

# As modernas técnicas de nutrição de plantas

Ir. E.H.A. Holman, M.Sc., Dessa Consult, Rua Verbenias 124, Centro, Holambra-SP, Caixa Postal 305, 13825-970, fone 0\*\*19-3802 5456, [dessaconsult@dessa.com.br](mailto:dessaconsult@dessa.com.br), Holambra-SP, Brasil

3ª Revisão 15 de Março de 2015, 2ª revisão 23 de Maio 2009, primeira edição 05 de Junho de 2000

## Introdução

Modernas técnicas de nutrição de plantas hoje englobam o uso correto de conhecimentos e técnicas já existentes, mas ainda pouco usados na prática.

Em seguida ofereço um resumo do desenvolvimento histórico da área e procuro explicar as atuais teorias, fundamentos para as modernas técnicas de nutrição de plantas. Meu único objetivo é fazer entender como funciona a absorção de nutrientes pela planta e o que se deve fazer para garantir uma nutrição adequada às condições de produção.

## Conteúdo

1. Nutrição de plantas: um resumo histórico
2. Na célula: (Mecanismos de) absorção de nutrientes & efeitos sobre o pH
3. Resumindo
4. A nutrição na prática
  - a. O pesquisador
  - b. O produtor

### 1. Nutrição de plantas: um resumo histórico

O peso de uma planta aumenta com seu crescimento. Será que este aumento coincide com uma perda de peso ao redor da planta?

J.B. Helmont (1577-1649) plantou um ramo de 2.5 kg de um salgueiro num vaso com 100 kg de terra. Todo dia o ramo foi regado com água de chuva. Depois de 5 anos o ramo era um salgueiro de 82 kg. O peso da terra no vaso tinha diminuído com 60 gramas. A conclusão do Helmont: uma árvore necessita principalmente de água para aumentar seu peso, e consegue sintetizar a partir da água os constituintes que ela precisa.

De Saussure (1804) descobriu que aumento de peso também pode ser a consequência de absorção de elementos da atmosfera. Seu descobrimento da *fotossíntese* foi um importante passo para frente.

No mesmo tempo foi descoberto que depois de queimar material vegetal, sobravam vários elementos, que chamavam de elementos “terra”: elementos que não existem na atmosfera, nem em água pura.

De Saussure foi o primeiro quem apresentou uma lista com nutrientes provenientes do solo: N,P,S,K,Ca,Mg & Si. Exceto o Si, hoje todos estes elementos são considerados essenciais para o desenvolvimento de plantas.

Concentração  
de nutrientes na  
planta

Plant Nutrient	Relative Concentration	Average Concentration*
H	60,000,000	6.0 %
O	30,000,000	45.0 %
C	30,000,000	45.0 %
N	1,000,000	1.5 %
K	400,000	1.0 %
Ca	200,000	0.5 %
Mg	100,000	0.2 %
P	30,000	0.2 %
S	30,000	0.1 %
Cl	3,000	100 ppm (0.01%)
Fe	2,000	100 ppm
B	2,000	20 ppm
Mn	1,000	50 ppm
Zn	300	20 ppm
Cu	100	6 ppm
Mo	1	0.1 ppm

\*Concentration expressed by weight on a dry matter basis.

Mesmo com todo o conhecimento até então, ainda em 1800 em Berlim foi entregue um prêmio para a declaração que os elementos “terra” não são absorvidos do solo, mas surgem na planta via o “vis vitalis” (vitalidade), ou seja, a planta consegue sintetizar estes elementos.

Justus Liebig (1803-1873) começou o princípio de que fertilidade de solo está relacionada com armazenagem de minerais no solo. Os trabalhos de A.F. Wiegmann & L. Polstorff mostram que uma planta não dispõe de elementos “terra” e nem pode produzir estes elementos. Plantas foram cultivadas em areia esterilizada e areia lavada. Recebiam água destilada com e sem adição de diversos sais minerais.

## 2. Na célula: (Mecanismos de) absorção de nutrientes & efeitos sobre o pH

Como é que uma planta absorve os elementos “terra”?

A ideia inicial era: elementos em solução são sugados para dentro da planta, junto com a água. Neste esquema, as membranas e citoplasma teriam a função de peneira. Diferenças na composição mineralógica eram atribuídas a diferenças em permeabilidade das raízes para diferentes nutrientes.

As primeiras pesquisas tratavam de medir a permeabilidade de materiais vegetais e suas células para diferentes substâncias em solução.

Surgiram duas teorias:

- E. Overton: Quanto mais lipofílica uma substância, mais fácil ela penetra uma célula de uma planta.
- W. Ruhland: Moléculas pequenas penetram uma célula de uma planta com maior facilidade que moléculas grandes (desde que são igualmente lipofílicas).

