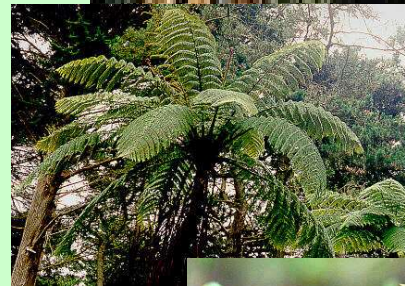


Nutrição mineral

Plantas – fotoautotróficas

Nutrição mineral:
elementos necessários para
a sobrevivência da planta



Estudos sobre a fonte de nutrientes para as plantas:

Histórico



1627: Sir Francis Bacon verificou que as plantas sobreviviam na água por até três meses.

1699: John Woodward, descobriu que as plantas cresciam melhor na água quando esta continha um pouco de solo.



1860: Julius Sachs e Wilhelm Knop desenvolveram o cultivo em solução e comprovaram que plantas eram capazes de crescer sem qualquer suprimento de matéria orgânica.

Solo

Características do solo:

Natureza física: porosidade, textura, densidade

Natureza química: elementos presentes, pH

Biota: artrópodos

algas, fungos, bactérias (competidores/simbiose)

Biota do solo (milhões):

insetos 670/h

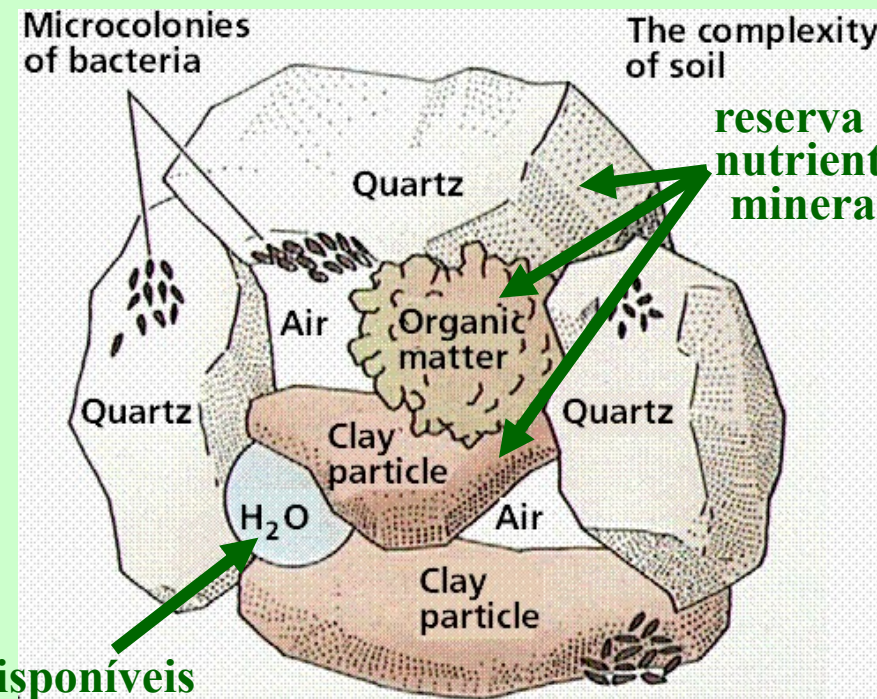
artrópodos 1880/h

minhocas 2/h

fungos ?

bactérias 1000/g

algas 0.1/g



minerais disponíveis
para as plantas

Elementos essenciais:

1. **necessários para que a planta complete o seu ciclo de vida** (componente estrutural e/ou metabólico). A **deficiência** de qualquer um deles **causa anormalidade** no crescimento, desenvolvimento ou reprodução da planta.
2. O elemento **não pode ser substituído** por outro.

Julius von Sachs 1860- pioneiro nos estudos de hidroponia

Listou como nutrientes essenciais: CaNO_3 , KNO_3 , KH_2PO_4 , MgSO_4 , sal e ferro

Plantas contém pelo menos traços de cada um dos elementos presentes no solo.

Considerações para determinação dos elementos essenciais:

- Grau de pureza dos reagentes.
- Impossibilidade de estudar todas as plantas.
- Conhecimento sobre o papel do elemento no desenvolvimento da planta.
- Condições artificiais dos experimentos (estresse abiótico e biótico, microbiota do solo).
- Dependência de outros organismos no solo para a absorção de minerais.

Hidroponia

do grego: hidro = água, pono = trabalho
utilizada no Egito e Mesopotania, 700 ac

Hoje é utilizada comercialmente, associada a
outras práticas (controle de luz e temperatura).

Vantagens:

- crescimento rápido
- cultivo em qualquer lugar
- controle absoluto das condições de cultivo
- ausência de pragas
- ausência de ervas daninhas

Desvantagens:

- alta tecnologia
- monitoramento intenso

A concentração dos elementos
utilizada nos meios é muito
superior à encontrada no solo



Cultivos *in vitro* - micropropagação

Vantagens:

- multiplicação rápida de cultivares
- produção de mudas livres de patógenos
- produção de novos cultivares
- conservação de germoplasma



Células vegetais são totipotentes:
toda e qualquer célula pode se desdiferenciar e, quando em condições adequadas, dar origem a uma nova planta

Classificação dos nutrientes minerais (não inclui H, O, C):

Grupo 1

		***	elementos que compõe o corpo da planta
N*	1 000 000		
S	30 000		

Grupo 2

P	60 000	elementos importantes para a conservação de energia e integridade estrutural
Si	30 000	
B**	2 000	

Grupo 3

K	250 000	elementos que permanecem em estado iônico (cofatores de enzimas ou reguladores do potencial osmótico)
Ca	125 000	
Mg	80 000	
Na	400	
Mn	1 000	
Cl	3 000	

Grupo 4

Fe	2 000	elementos envolvidos na transferência de elétrons
Cu	100	
Zn	300	
Mo	1	
Ni	2	

*macronutrientes > 20 mg/L

** micronutrientes < 500 µg/L

***quantidade relativa de átomos

Classificação dos nutrientes minerais (não inclui H, O, C):

