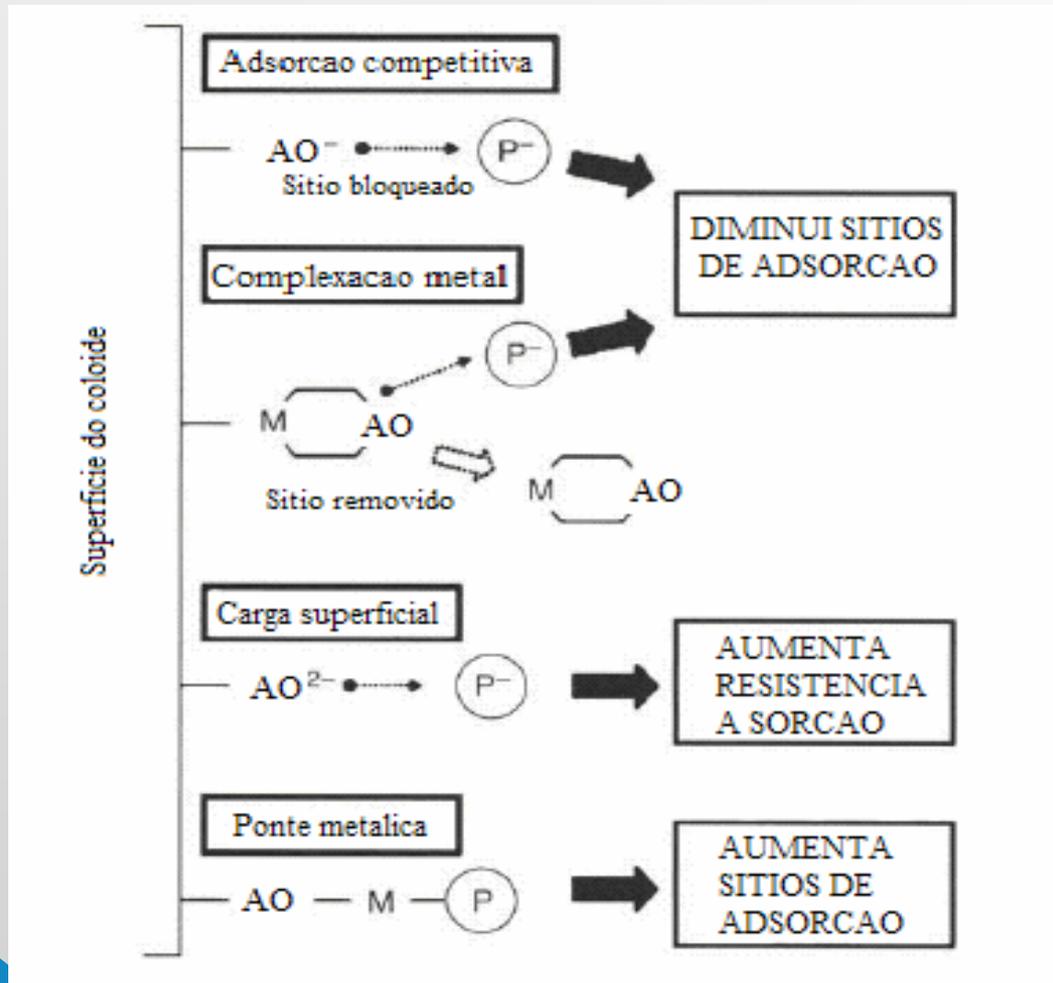
✘ Equilíbrio  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$

✘  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$

✘  $K_a = 5,6 \cdot 10^{-10} = \frac{[\text{NH}_3] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$

✘ Ação específica, desloca equilíbrio no sentido  $[\text{NH}_4^+]$  que aumenta, reduzindo  $[\text{NH}_3]$  e a perda de N por volatilização.