As pesquisas da primeira metade do século 19 geraram compreensão dos processos de transporte passivo através de membranas.

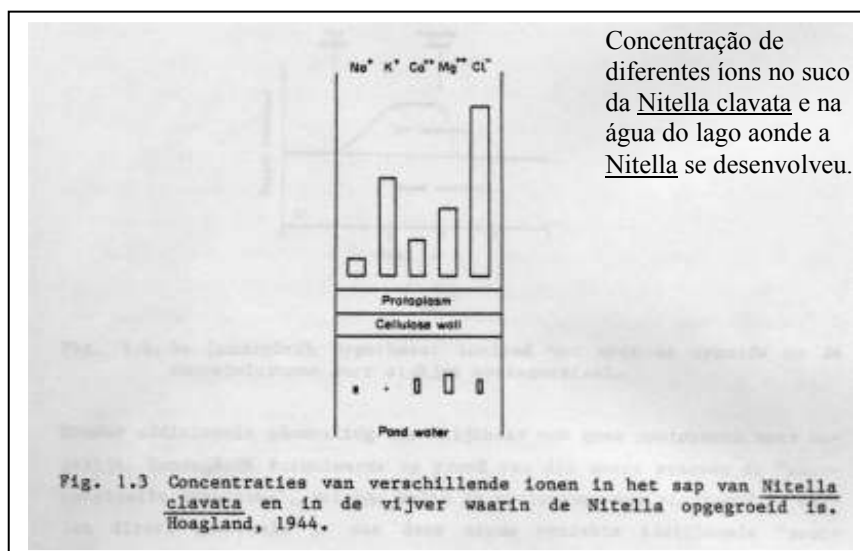
Sais minerais são extremamente hidrofílicos e quando hidratados não são muito pequenos. A rápida absorção de sais minerais pelas raízes de plantas não pôde ser explicada com as teorias de permeabilidade e lipofilismo.

A conclusão: membranas têm outra função além de peneirar substâncias.

Já em 1904 o W. Pfeffer escreveu sobre o conceito do “carrier”: “plantas são capazes de direcionar sais para atravessar membranas. Isso ocorre por causa de uma interação temporária com vários constituintes de células.”

Numa pesquisa sobre osmose Pfeffer introduz o termo *semi-permeável*.

D.R. Hoagland demonstra com seus experimentos com algas *Nitella clavata* que células são capazes de absorver sais minerais independente da transpiração.



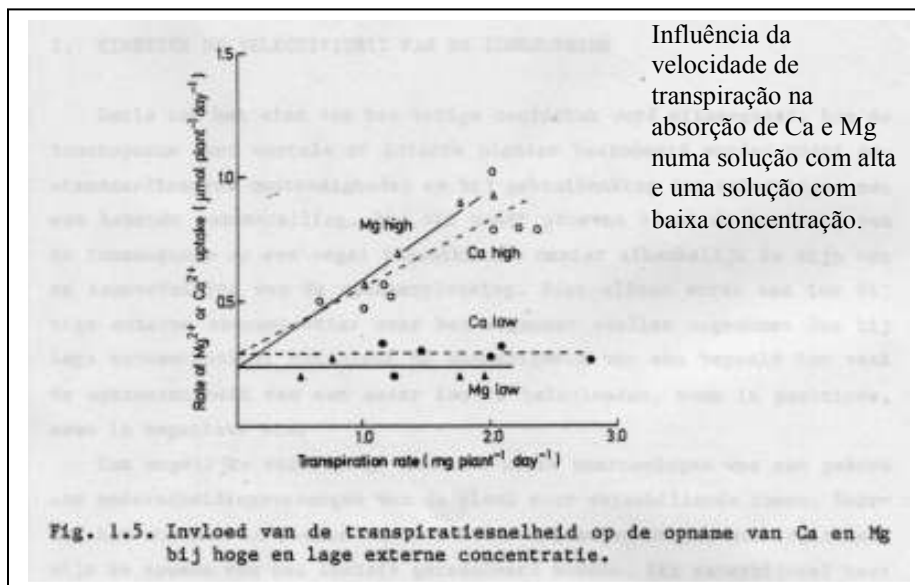
A planta consegue absorver sais por um sistema ativo: bombeamento de sais para dentro da planta. De onde vem a energia para fazer a “bomba de sais” funcionar?

Na década de 1920 H. Lundegard mostra a existência da relação entre a *respiração das raízes* e absorção de sais.

Na década de 1950 foi provada que plantas absorvem sais como íons:

O pH de uma solução de sulfato de amônia abaixava-se com a absorção de íons pela planta. O pH aumentava com absorção de uma solução de nitrato de cálcio. Quando uma planta absorve mais cátions que ânions, a eletro-neutralidade dentro da planta permanece por causa da emissão de  $H^+$ . Quando uma planta absorve mais ânions que cátions, a eletro-neutralidade dentro da planta permanece por causa da emissão de  $OH^-$ .