Grupo 1

N*	1 000 000
S	30 000

Grupo 2

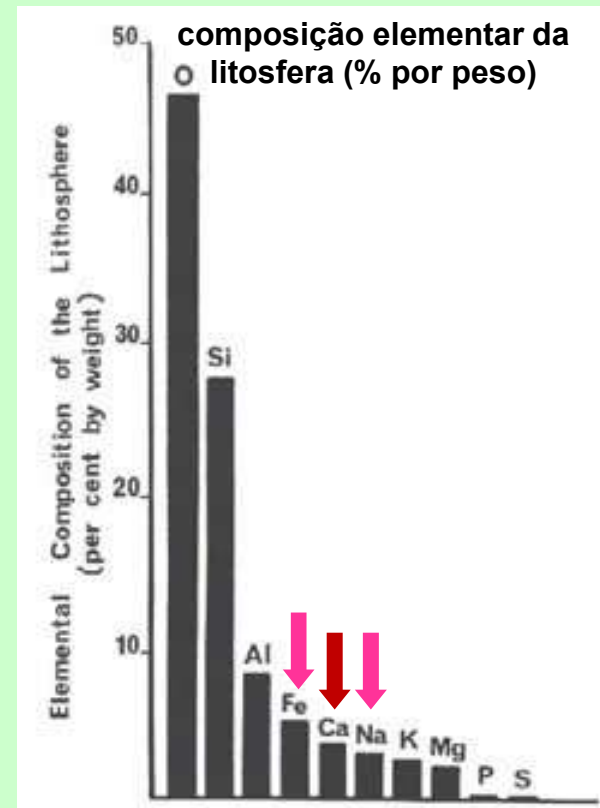
P	60 000
Si	30 000
B**	2 000

Grupo 3

K	250 000
Ca	125 000
Mg	80 000
Na	400
Mn	1 000
Cl	3 000

Grupo 4

Fe	2 000
Cu	100
Zn	300
Mo	1
Ni	2

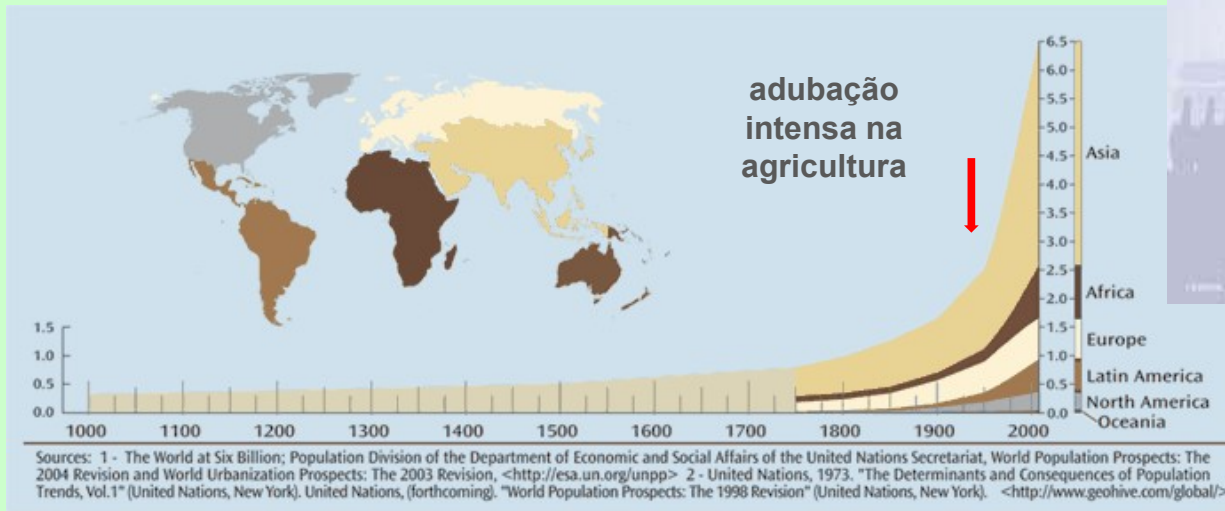


*macronutrientes > 20 mg/L

** micronutrientes < 500 µg/L

N na nutrição mineral

- N é geralmente o elemento limitante para o crescimento das plantas.
- plantas absorvem principalmente N no seu estado mais oxidado: NO_3
- somente algumas bactérias são capazes de fixar N_2 (bactérias nitrificantes).
- recentemente foi criado um método químico para a fixação de N_2 (método de Haber e Bosch, prêmio Nobel...).
- adubação intensa é necessária para alta produtividade na agricultura essencial para a alimentar a crescente população humana.



apesar da produção de alimentos no mundo ser suficiente para alimentar toda a humanidade sua distribuição é desigual

Sintomas de deficiência mineral não são comuns em populações naturais

Na agricultura:

Culturas de subsistência:

- não utilizam cultivares altamente produtivos.
- cultivo misto
- consumo no local o que permite o retorno dos nutrientes ao solo.
- principal perda de nutrientes por lixiviação.

Grandes cultivos:

- utilização de cultivares selecionados com crescimento acelerado e alta produtividade de frutos e sementes.
- monocultura
- consumo longe do local de produção.
- principal perda de nutrientes é a colheita.
uso de fertilizantes químicos é essencial!!



Sintomas de deficiência de nutrientes minerais

Grupo 1:N e S



elemento que plantas necessitam em maior quantidade
clorose, iniciada nas partes mais velhas da planta



junto com N necessário para síntese de proteínas
clorose, iniciada nas partes mais jovens da planta

O fato da clorose ocorrer nas partes mais jovens ou mais velhas da planta depende da mobilidade do nutriente no corpo da planta.

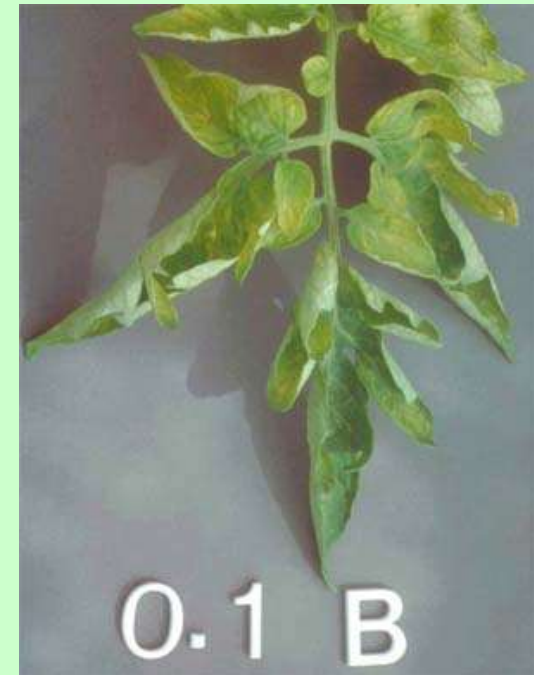
Sintomas de deficiência de nutrientes minerais

Grupo 2: P, B e Si



mal formação das folhas de coloração verde escura, as vezes com pontos necróticos

sintomas de deficiência variam bastante de acordo com a espécie e idade da planta. Sintoma característico é a necrose de folhas jovens e meristemas



Sintomas de deficiência de nutrientes minerais

Grupo 3: K, Na, Mg, Ca, Mn e Cl

- K: clorose marginal com posterior necrose dos tecidos
- Mn: clorose entre as nervuras, com aparecimento de pontos necróticos
- Mg: clorose entre as nervuras, que ocorre primeiro nas folhas mais velhas
- Ca: necrose de tecidos meristemáticos
- Cl: murcha das folhas seguida de necrose



Sintomas de deficiência de nutrientes minerais

Grupo 4: Fe, Zu, Cn, Zn, Mo, Ni



clorose entre os vasos

folhas verde escuras contendo pontos necróticos que aparecem inicialmente nas pontas de folhas jovens



clorose entre os vasos, com posterior necrose das folhas mais velhas

redução do alongamento dos entrenós e clorose nas folhas mais velhas



Pode haver tanto deficiência quanto excesso de minerais no solo

Tratamento de deficiências minerais

Diagnóstico:

análise do solo

análise do tecido vegetal

Tratamento:

adubação

Nutrientes em excesso:

quando há nutrientes em excesso no solo ele é classificado como salino (desertos, irrigação)

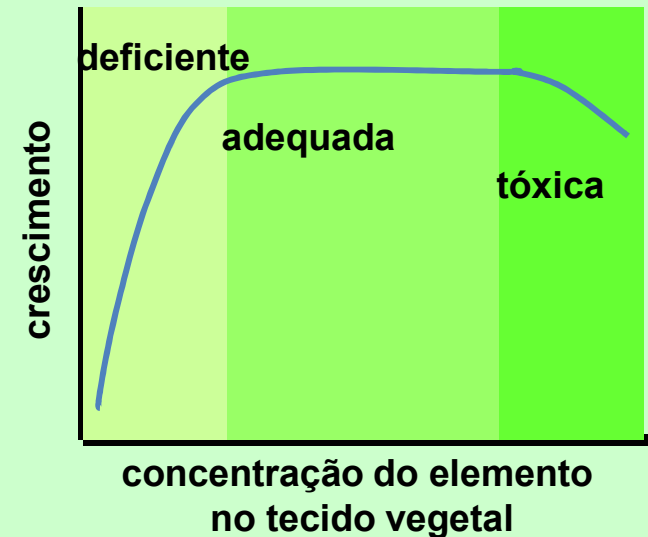
sais em excesso mais comuns nos solos:

NaCl

Na_2SO_4



planta de mangue, adaptada ao crescimento em ambiente salino, possui glândulas secretoras em suas folhas para excretar o excesso de sal.



Acidez do solo

O pH do solo é fator importante para a troca catiônica e a retenção de nutrientes pelo solo.