# Ação na dinâmica do P

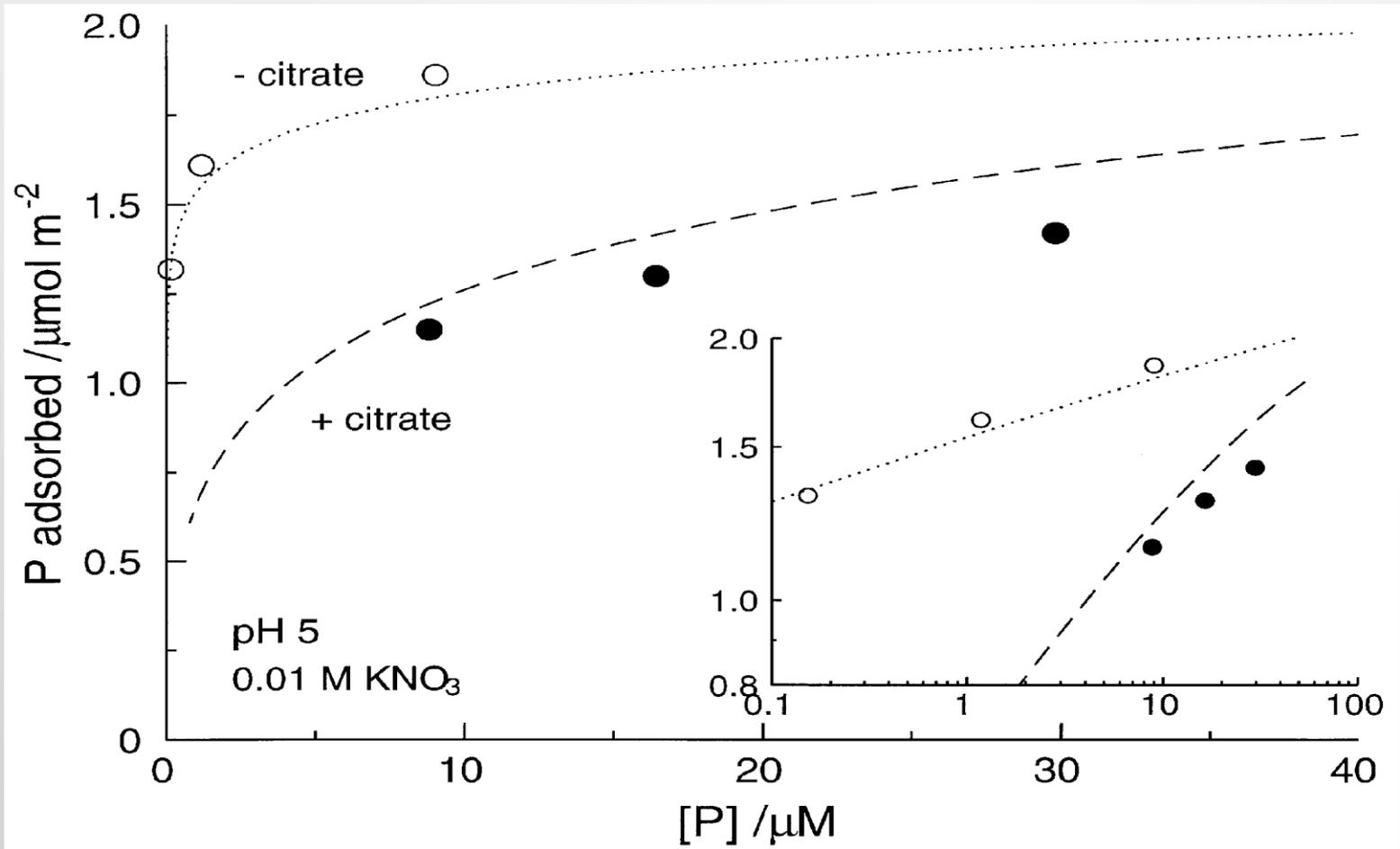


## Fatores que afetam:

1. pH do solo.
2. Concentração e tipo de AO (ác. org.)
3. Capacidade de adsorção.
4. Persistência no solo.
5. Material adsorvente.