O termo “absorção de sais” é trocado por “*absorção de íons*”.



Absorção de íons é um processo ativo, mas também existe a absorção passiva. A contribuição na absorção pelo processo passivo é bem menor que se acreditava 100 anos atrás.

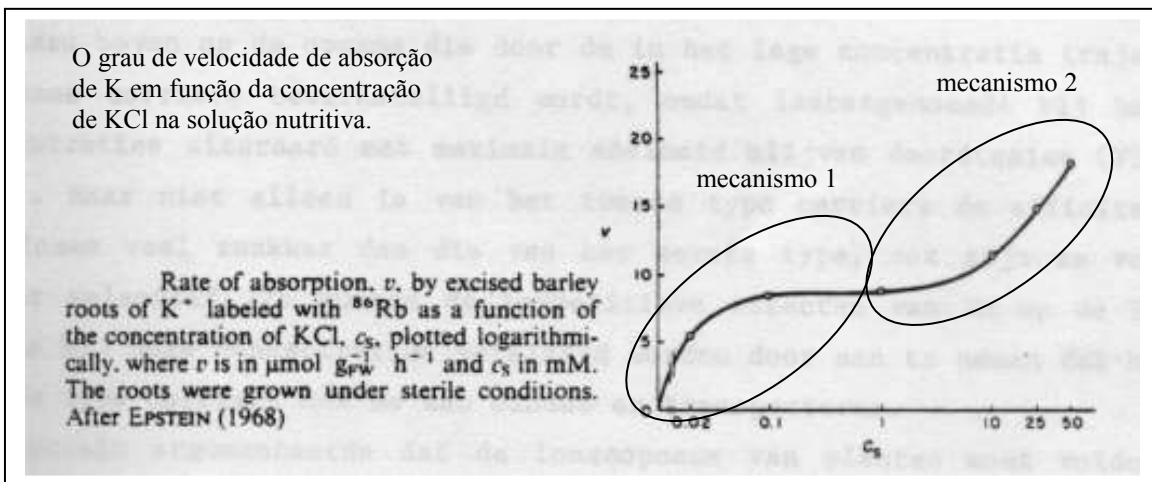
E. Epstein melhorou aspectos técnicos dos experimentos de absorção. Ele também correlacionou a velocidade das reações bioquímicas (enzimas) pesquisadas por Michaelis & Menten (1913) e absorção ativo de íons via ‘carriers’.

Análises cinéticas de experimentos com absorção de íons mostraram que íons quimicamente similares são concorrentes disputando os locais disponíveis para absorção (por exemplo: Rb, Cs & K). Não houve concorrência entre K, Ca & Mg na absorção pelas raízes. Dependendo da cultura, a seletividade para K & Na varia. Em geral, na absorção de anions existe uma competição maior do que entre os cátions. Entre fosfato, nitrato, cloro e sulfato não existe concorrência na absorção pelas raízes de plantas. (Br & Cl competem, bem como Se &  $SO_4$ ).

$H^+$  mostrou uma interação competitiva com K (& Rb).

Os micro-elementos também podem ser absorvidos via ‘carriers’. Entre micro-elementos quimicamente similares ocorre absorção competitiva (por exemplo, entre Zn & Cd).

Para concentrações iônicas baixas (até aprox. 1 mmol/l) na solução nutritiva, a velocidade de absorção atinge saturação. Com altas concentrações iônicas, a velocidade de absorção continua aumentando sem atingir um nível máximo. A seletividade dos ‘carriers’ diminui com aumento da concentração.



Além do primeiro mecanismo de absorção (absorção via ‘carrier’ em solução nutritiva com baixa concentração), existe um segundo mecanismo que aparece ativo quando têm altas concentrações de um íon na solução nutritiva. Para entender este mecanismo, pesquisadores fizeram as seguintes perguntas:

- Existem mais ‘carriers’ que somente são ativados quando ocorrem altas concentrações de um íon? (Epstein)
- Existe 1 ‘carrier’ para cada tipo de íon que adapta sua seletividade e velocidade máxima conforme a concentração do íon? (P. Nissen)
- Existe um ‘carrier’ para cada tipo de íon e o mecanismo 1 (absorção via ‘carrier’ quando a concentração é baixo) é restringido por um gradiente de difusão? (G.R. Findenegg)

Experimentos seguiram. Variaram as concentrações de íons na solução nutritiva e mediram as velocidades de absorção correspondentes. Os experimentos não geraram maiores entendimentos.

O mecanismo básico por célula = bomba de  $H^+$  para a manutenção de aprox. 100 a 150 mV negativo.