**pH dos solos,
classificação:**

ácido	4.5 - 5.5
neutro	5.5 - 6.5
alcalino	6.5 - 7.5

**A maioria das espécies está
adaptada a um tipo de solo:**

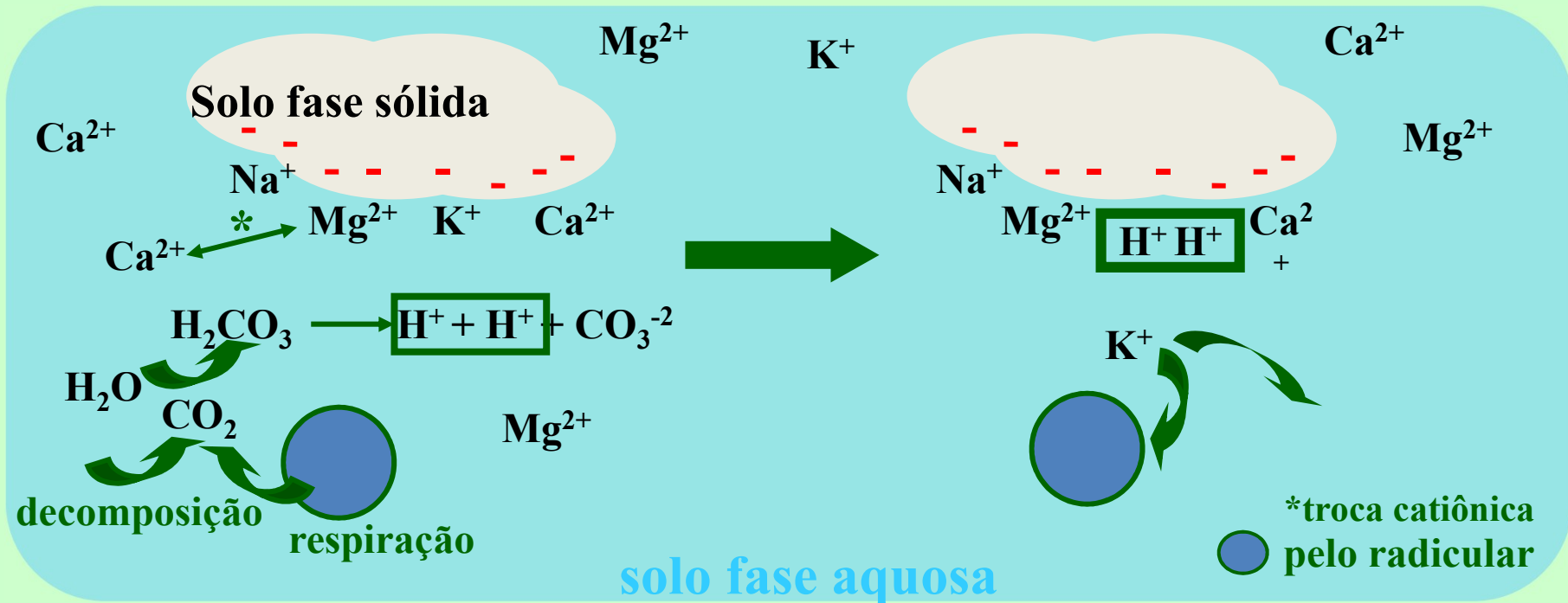
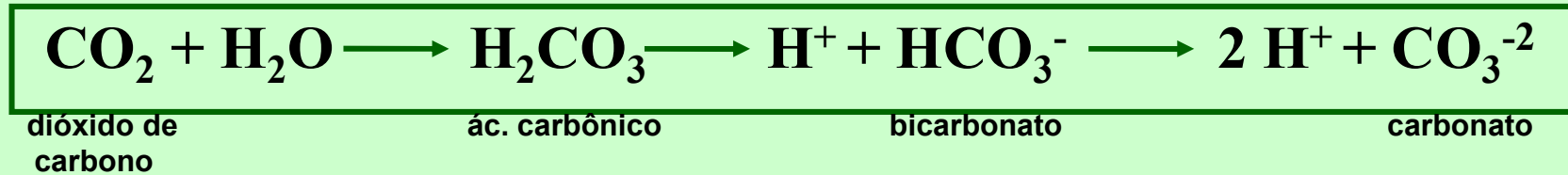
ácido:	azaléia, camélia, batata doce
neutro:	cenoura, pepino, morango
alcalino:	maçã, alface, espinafre

**Fatores que influenciam a acidez do solo: pluviosidade,
decomposição de matéria orgânica e respiração
radicular.**

Troca catiônica

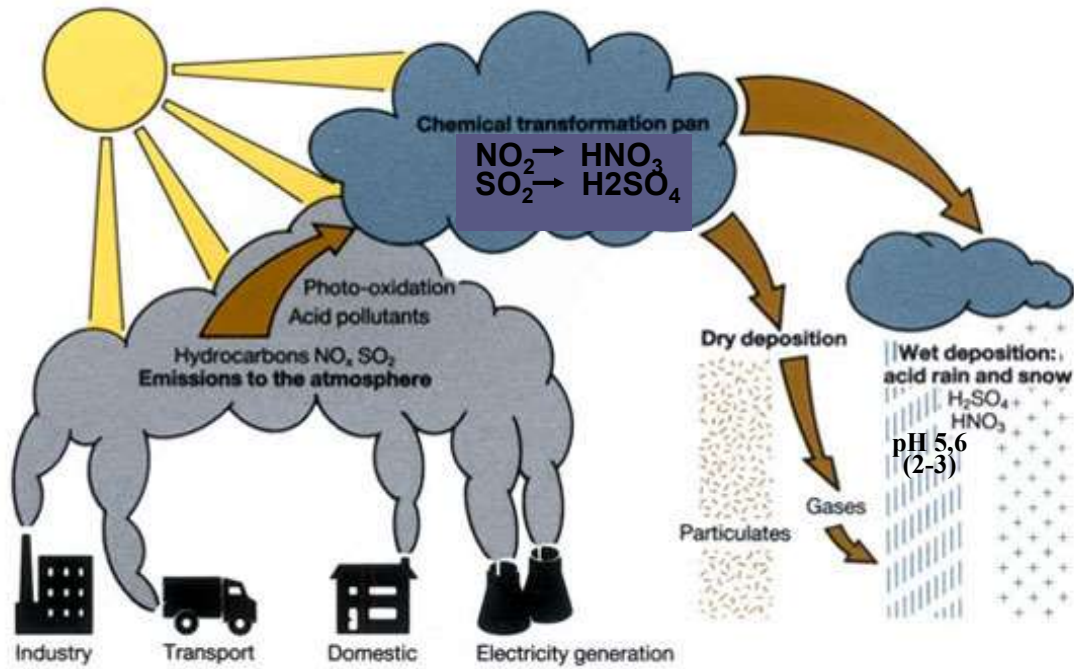
Liberção de CO₂:

- respiração radicular
- decomposição de matéria orgânica



O pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes, a sua microbiota (fungos ou bactérias) e o crescimento de raízes (5.5-6.5).

How acid rain is formed



Chuva ácida

reação de gases emitidos pela queima de combustível fóssil com O₂ e água na atmosfera

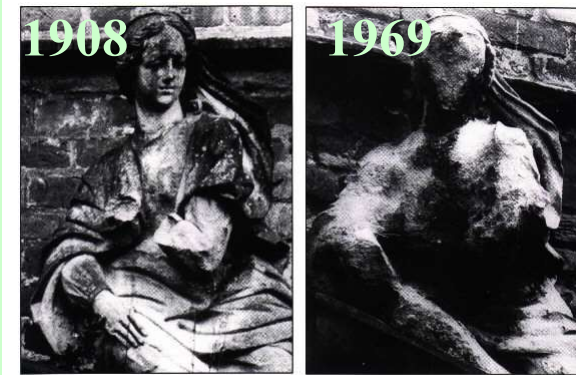
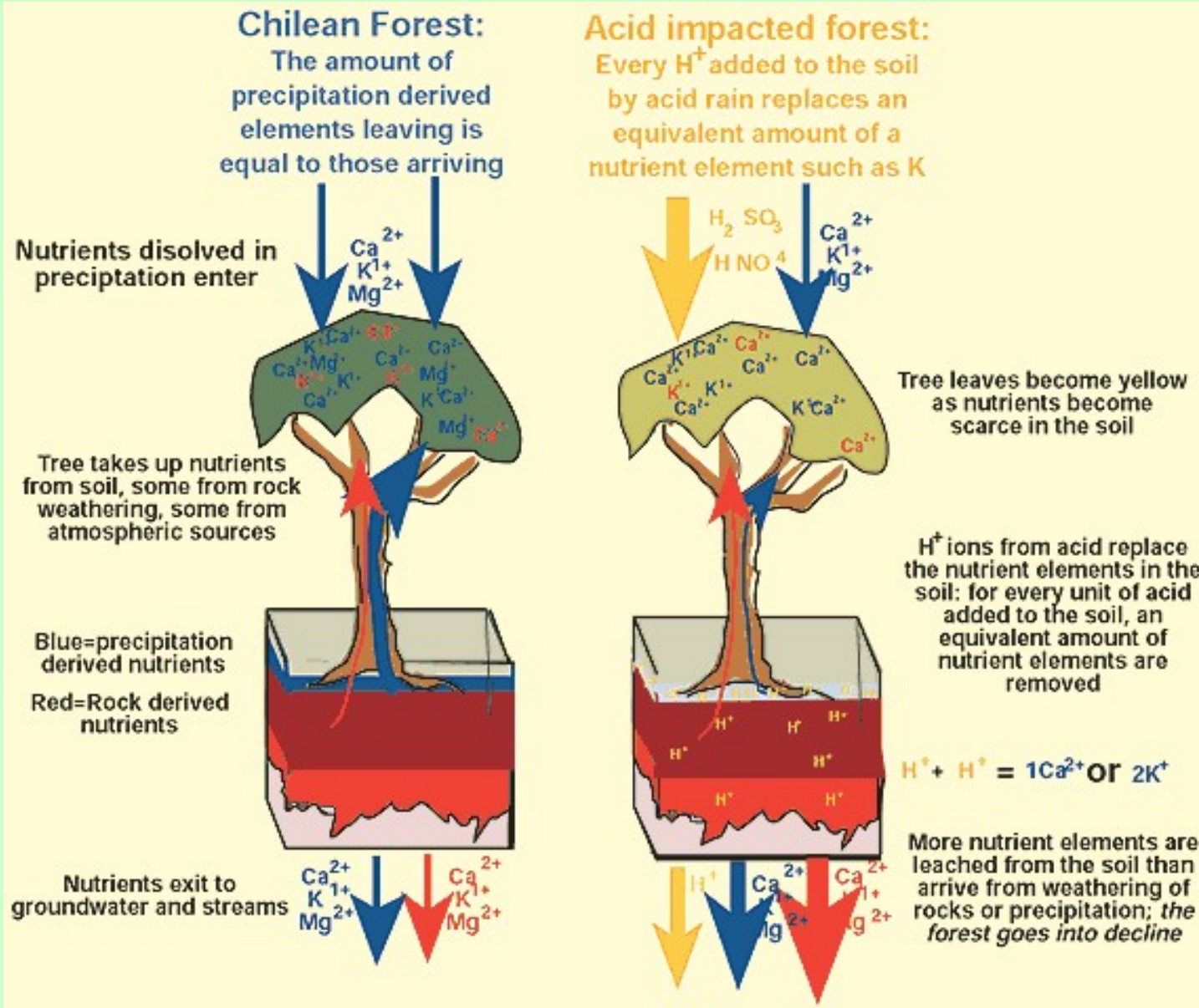


Fig. 11. A sandstone figure on an early eighteenth-century building in Germany shows the effects of its attack caused by air pollution. The photograph on the left dates from 1908; the one on the right from 1969. Car-burns containing oxides such as limestone and sandstone are particularly vulnerable. In other materials, including brick, concrete, glass, and metal, are also affected.