Competição entre ácidos orgânicos e fósforo, pelos sítios de adsorção no solo (adaptado de Guppy et al., 2005).

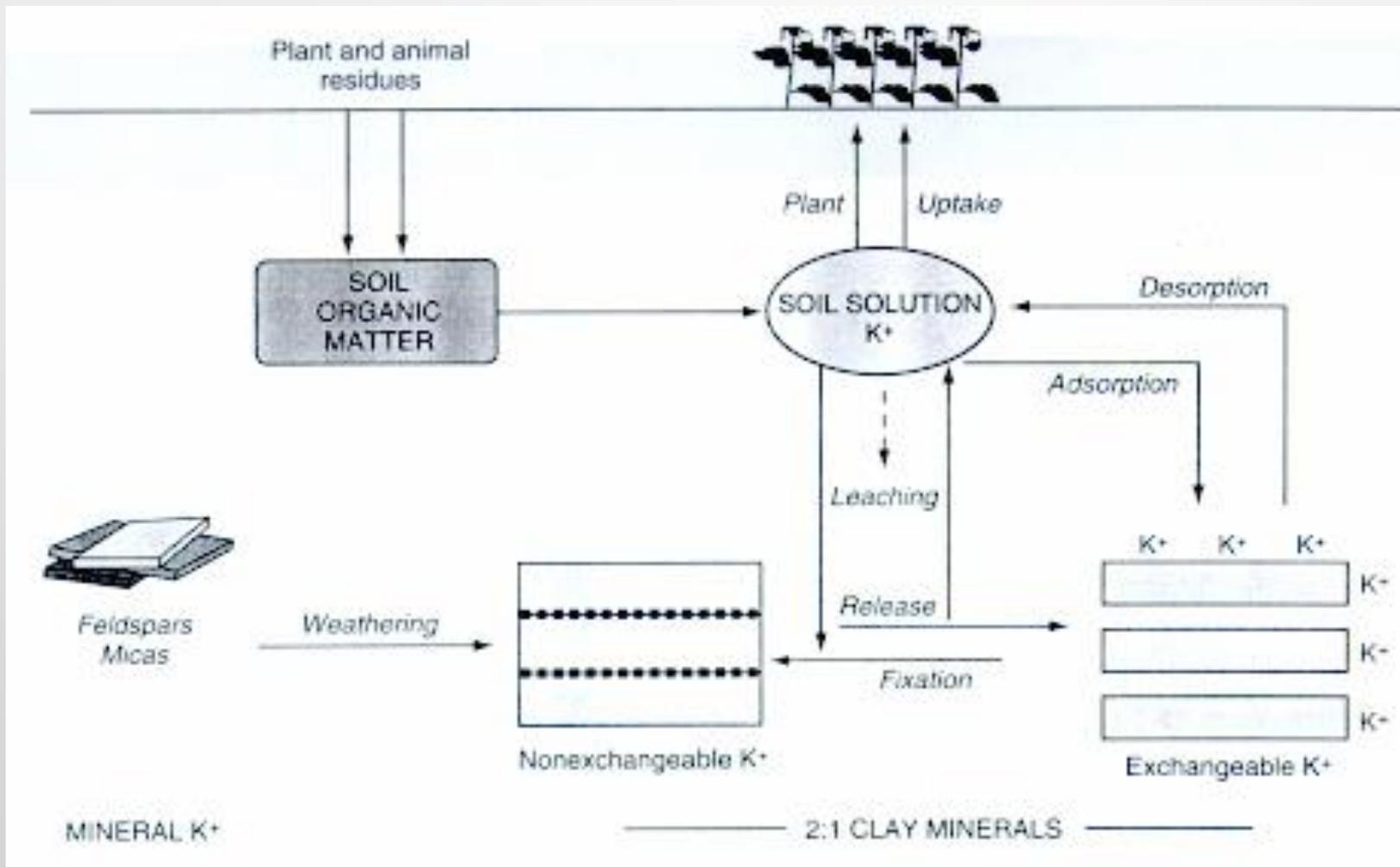
# Interação com P



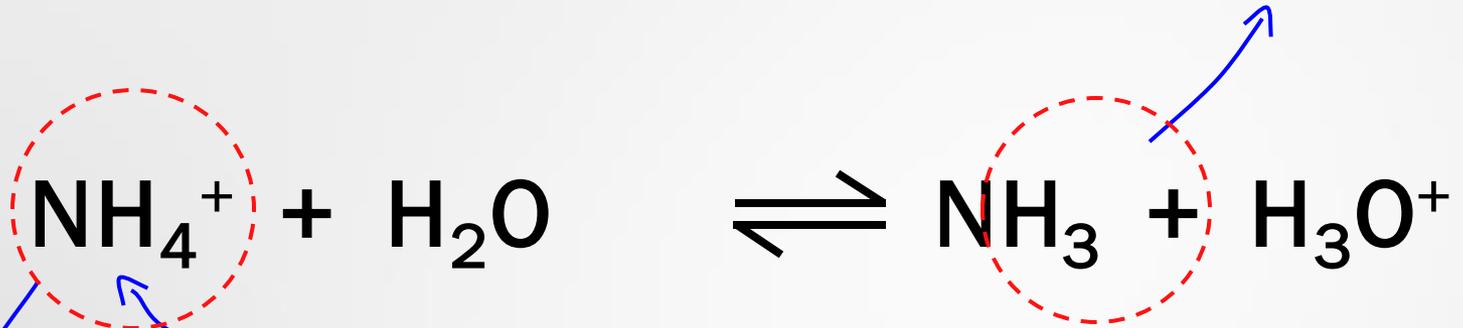
Isotermas de adsorção de P com e sem adição de citrato

Fonte: Geelhoed et al. (1999)

# Interação com K



# RESUMO DA AÇÃO NO SOLO: N & P



$\text{RNH}_4$

$\left. \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \text{P}$

$\text{P}_{\text{solúvel}}$

$\left. \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \text{R} - \text{NH}_4$

# INTERAÇÃO COM OUTROS NUTRIENTES

- Formação de complexos e quelatos de grande estabilidade, proporcional ao tamanho da cadeia carbônica.
  - Ordem de estabilidade
  - **Cu** > Fe > Co > Zn > Mn
- Efeito sobre o pH e a solubilidade dos diferentes nutrientes.
- Solubilização e disponibilização de nutrientes

# Ação na planta

- Os resultados consistentemente indicam uma melhoria do “estado geral” da planta.
- A planta com vigor é menos suscetível a patógenos
- Diferentes mecanismos atuando conjuntamente com grande interação
- Atuam no transporte de açúcares
- Expressão gênica

# AÇÃO BIORREGULADOR E BIOESTIMULANTE

- ✘ Biorregulador é um composto orgânico, não nutriente, aplicado na planta, que a baixas concentrações promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. (CASTRO, 2006)
- ✘ Bioestimulantes podem ser definidos como misturas de biorreguladores ou mistura de um ou mais biorreguladores com outros compostos de natureza química diferente (aminoácidos, vitaminas, ác. orgânicos, etc.). (CASTRO, 2006)

# AÇÃO BIOATIVADORA

- ✘ Bioativadores são substâncias orgânicas complexas modificadoras do crescimento capazes de atuar em fatores de transcrição da planta e na expressão gênica, em proteínas de membrana alternando o transporte iônico e em enzimas metabólicas capazes de afetar o metabolismo secundário, de modo a modificar a nutrição mineral, produzir precursores de hormônios vegetais, levando a síntese hormonal e a resposta da planta a nutrientes e hormônios (CASTRO, 2006).