Aparentemente uma célula se mantém aprox. 100 a 150 mV negativo em comparação com seu meio ambiente. Sob a influência dessa diferença de potencial, partículas com carga elétrica (como íons) se distribuem na plasmalema (membrana da célula), conforme a sua carga permite (permanecendo a carga de 100 a 150 mV). É o chamado equilíbrio do Nernst.

$$\Delta E \text{ (mV)} = 1/z * 58 * \log (c_i/c_o)$$

$\Delta E$  é a diferença do potencial elétrico sobre a membrana em miliVolt

$z$  é o valor numérico da carga elétrica da substância

$c_i$  é a concentração interna (meq/l)

$c_o$  é a concentração externa (meq/l)

Íon	Z	$c_o$	$c_i$ medida	$c_i$ calculada com Nernst	Conclusão
		meq/l			
$K^+$	1	1	75	74	$\mu_i \cong \mu_o$
$Na^+$	1	1	8	74	$\mu_i < \mu_o$
$Mg^{++}$	2	0.25	3	2700	$\mu_i < \mu_o$
$Ca^{++}$	2	1	2	10800	$\mu_i < \mu_o$
$NO_3^-$	-1	2	28	0.027	$\mu_i > \mu_o$
$Cl^-$	-1	1	7	0.0136	$\mu_i > \mu_o$
$H_2PO_4^-$	-1	1	21	0.0136	$\mu_i > \mu_o$
$SO_4^{--}$	-2	0.25	19	0.00009	$\mu_i > \mu_o$

A absorção de Mg & Ca é controlada com a permeabilidade da plasmalema.

A absorção de Na deveria ser praticamente igual a absorção de K. Mesmo assim, na maioria das plantas a relação K/Na medida é maior que 1. Aparentemente quase todos os íons têm um fluxo detectável (um vazamento de dentro para fora da célula). O fluxo de dentro para fora da célula medido para Na é muito alto. Conclusão: a planta consegue bombear Na de forma ativa para fora das células.

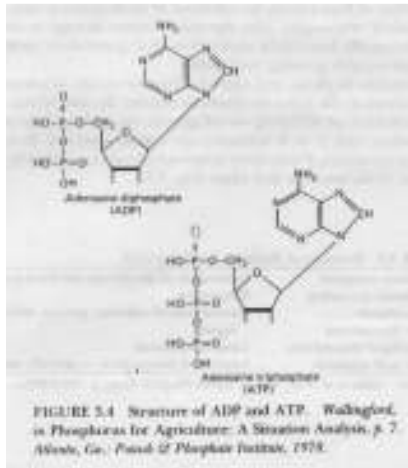
O fluxo de dentro para fora da célula para Ca e micro-elementos com carga positiva é o menor.

Para Na & NO<sub>3</sub> o fluxo pode ser maior de dentro para fora.

Conclusão: a plasmalema de células de plantas não é hermeticamente fechada.

Absorção passiva de íons é provavelmente acoplada a esta característica.

Kitisato (1968) executou medições de resistência com células de Nitella, e com isso ele deu início a hipótese que células mantêm uma diferencial de potencial elétrica com o transporte de H<sup>+</sup> através de suas membranas: uma bomba de H<sup>+</sup> impulsionado por ATP.



29 kJ/mol de energia é liberado com a divisão de ATP.

Com um ΔE de 120 mV e ΔpH de 2.0, o transporte de 1 mol H<sup>+</sup> através da membrana custa 22,5 kJ.

É reconhecido que a diferença em potencial elétrico entre células e seu meio ambiente é a consequência da divisão de ATP na plasmalema. A divisão é relacionada ao transporte ativo de H<sup>+</sup> para fora da célula, fazendo com que a célula receba carga negativa.

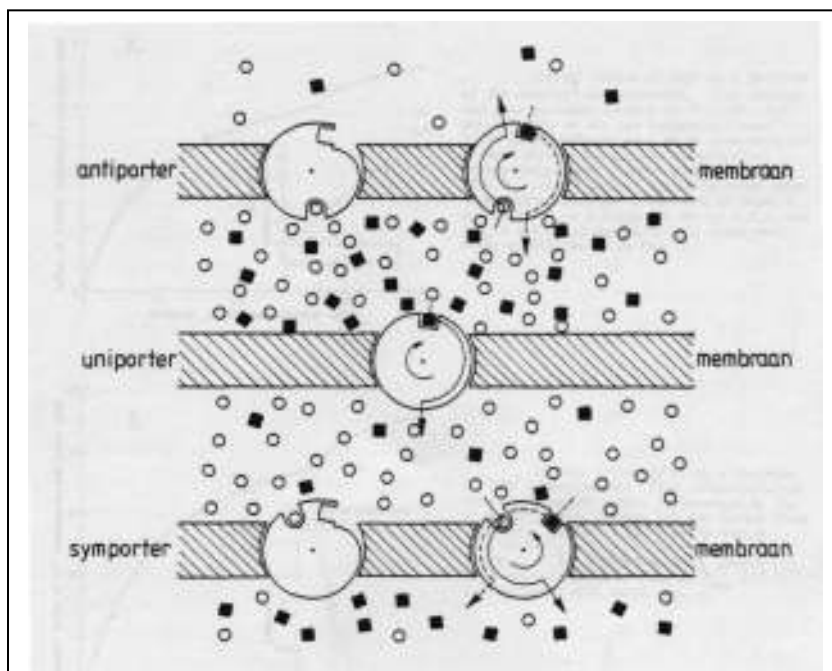
Na absorção de um ânion a célula absorve simultaneamente um equivalente de carga positiva para cada equivalente de carga negativa mais um equivalente de carga positiva extra.