Chuva ácida



segundo Kennedy: a precipitação seria a principal fonte de elementos para planta.

Martin Kennedy, PNAS

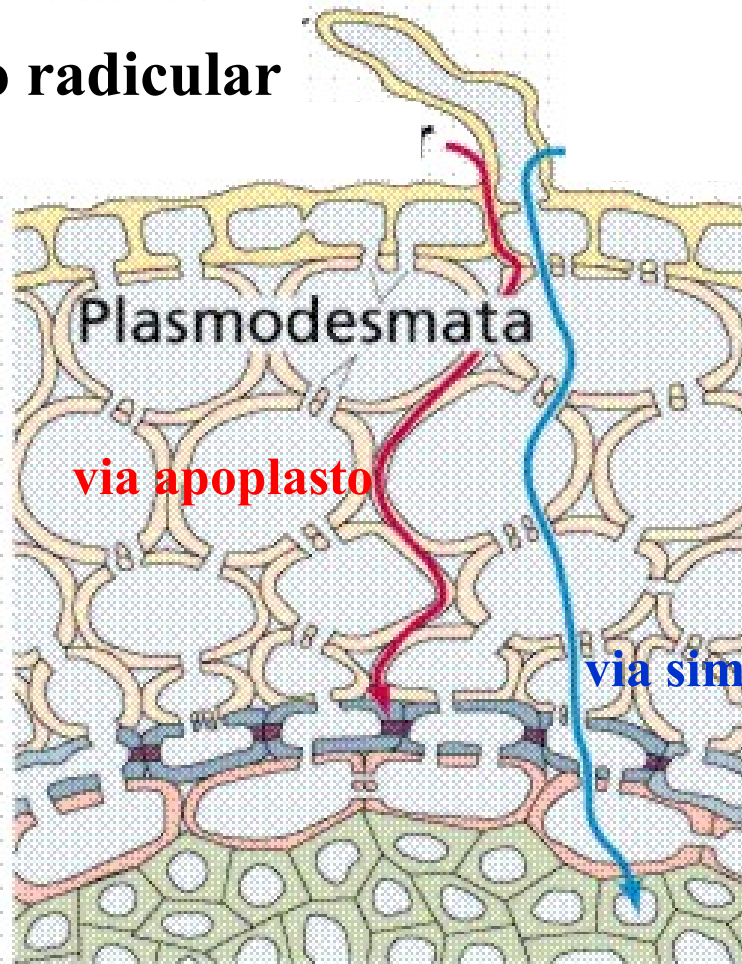
A absorção de nutrientes minerais se dá principalmente pela raízes.

A alta seletividade da membrana das células da endoderme controla a entrada de nutrientes para aos vasos condutores do xilema.

O carregamento do xilema pode ser mediado por transportadores específicos.

Transporte de elementos ocorre tanto no xilema quanto no floema.

pelo radicular



epiderme

cortex

endoderme

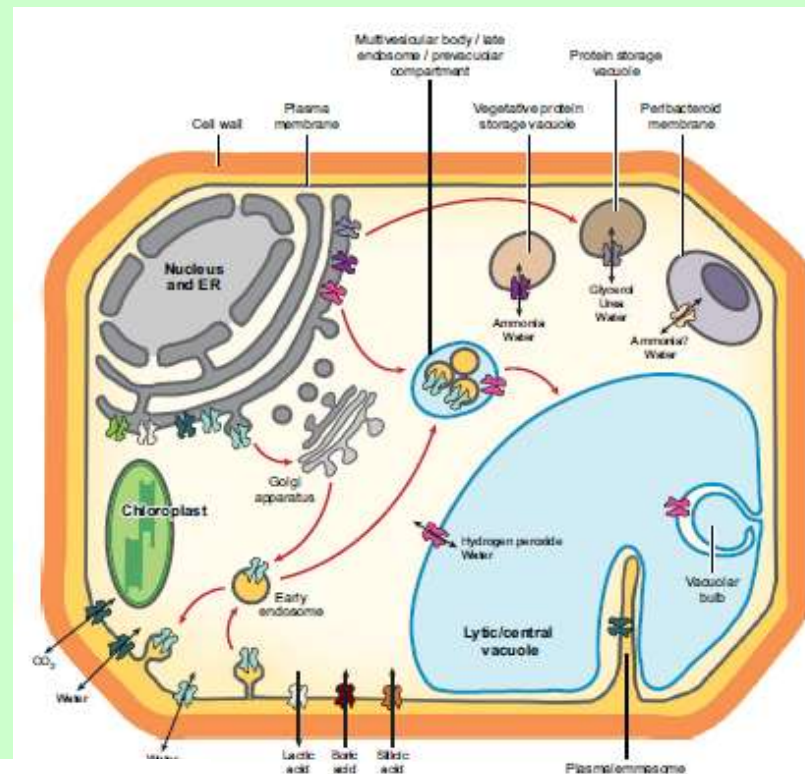
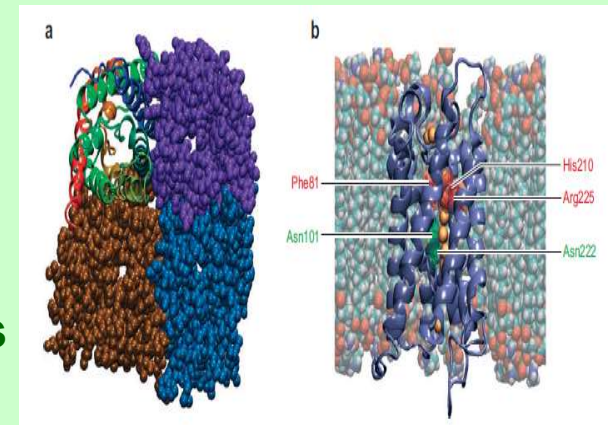
periciclo
elementos
traqueais

Aquaporinas

- proteínas integrais de membrana
- formam canais na membrana plasmática
- presentes também nas membranas intra celulares
- permeáveis à água e a outros solutos neutros
- impermeáveis à H^+
- permeabilidade regulada por fosforilação e pela presença de ions

Descobertas recentes:

- deficiência de B leva ao aumento da concentração de aquaporina específica
- mutantes têm seu desenvolvimento prejudicado



aquaporinas:



Maurel 2008, Ann. Rev. Plant Biol.