BIOATIVADORES

Fatores de transcrição

Expressão gênica

Proteínas de membranas

Enzimas metabólicas

Transporte iônico

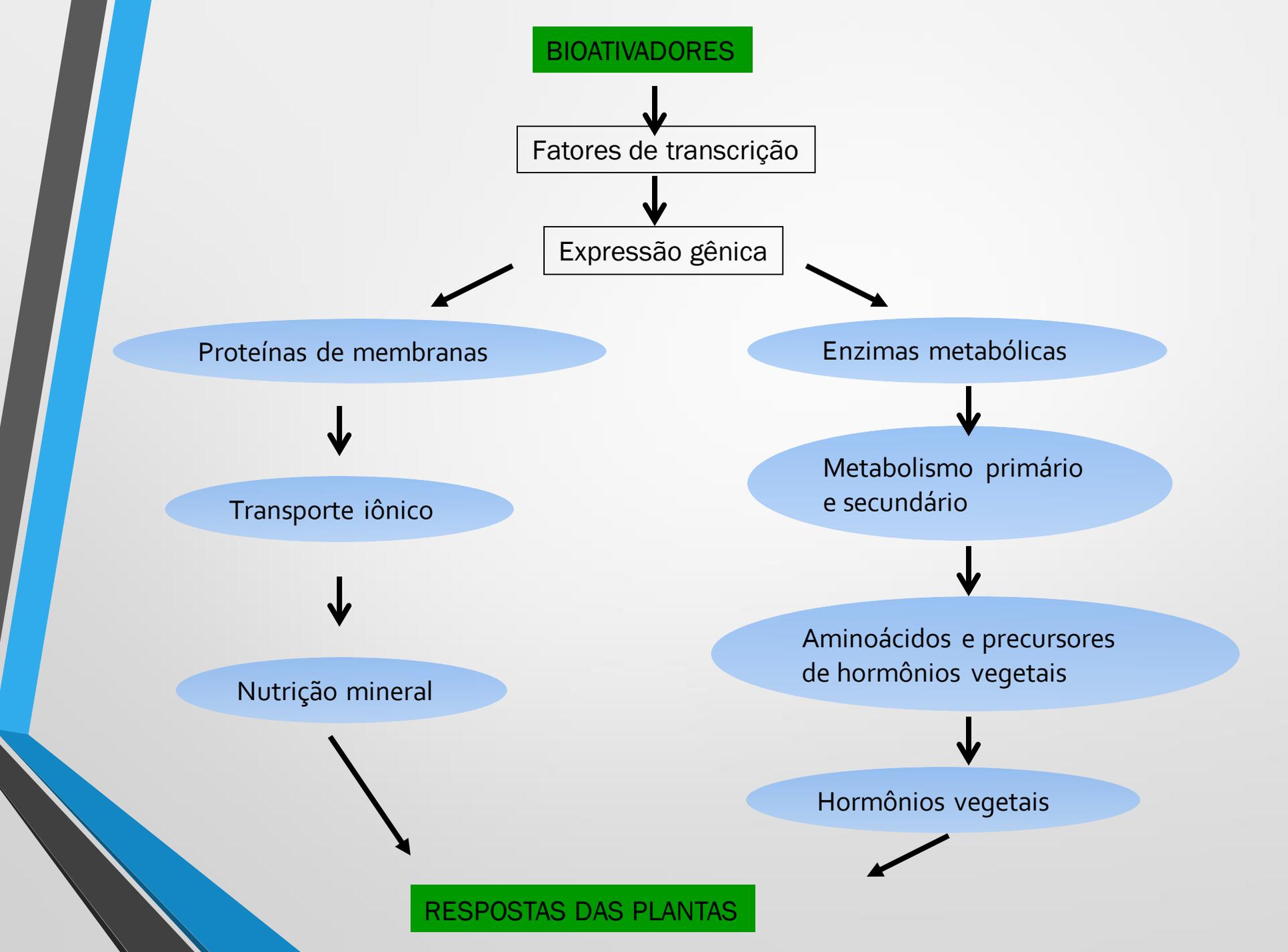
Metabolismo primário e secundário

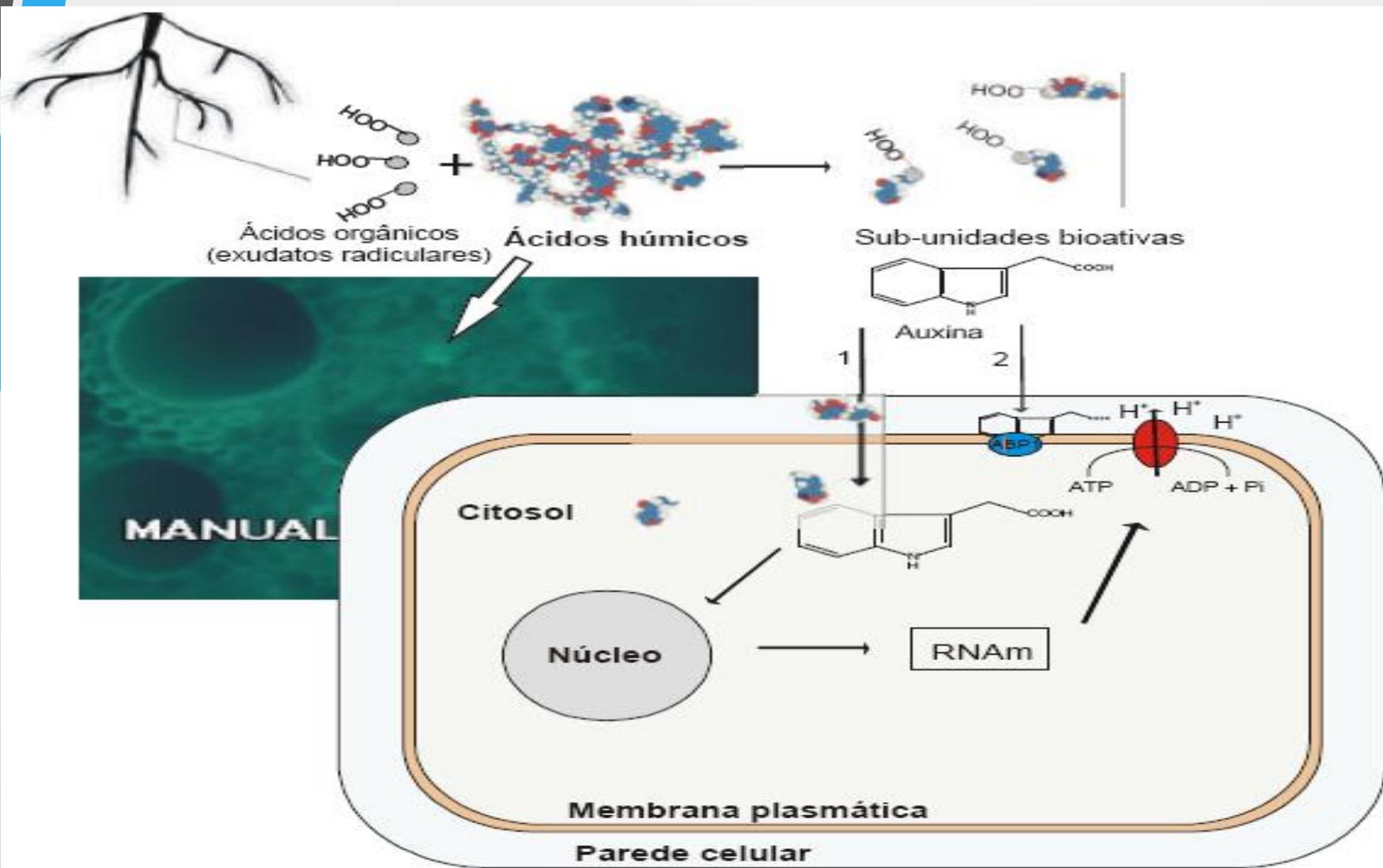
Nutrição mineral

Aminoácidos e precursores de hormônios vegetais

Hormônios vegetais

RESPOSTAS DAS PLANTAS





**Figura.** Interação de moléculas bioativas derivadas de ácidos húmicos (AH) com atividade auxínicas sobre a célula vegetal: O arranjo supra-estrutural dos AH pode ser rompido pelos ácidos orgânicos exsudados pelas raízes. Pequenas