Para a absorção de 1 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> são absorvidos 2 H<sup>+</sup>.

Para a absorção de 1 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> são absorvidos 2 H<sup>+</sup>.

Para a absorção de 1 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> são absorvidos 3 H<sup>+</sup>.

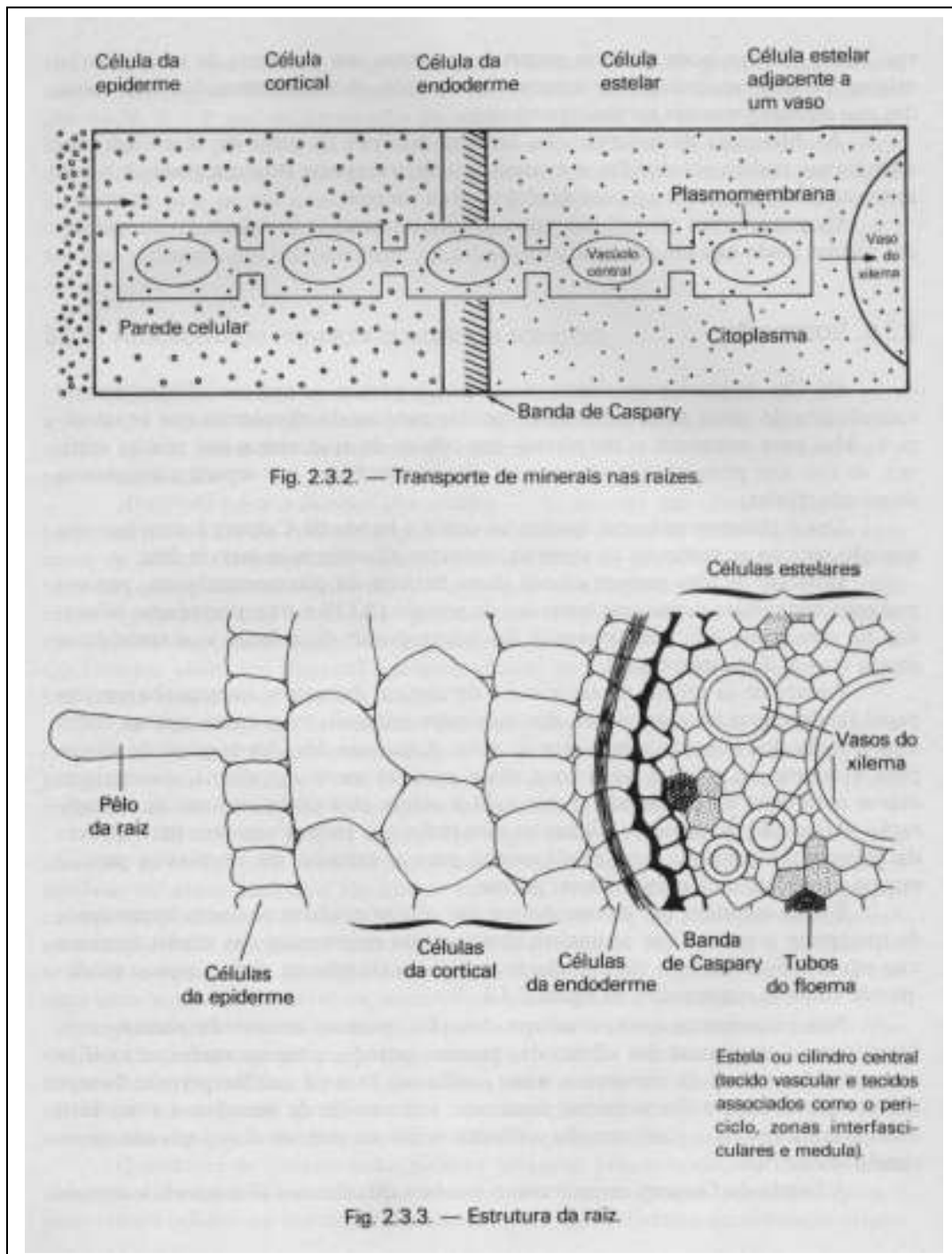
A absorção ocorre via ‘carriers’:



Modelos mostrando várias funções de ‘carriers’ durante o transporte de substâncias. Transporte para cima é forçado; o transporte da substância para baixo é voluntário.