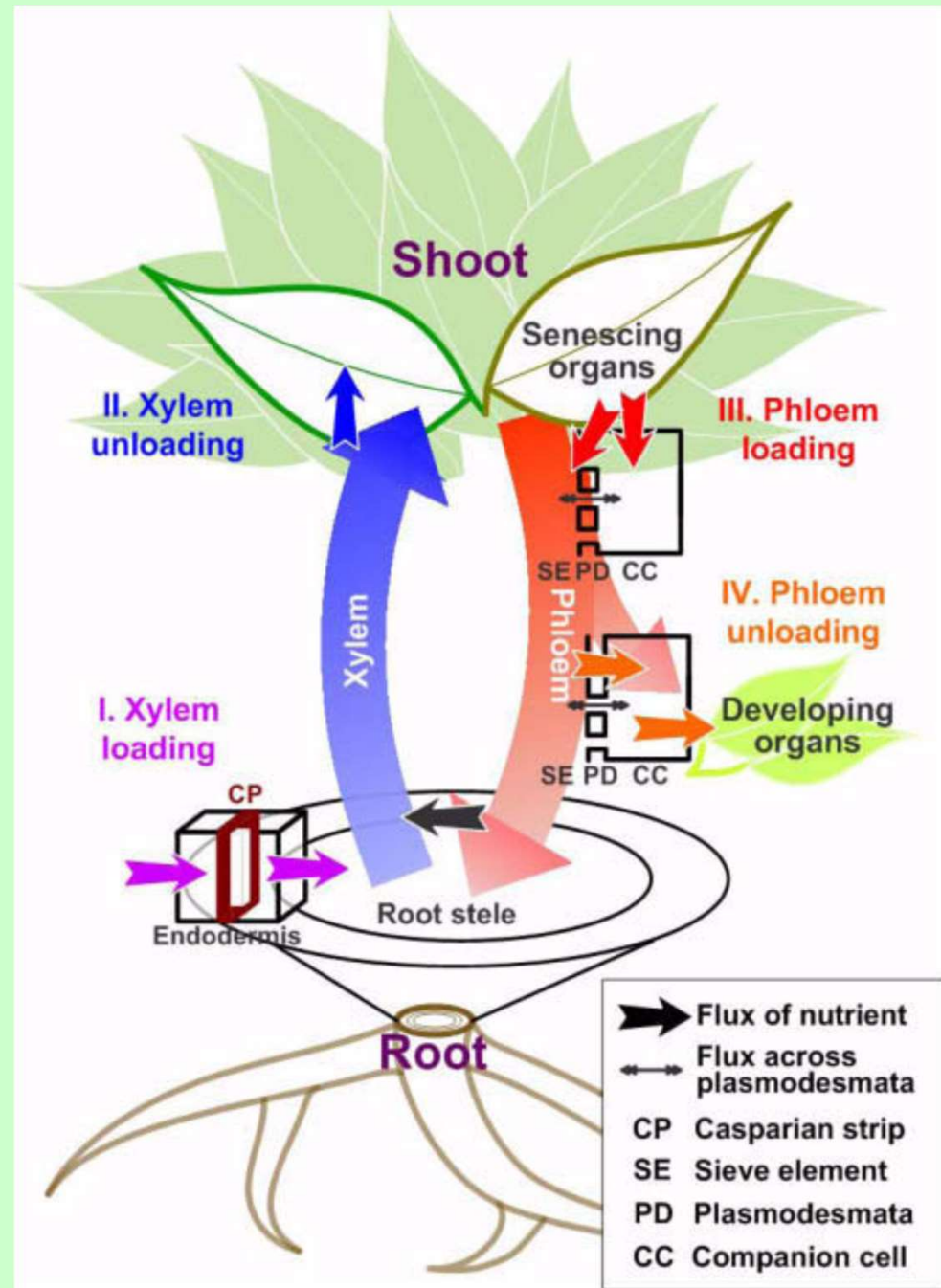
Alguns elementos são realocados de órgãos senescentes

elementos reaproveitados de órgão senescentes:
N, Mg, K

elementos de difícil reaproveitamento:
S, Fe

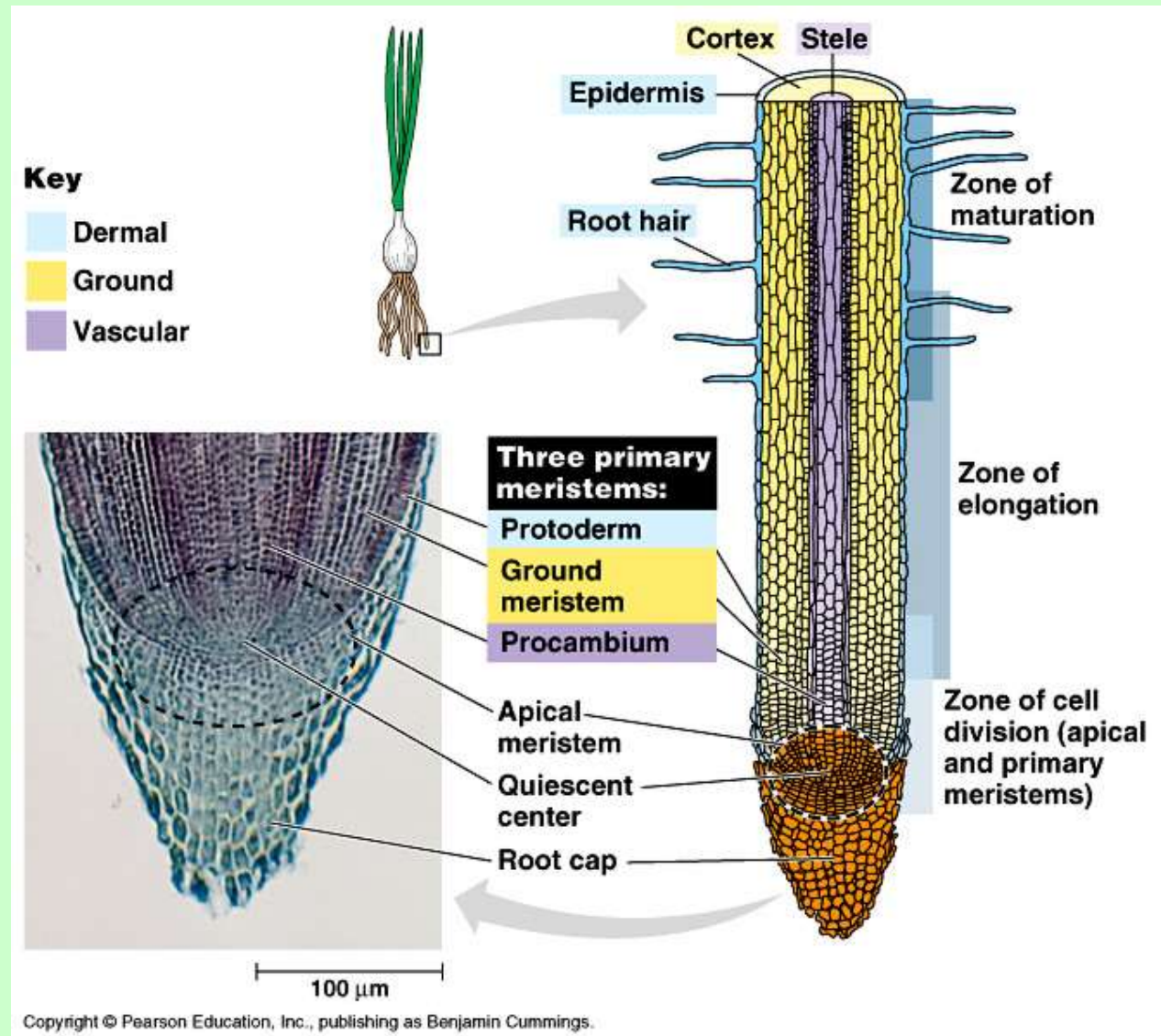
Pouco se sabe sobre os transportadores responsáveis pelo carregamento e descarregamento do sistema vascular.

Park 2008, J. Plant Biol.



Regiões diferentes da raiz absorvem nutrientes diferentes

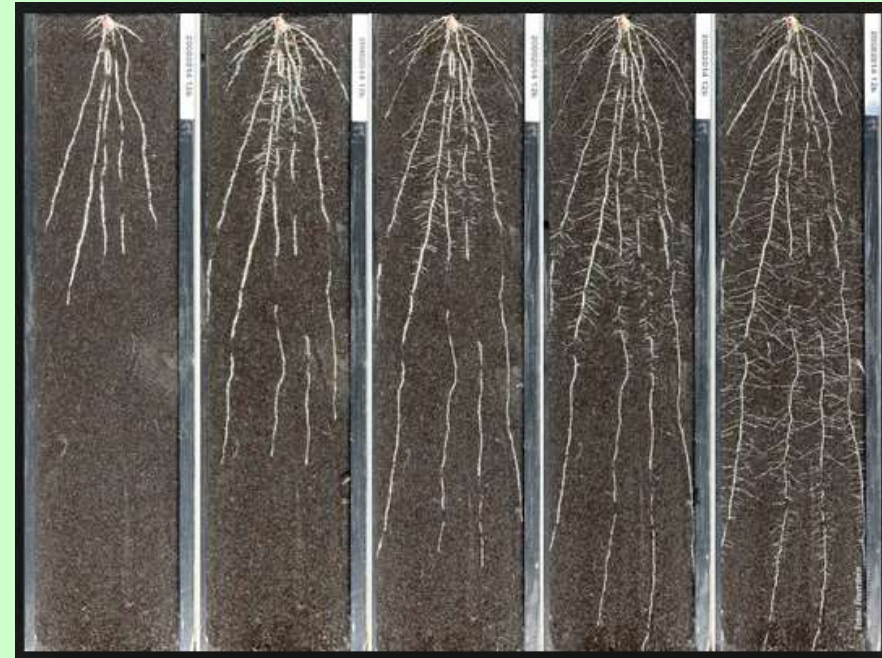
A região de absorção preferencial de cada íon depende da espécie e pode se concentrar na região apical ou se dar por toda a superfície da raiz.