unidades estruturais portadoras de atividade hormonal como, por exemplo, substâncias do tipo auxinas, já foi observado que uma série de compostos orgânicos apresenta atividade similar à das auxinas. Fonte: Canellas (2005).

# Metabolismo de açúcares

- Transporte de açúcar na planta envolve ativação de enzimas com forte interação com aminoácidos e  $K^+$
- Processos envolvendo partição para vias metabólicas são afetados diretamente pelas atividades enzimáticas das redutases catalisadas pelo  $K^+$

# Aminoácidos

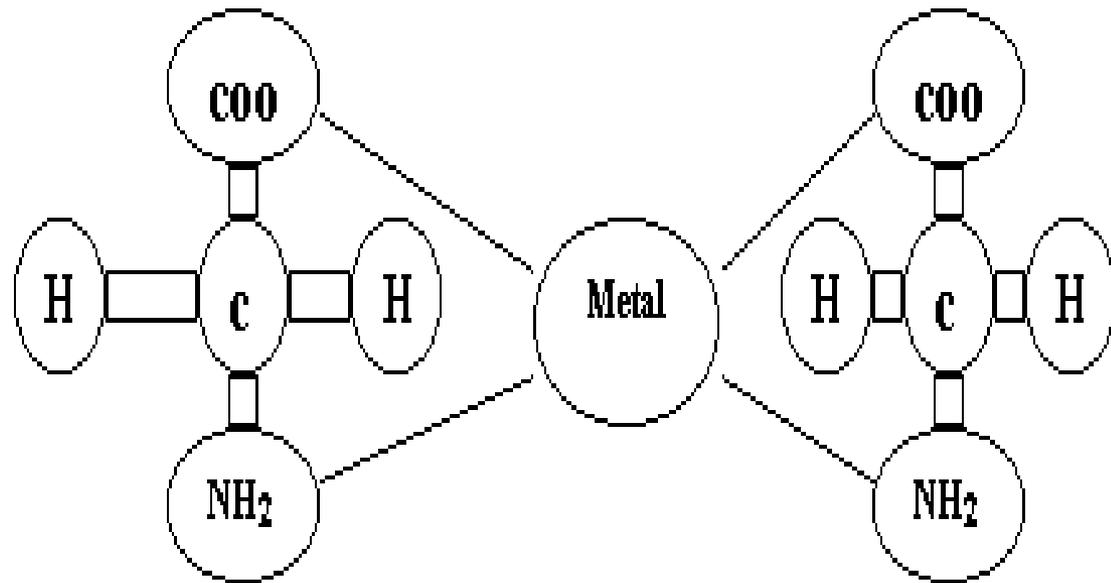
## Característica dos Aminoácidos:

- Regula abertura estomática
- Aumenta a taxa de transpiração
- Incrementa a atividade fotossintética
- Favorece a polinização e frutificação
- **Favorece a absorção e transporte de substâncias**
- **Potencializa o efeito de agroquímicos**
- Melhora a qualidade dos frutos
- Melhora calibre e homogeneidade dos frutos
- Favorece equilíbrio nutricional

# FORMAM QUELATOS NATURAIS BIOLOGICAMENTE ATIVOS



Figura A



Molécula de un quelato de aminoácido

En la glicina, el complejo formado con el metal divalente, adopta la forma de la **figura A**.

