

## UNIDADE IV – NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS: ABSORÇÃO DE ÍONS

1. INTRODUÇÃO
2. ABSORÇÃO DE ÍONS PELAS RAÍZES
  - 2.1. SELETIVIDADE DE ABSORÇÃO
  - 2.2. O SOLO COMO FORNECEDOR DE NUTRIENTES
  - 2.3. ABSORÇÃO PELAS RAÍZES – UMA VISÃO LONGITUDINAL
  - 2.4. ABSORÇÃO PELAS RAÍZES – UMA VISÃO TRANSVERSAL

## FONTES DE NUTRIENTES PARA AS PLANTAS

Atmosfera	$\text{CO}_2$ → Fotossíntese;	
	$\text{O}_2$ → Respiração;	
	→ Incorporação em compostos orgânicos;	
	$\text{N}_2$ → Fixação simbiótica;	
H <sub>2</sub> O	$\text{NH}_3$ →	} Assimilados por algumas plantas
	$\text{SO}_2$ →	
Solo	➤ Turgescência celular;	
	➤ Solvente;	
	➤ Reagente nas reações metabólicas.	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Rochas</li> <li>❖ Tecidos de plantas e animais</li> </ul>	} Nutrientes e Argilas (orgânicas e minerais)

## 1. INTRODUÇÃO

- Os nutrientes minerais são adquiridos na forma de íons inorgânicos e entram na biosfera predominantemente através do sistema radicular da planta.
- A grande área superficial das raízes e sua grande capacidade para absorver íons inorgânicos nas baixas concentrações na solução do solo, tornam a absorção mineral pela planta um processo bastante efetivo.
- Após serem absorvidos, os íons são transportados para as diversas partes da planta, onde são assimilados e utilizados em importantes funções biológicas.

- Portanto, o estudo de como as plantas absorvem, transportam, assimilam e utilizam os íons é denominado de **NUTRIÇÃO MINERAL**.
- A **NUTRIÇÃO MINERAL** procura entender as relações iônicas nas condições naturais do solo [salinidade, acidez, alcalinidade, presença de elementos tóxicos (como o  $\text{Al}^{3+}$ ) e metais pesados], porém, o principal interesse está associado à agricultura e à produtividade das culturas.

- Como se sabe, uma alta produção agrícola depende da fertilização do solo com nutrientes minerais. No entanto, as plantas cultivadas utilizam menos da metade dos fertilizantes aplicados.
- O restante pode ser lixiviado para os lençóis subterrâneos de água, tornar-se fixado ao solo ou contribuir para a poluição do ar.
- Torna-se de grande importância aumentar a eficiência de absorção e utilização de nutrientes pelas plantas, reduzindo, desta forma, os custos de produção e os danos causados ao meio ambiente.

## 2. Absorção de íons pelas raízes

### 2.1. Seletividade da absorção de íons

- A absorção de água e de íons minerais ocorre, predominantemente, pelo sistema radicular, que está inserido no solo, um meio heterogêneo e em transformação.
- Portanto, a raiz além de se desenvolver no solo, deve ter mecanismos que permitam selecionar os nutrientes que a planta precisa para o seu desenvolvimento.
- A membrana plasmática representa a barreira estrutural e funcional por onde a planta controla a entrada e a saída dos diversos solutos.

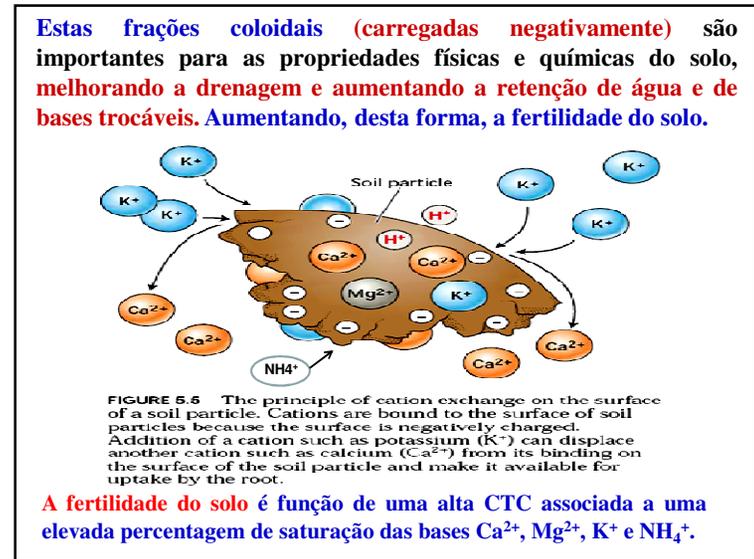
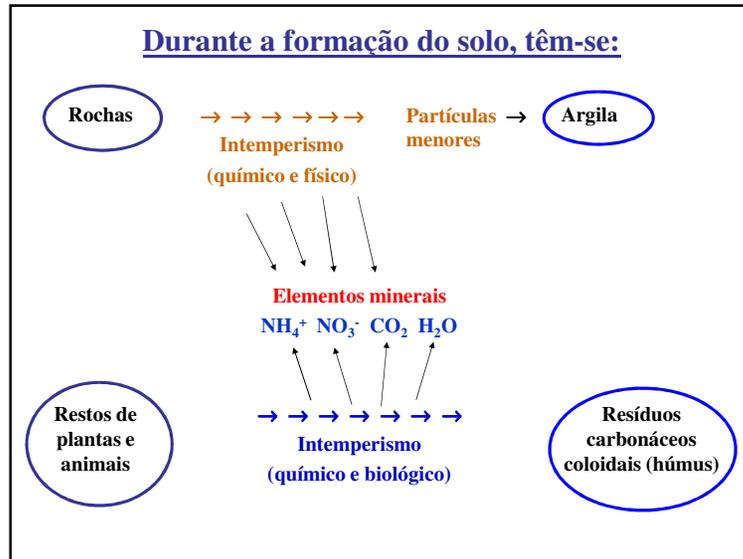
### A seletividade na absorção de íons feita por raízes de milho (Hopkins, 2000).