Métodos de estudos raízes



primeiro a utilizar J.
von Sachs, 1873



<https://www.pfluglos.de/nachrichten/wurzelforschung-eine-neue-aufgabe-fuer-die-pflanzenzuechtung>

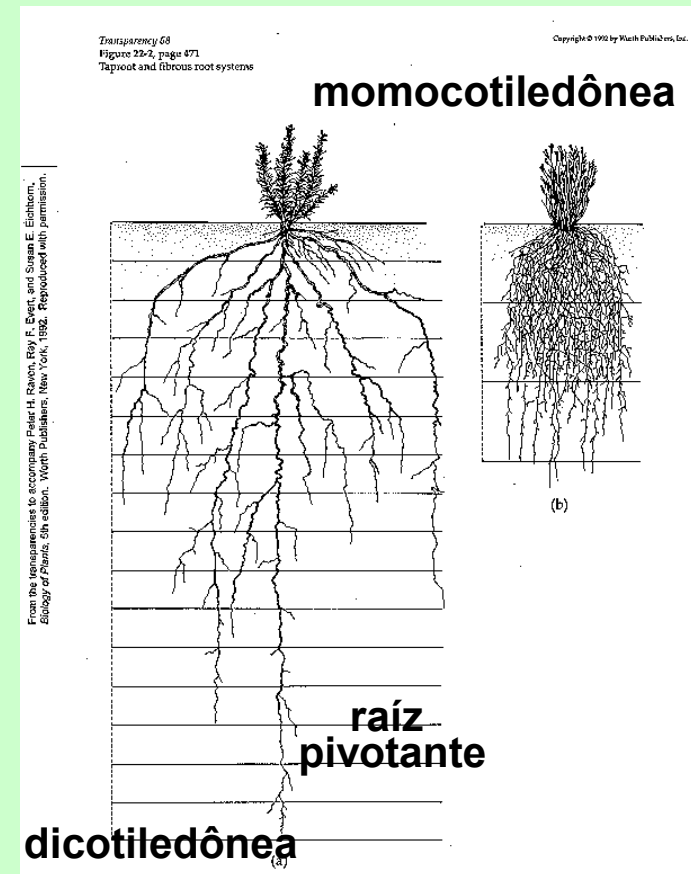
O estudo do desenvolvimento radicular tem como um de seus objetivos aumentar a produtividade agrícola.

O sistema radicular é extenso e está em constante crescimento

Planta de centeio de 16 semanas (Dittmer, 1937):

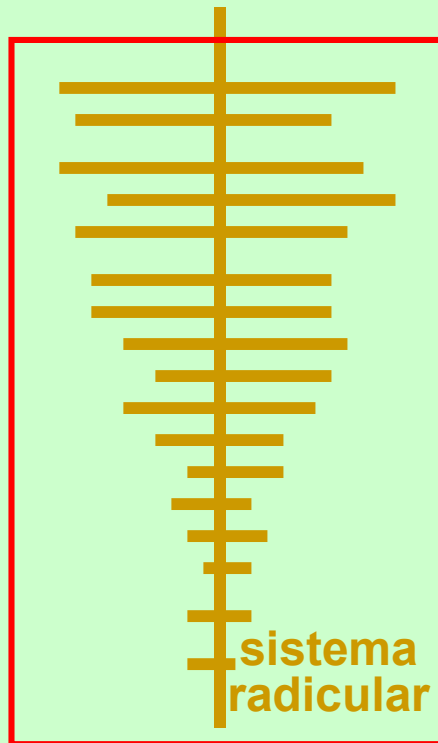
- extensão do sistema radicular: 500 km
- área do sistema radicular (sem contar os pelos): 200 m²
- área dos pelos radiculares: 300 m²

O desenvolvimento do sistema radicular depende da quantidade de água e nutrientes no solo e pode muitas vezes ser superior ao da parte aérea da planta.

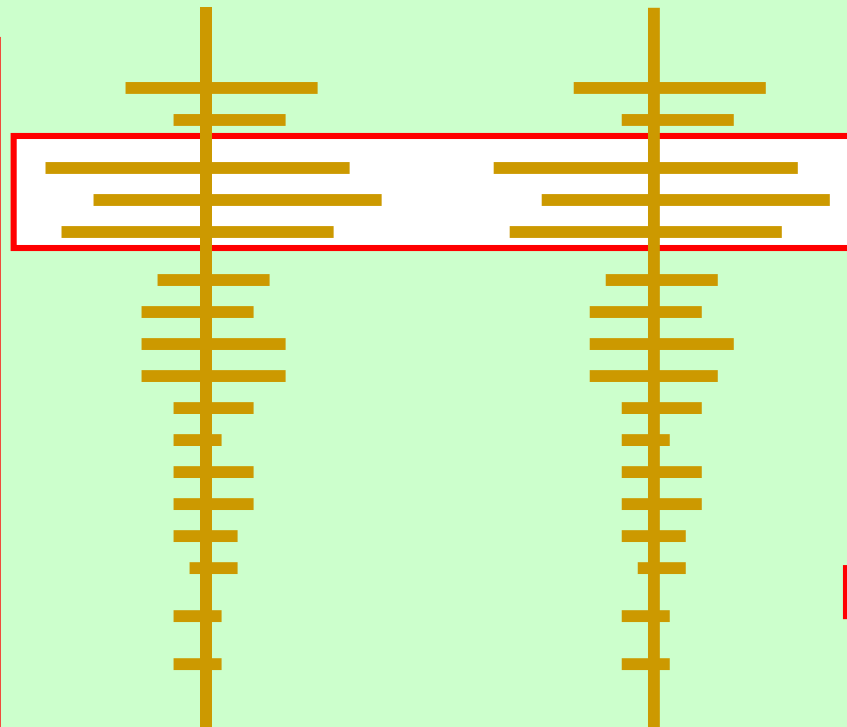


O desenvolvimento das raízes é guiado pela disponibilidade de água e de nutrientes no solo.

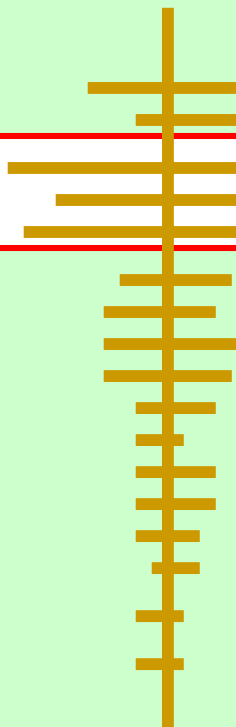
controle



P



N

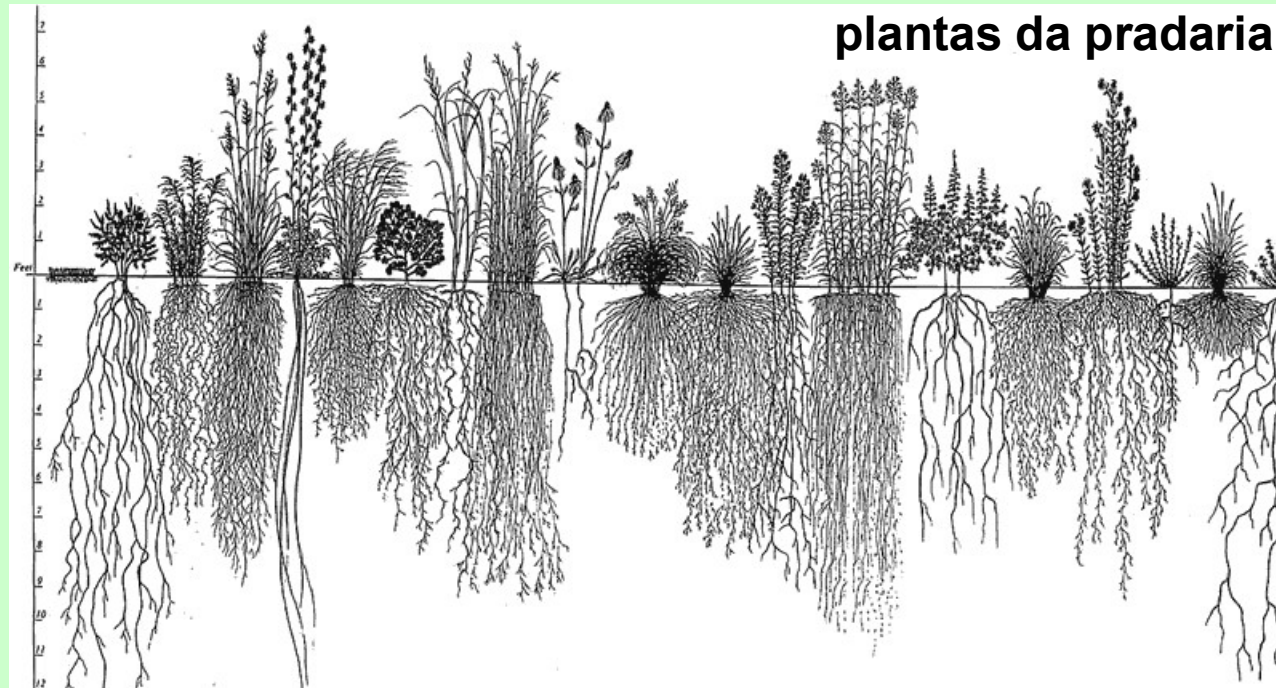


experimento em que adubo foi adicionado em área específica do solo



área adubada

Em ecossistemas naturais o crescimento das raízes pode facilmente superar o crescimento da parte aérea da planta