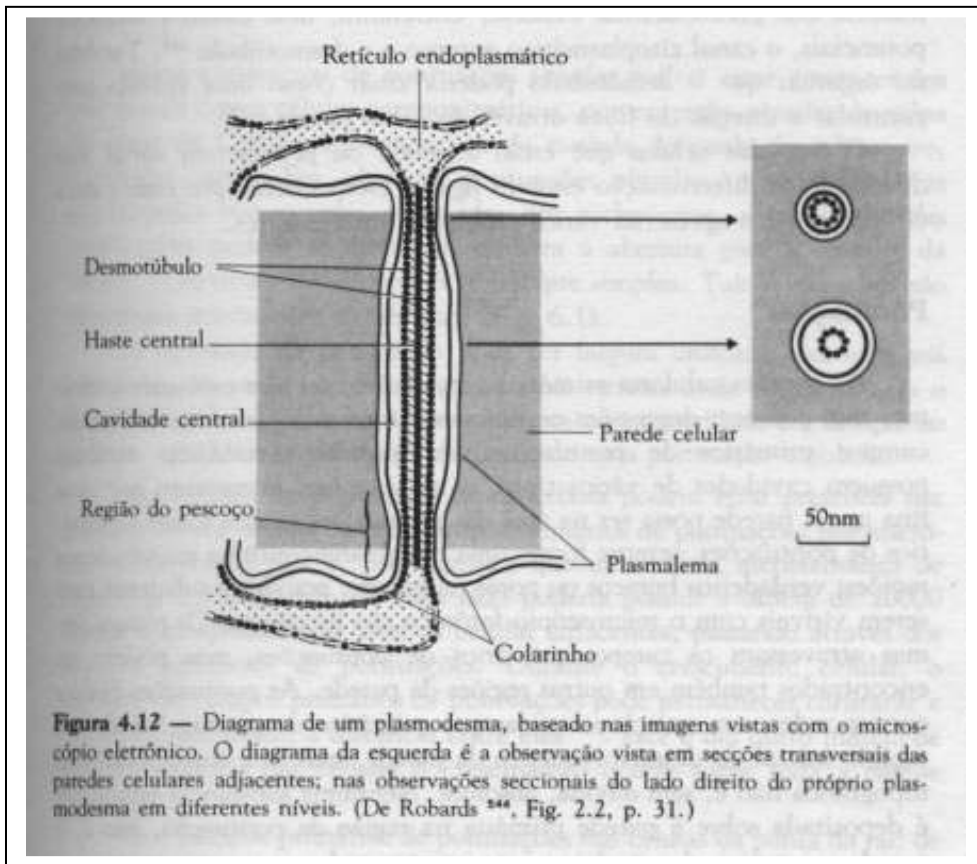
■ = substância, ○ = H<sup>+</sup>

- Um exemplo de um 'carrier Anti-porter' : Na-fluxo (bombeamento ativo de Na para fora da célula)
- Um exemplo de um 'carrier Uni-porter' : absorção de K
- Um exemplo de um 'carrier Sym-porter' : absorção de ânions e açúcares