# CONSIDERAÇÕES

- ✘ Uso de ácidos orgânicos na agricultura apesar de recente demonstra grande potencial
- ✘ Mecanismos de atuação ainda não estão bem compreendidos
- ✘ Aminoácidos e ácidos húmicos formam a unidade estrutural de compostos vitais para as plantas, proteínas e hormônios respectivamente
- ✘ Benefícios no ambiente de produção e no metabolismo da planta, inclusive sua resistência.

# ADUBAÇÃO

- Nutrição - Resíduos agroindustriais
  - Torta de filtro – composição

ELEMENTO (unidade)	Copersucar	Planalsucar	ESALQ
<b>N</b> (%MS)	1,41	0,87	1,26
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (%MS)	1,94	1,35	2,61
<b>K<sub>2</sub>O</b> (%MS)	0,39	0,28	0,27
<b>CaO</b> (%MS)	2,10	2,18	5,04
<b>MgO</b> (%MS)	0,89	0,24	0,54
<b>SO<sub>4</sub></b> (%MS)			3,55
<b>SiO<sub>2</sub></b> (%MS)		14,06	
<b>C</b> (%MS)	39,60	31,20	36,20
<b>Fe</b> (ppm)		34.870	25.100
<b>Mn</b> (ppm)		590	624
<b>Cu</b> (ppm)		51	65
<b>Zn</b> (ppm)		83	89
<b>Mo</b> (ppm)			0,6
<b>Umidade</b> (%)	79,41	74,77	77,77

# ADUBAÇÃO

- Nutrição - Resíduos agroindustriais
  - Torta de filtro – aplicação
    - Dosagem de 4 a 12 t MS /ha
    - Área total antes / durante preparo
    - Sulco de plantio - localizado
    - Entrelinha da soqueira
  - Compostagem com bagaço e outros materiais
    - Redução umidade
    - Aumento do volume total
    - Complementação de nutrientes

# ADUBAÇÃO

- Nutrição - Resíduos agroindustriais
  - Vinhaça – composição

ELEMENTO (unidade)	MOSTO DE MELAÇO	MOSTO MISTO	MOSTO DE CALDO
<b>N</b> (kg / m3)	0,665	0,400	0,285
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (kg / m3)	0,200	0,270	0,218
<b>K<sub>2</sub>O</b> (kg / m3)	<b>5,455</b>	<b>2,680</b>	<b>1,525</b>
<b>CaO</b> (kg / m3)	2,153	1,050	0,405
<b>MgO</b> (kg / m3)	1,060	0,493	0,313
<b>SO<sub>4</sub></b> (kg / m3)	1,050	1,600	2,030
<b>Mat. orgânica</b> (kg / m3)	49,07	31,21	24,39
<b>Fe</b> (ppm)	79,67	78,00	68,67
<b>Cu</b> (ppm)	5,0	3,9	1,6
<b>Zn</b> (ppm)	3,3	3,0	2,3
<b>Mn</b> (ppm)	8,0	7,5	7,0
<b>pH</b>	4,25	3,95	3,60

# ADUBAÇÃO

- Nutrição - Resíduos agroindustriais
  - Vinhaça – aplicação
    - Dosagem em função  $K_2O$  – 100 a 300  $m^3$  / ha
    - Aplicação limitada pelas distâncias, topografias, distribuição de áreas, sistemas de aplicação, etc.
    - Fertirrigação – uso de águas servidas
    - Uso de caminhões tanques
    - Recurso importante na safra – estiagem
    - Melhora a brotação da soqueira
    - Aumenta a atividade microbiana solo

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A correção do solo é muito importante, e os critérios de recomendação devem ser bem compreendidos
- Adubação nitrogenada tem muitos aspectos a serem considerados
- Adubação fosfatada é afetada pela natureza do solo e interage com Mg
- Adubação potássica é mais simples e muito importante
- Uso de resíduos industriais na cana é uma ferramenta fundamental na redução de custos e no aumento da eficiência