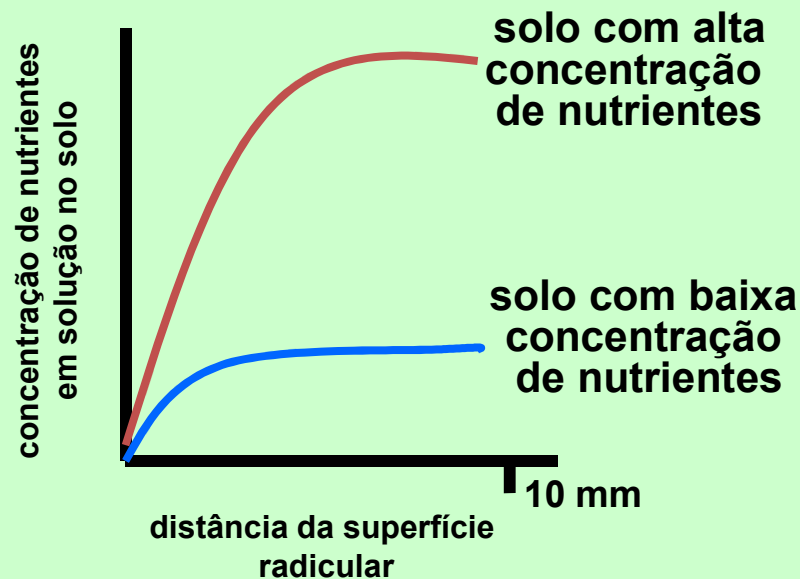
Na pradaria o sistema radicular pode compreender 2/3 da biomassa das plantas. Esta é uma adaptação para a manutenção do balanço hídrico e permite também crescimento rápido após queimadas.

Plantas em cultivo muitas vezes não necessitam de sistema radicular tão desenvolvido.

As raízes retiram nutrientes do solo criando nele uma zona de empobrecimento.

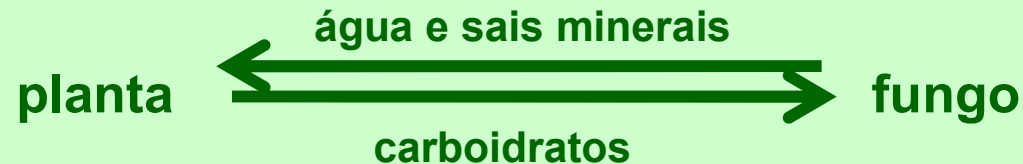
no solo os nutrientes movem-se por:

- transporte de massa
- difusão



O constante crescimento do sistema radicular permite às raízes suprir a necessidade de nutrientes minerais da planta.

Micorrizas - Associação de fungos com as raízes das plantas



- a grande maioria das famílias de plantas tem associação com fungos
- associação verificada em fósseis datados de 400 milhões de anos.



endomycorrizas - formam micélios finos ao redor da raiz; parte do micélio penetra (apoplasto) as células do cortex da raiz.

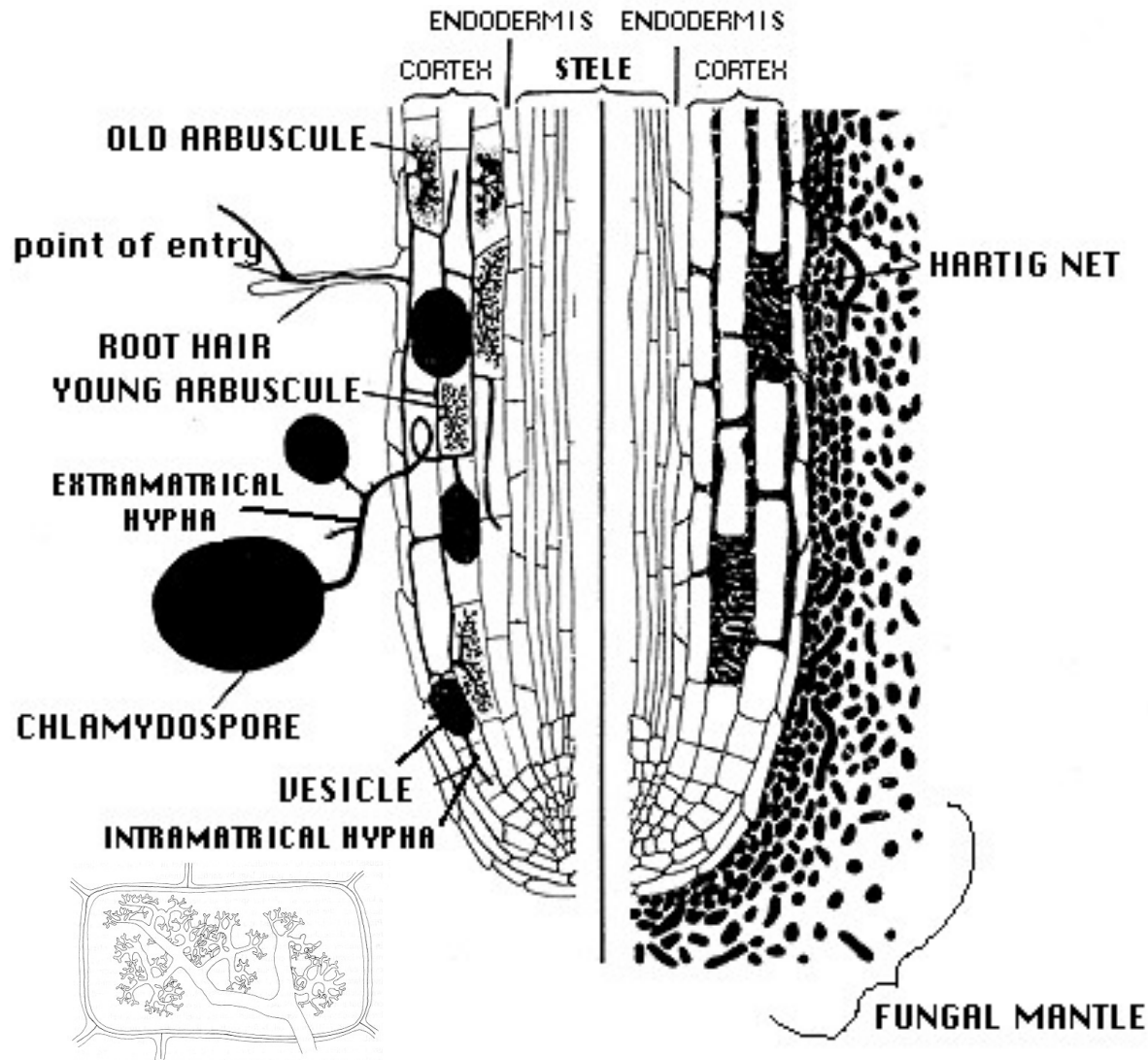
ectomicorrizas – formam micélios espessos ao redor da raiz; parte do micélio penetra o cortex da raiz sem no entanto penetrar nas células (rede de Hartig).

Pinheiros crescidos em ambiente seco inoculados (+) ou não (-) com micorrizas.