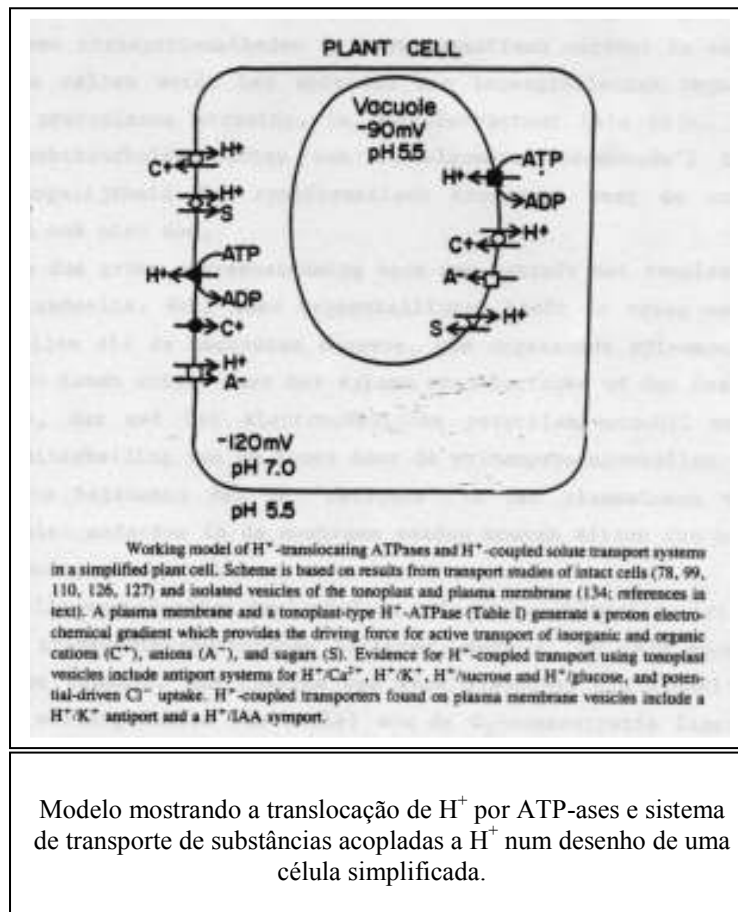


Assim que um íon passou a plasmalema, existem quatro possíveis caminhos para ele seguir:

1. O íon pode ficar no citoplasma é possivelmente ficar ativo no metabolismo (por exemplo na redução de  $\text{NO}_3$  ou  $\text{SO}_4$ ).
2. O íon pode ser transportado para um vacúolo via o tonoplasto (membrana do vacúolo) e com isso virar parte da reserva de uma célula de raiz.
3. O íon pode atravessar o plasmodesmata (ligações entre células) para células vizinhas.
4. O íon pode sair da célula via o plasmalema (fluxo de dentro para fora).



Os 4 possíveis caminhos para íons que passam o plasmalema são válidos para íons em todas as células da planta.







#### 4a O pesquisador

Através de experimentos os pesquisadores desenvolvem um modelo para determinar receitas nutricionais. Este modelo tem validade limitada mas é prático.

Em experimentos para determinar a necessidade nutricional:

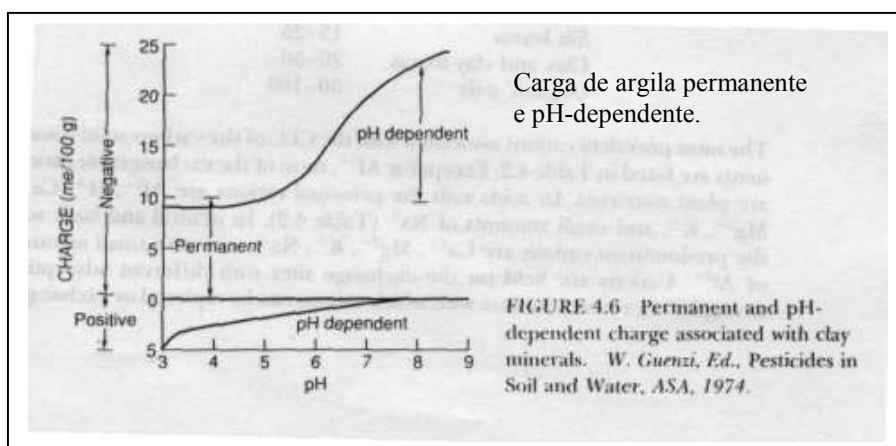
- ⇒ Pesquisadores determinam por situação de solo e clima a necessidade nutricional de uma determinada cultura.
- ⇒ Institutos de pesquisa publicam valores alvos (“valores de referência” / “referências”) para o produtor.
- ⇒ Estes valores alvos somente são válidos e realísticos dentro de limites bem definidos.

Estes limites abrangem os seguintes fatores:

- Clima (regional: macro clima, local: micro clima)
- Características do solo/substrato
- Cultura/variedade e fase de crescimento
- Sistema de adubação (adubação estoque e fertirrigação)
- Sistema de aplicar água (chuva, aspersão, gotejamento, inundação, hidroponia)
- Sistema de drenagem (aberto ou recirculação)

Os valores alvos são adaptados conforme combinações dos fatores acima, por exemplo:

- Conteúdo nutricional na solução do solo/substrato; água de drenagem usada em sistemas fechados (re-circulação); e solução hidropônica:
  - Balanço nutricional (relação relativa entre os íons)
  - $EC_{fc}$ ,  $EC_{sp}$  ou  $EC_{2:1}$  (usado como medida da quantidade total de íons)
  - pH (acidez).
- Ocupação da CTC e ATC
  - Valores absolutos e relativos da relação entre cátions adsorvidos trocáveis na CTC e ânions na ATC.
- Programa de nutrição básica
  - Baseado nos resultados de análises pode ser recomendado um ajuste no programa básico. Normalmente é um ajuste temporário.



Os valores alvos devem corresponder com concentrações na zona radicular que garantem suficientes nutrientes para a planta. Via difusão; fluxo de massa (junto com o da água); ou diretamente via contato com uma raiz, à raiz devem ser oferecidos os nutrientes que necessita e as condições para absorver estes nutrientes.