Endomycorrhizae

Ectomycorrhizae



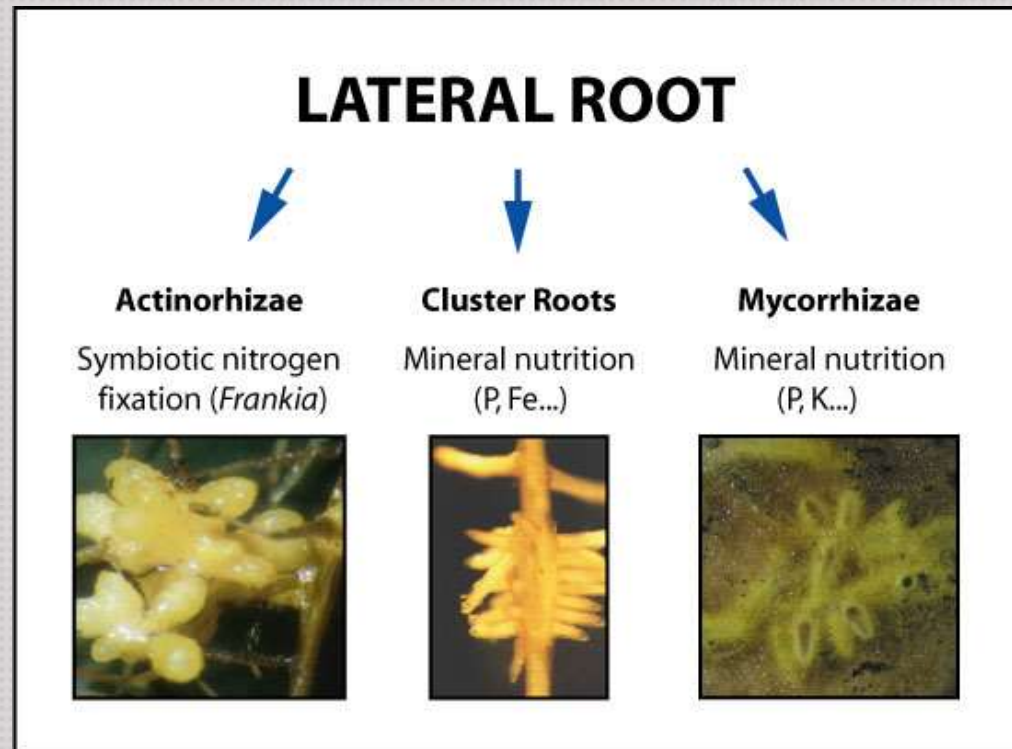
DIAGRAMMATIC REPRESENTATION OF THE TWO TYPES OF MYCORRHIZAE

Colonizam grande região da raiz, não só as extremidades!



As *Casuarinaceae* são capazes de sobreviver em solos extremamente pobres.

Modificações do sistema radicular: associações com bactéria e fungos

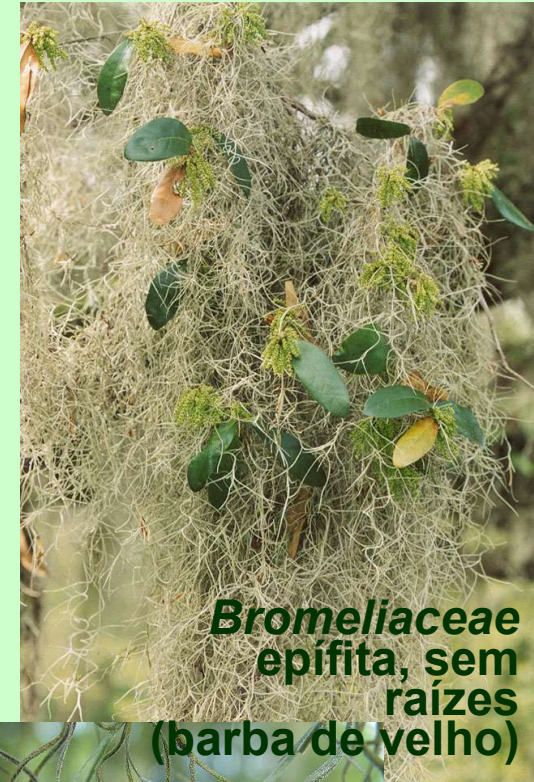


Nutrientes minerais podem ser absorvidos pelas folhas:

A absorção ocorre por difusão através da cutícula com posterior absorção pelas células

Na agricultura a vantagem da adubação foliar é a absorção de micronutrientes mais eficaz pela planta, pois não há possibilidade de adsorção e diluição do nutriente no solo.

Pelos absorventes recobrem toda a planta. Estes são responsáveis pela absorção de água e de nutrientes

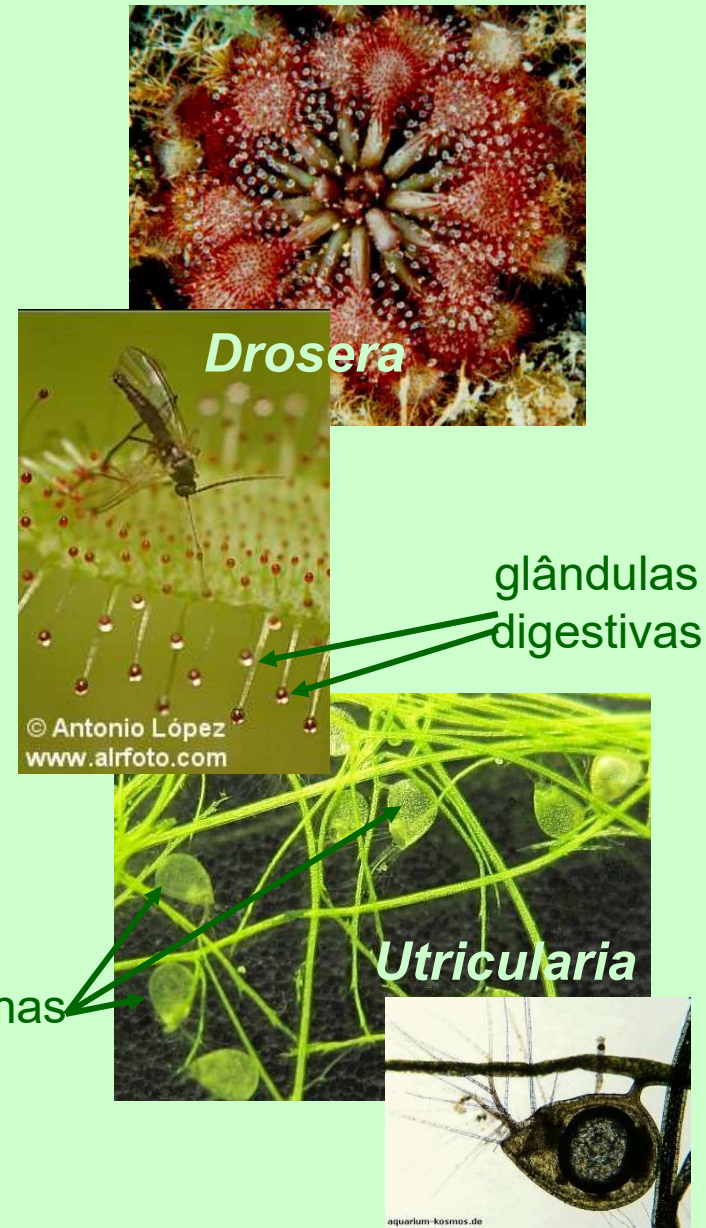


Plantas carnívoras:

- ocorrem em solos pobres em nutrientes.
- possuem adaptações especiais para atrair e capturar e digerir animais.
- produzem enzimas digestivas em glândulas especializadas.
- bactérias auxiliam na digestão do animal.



carnívora?



http://www.botany.org/Carnivorous_Plants/

A absorção e acúmulo de nutrientes é seletivo e espécie específico



Nitella
água doce



Valonia
água salgada

Comparação da concentração de sais na célula e no meio externo:

	<i>Nitella</i>			<i>Valonia</i>		
	célula	água	c/a	célula	água	c/a
K⁺	54	0,05	1065	500	12	42
Na⁺	10	0,22	46	90	498	0,02
Cl⁻	90	0,93	100	597	580	1

Fitoremediação

Plantas podem ser utilizadas para a remoção de poluentes do solo.

Plantas podem hiper acumular elementos

A remoção da biomassa contendo o poluente permite atenuar o nível de poluição.

Exemplo:

Acúmulo de Ni em diversas espécies:

P. palawanensis, 88,5 $\mu\text{g Ni g}^{-1}$ PS

E. helenae, 3160-4430 $\mu\text{g Ni g}^{-1}$ PS

T. goesingense, 9,4 $\mu\text{g Ni g}^{-1}$ PS

T. caerulescens, 29,4 $\mu\text{g Zn g}^{-1}$ PS

PS = peso seco



Nutrição mineral:

De enorme importância econômica:

- uso de fertilizantes (nem limitação nem excesso)

De enorme importância ecológica:

- eutrofização das águas superficiais
- não aumento da área de cultivo (em detrimento aos ecossistemas naturais)

De enorme importância na segurança alimentar:

- elementos (essenciais e tóxicos) são transferidos para outros níveis tróficos



Videos:

Série de videos sobre nutrição mineral (um pouco lento mas informativo, poucas animações):

<https://www.youtube.com/watch?v=FXSKDTu7fd0>

Troca catiônica:

<https://www.youtube.com/watch?v=HmEeymGXOfI>

Animação sobre a captação de Fe por soja – influência da planta sobre a disponibilidade do elemento do solo:

<https://www.youtube.com/watch?v=6aC-WTAWgOg>

Não encontrei a segunda parte!

Filme da planta aquática (*Utricularia*) capturando animal:

<https://www.youtube.com/watch?v=wZcKoTxp5mc>

Mais detalhes:

https://www.youtube.com/watch?v=Zb_SLZFsMyQ

Biólogos não caem nessa...

<https://www.youtube.com/watch?v=p8FceoXLbZk>