## 4b O produtor

Mesmo com as recomendações práticas provenientes de pesquisa para orientação prática, ainda existe bastante confusão sobre o que aplicar. Existe uma rede de reações e interações químicas: se um íon muda de concentração, todos os equilíbrios químicos entre os íons mudam um pouco, alterando a disponibilidade dos nutrientes.

O sucesso da produção depende por um lado da exatidão dos valores alvos. Supondo que os valores alvos são corretos, o sucesso da produção por parte da nutrição depende da realização e manutenção dos valores alvos.

A receita básica de nutrição é baseada no suposto que (a) todos os nutrientes permanecem dentro da zona radicular, ou (b) com cada rega uma quantidade fixa de cada nutriente é lavada para além da zona radicular. Por isso, no manejo de nutrientes, o primeiro fator para controlar é a água. A água tem que ser aplicada em equilíbrio com a evapotranspiração sem falta nem excesso de água na zona radicular, ou, caso desejado, com uma quantidade controlada de drenagem.

O produtor deve ter a possibilidade de medir a perda de água *no solo/substrato* e baseado nesta medição, determinar a necessidade de aplicar água e a quantidade de água para aplicar. Estimativas da evapotranspiração (por exemplo, via valores referenciais como na Penmann e Tanque Classe A) têm como consequência na prática um excesso de irrigação e perda incontrolável de nutrientes.

Lavagem de íons acontece conforme a série liotrópica:

Lavagem de cátions:  $Al^{3+} < H^+ < Ca^{2+} < Mg^{2+} < K^+ = NH_4^+ < Na^+$   
Lavagem de ânions:  $H_2PO_4^- < SO_4^{2-} < NO_3^- < Cl^- < OH^-$

Neste exemplo, de todos os nutrientes mencionados, o  $K^+$ ,  $NH_4^+$  &  $NO_3^-$  são os mais laváveis.  $Ca^{2+}$  e  $H_2PO_4^-$  são os menos laváveis.

**Conclusão: Sem controle da água, não há condições de controlar a nutrição.**

Absorção dos diferentes nutrientes pelas raízes também varia sob a influência de variações climáticas (como radiação solar e umidade do ar) e infestação de doenças e pragas (por exemplo, uma infecção de míldio).

Durante o ciclo produtivo, o produtor vai querer saber a resposta de duas perguntas:

1. A quantidade total dos nutrientes disponível está boa?
2. A relação entre os íons nutritivos disponíveis é boa?

Para responder a primeira pergunta o produtor deve implantar um sistema de medição da EC de solo ou substrato. Para responder a segunda pergunta o produtor deve implantar um sistema de medição do pH de solo ou substrato.

Uma receita de adubação está corretamente balanceada quando a EC e pH do solo ou substrato permanecem estáveis.

A umidade da amostra pode influenciar o valor da EC. Para eliminar variações na umidade da amostra recomenda-se preparar uma Pasta Saturada de cada amostra de solo e medir a EC e pH na Pasta Saturada. Em substrato a EC e pH normalmente são medidos num extrato 2:1. Num extrato 2:1 a umidade inicial da amostra é importante. No preparo do extrato 2:1 é importante que a amostra praticamente sempre tenha a mesma umidade inicial.

O resultado é:  $EC_{sp}$  &  $pH_{H_2O-sp}$  para solo e  $EC_{2:1}$  &  $pH_{H_2O-2:1}$  para substrato.

No caso de hidroponia, a medição de EC e pH ocorre diretamente na solução hidropônica.

Cada dois a três meses é recomendado solicitar para um especialista que ele recalcula os balanços químicos no solo, substrato ou solução hidropônica, baseados em análises químicas, e caso necessário elaborar um ajuste na receita de adubação. Análises de folhas oferecem informações adicionais e ajudam na adequação de receitas de adubação para aquele local específico de produção.

## **Bibliografia**

- Bolt, B.H. & M.G.M. Bruggenwert. 1978. Soil Chemistry / A. Basic elements, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, The Netherlands.
- Cutter, E.G.1986. Anatomia Vegetal: parte 1 – células e tecidos, Roca, São Paulo, Brasil.
- Cutter, E.G.1986. Anatomia Vegetal: parte 2 – órgãos / experimentos e interpretação, Roca, São Paulo, Brasil.
- Dias Correia, A.A. 1981. Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.
- Driessen, P.M. & R. Dudal. 1991. The major soils of the world, LUW & KU Leuven, Koninklijke Wöhrmann B.V., Zutphen, The Netherlands.
- Findenegg, G.R. 1986. De ionenopname door plantenwortels, Landbouwwuniversiteit Wageningen, Wageningen, Holland.
- Tisdale, S.L. et al. 1993. Soil fertility and fertilizers, fifth edition, Macmillian publishing company, New York, USA.