ÍON	Concentração externa (Ce) mM	Concentração interna (Ci) mM	Ci/Ce	
K <sup>+</sup>	0,14	160	1.142	> 968
Na <sup>+</sup>	0,51	0,60	1,18	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,13	38	292	> 13
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,61	14	23	

### 2.2. O solo como fornecedor de nutrientes

O solo é um substrato físico, químico e biológico complexo

MATRIZ (FASE SÓLIDA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; <b>Matéria mineral</b> → material inorgânico que vai de fragmentos de rochas a partículas diminutas (argila);</li> <li>&gt; <b>Matéria orgânica</b> → produto da decomposição de animais e de plantas (húmus);</li> </ul>
POROS	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; <b>Água (Fase líquida)</b> → meio no qual se encontram dissolvidas várias substâncias orgânicas e inorgânicas;</li> <li>&gt; <b>Gases (Fase gasosa)</b> → O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, etc.;</li> <li>&gt; <b>Organismos vivos</b> → raízes de plantas, bactérias, fungos, protozoários, vermes, insetos, etc.</li> </ul>

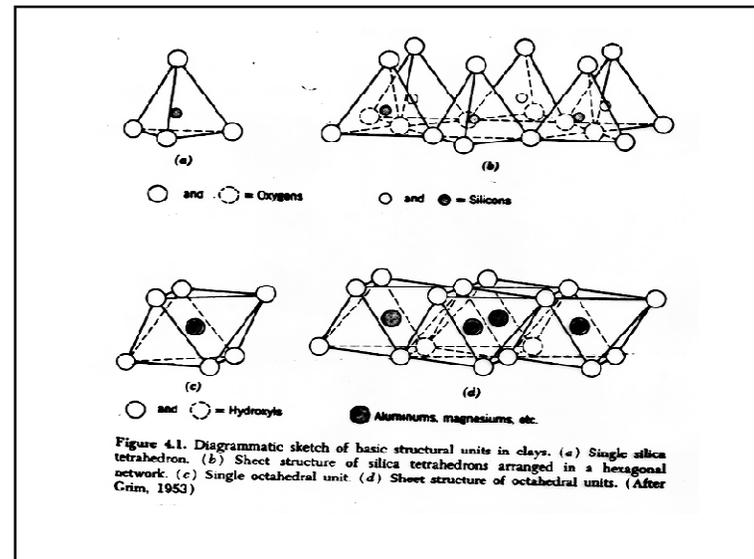


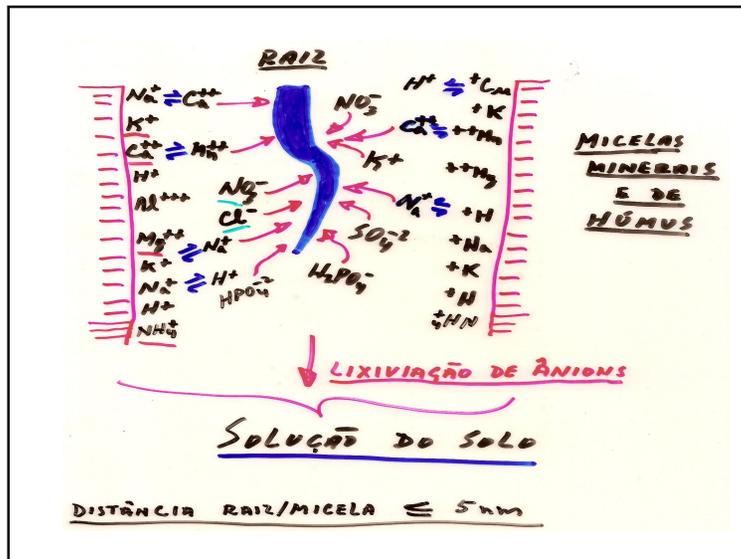
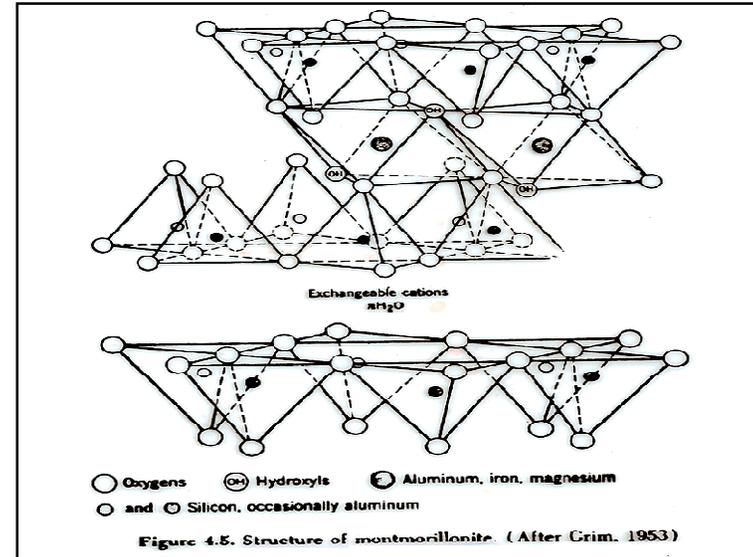
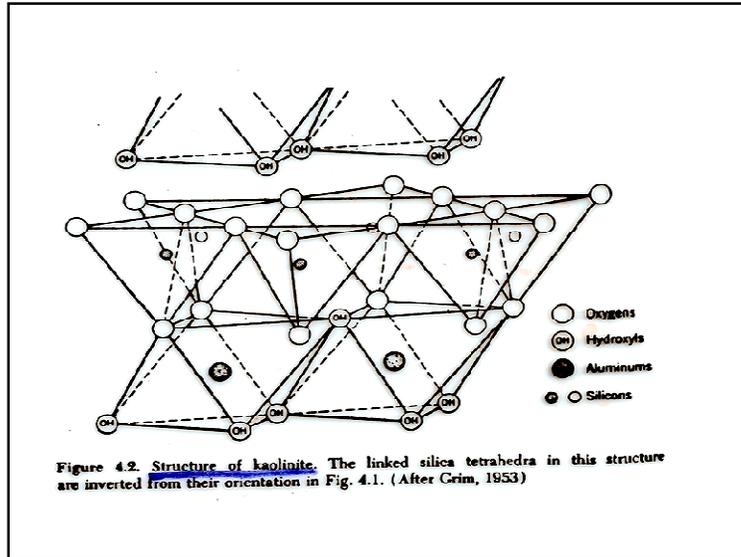
**Comparação das propriedades dos três principais tipos de argilo-silicatos encontrados no solo.**

Propriedades	Tipo de argila		
	Montmorilonita	Ilita	Caulinita
Tamanho (µm)	0,01 – 1,0	0,1 – 2,0	0,1 – 5,0
Forma	Flocos irregulares	Flocos irregulares	Cristais hexagonais
Coesão	Alta	Média	Baixa
Capacidade de embebição	Alta	Média	Baixa
Capacidade de troca de cátions (meq 100 g <sup>-1</sup> )	80 - 100	15 - 40	3 - 15

**Estrutura tetraédrica de silício: Si;**  
**Estrutura octaédrica de alumínio: Al;**  
**Caulinita: lâmina com arranjo 1:1 (Si:Al);**  
**Montmorilonita e ilita: lâmina com arranjo 2:1 (Si:Al:Si).**

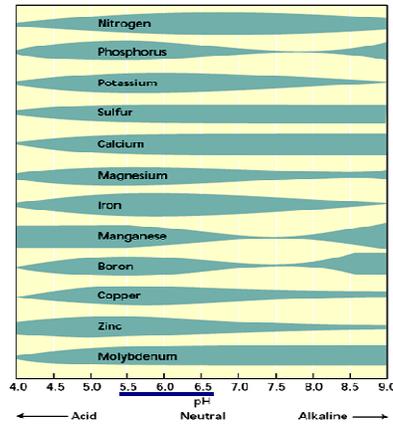
**Pode ocorrer substituição isomórfica:**  
**Si<sup>4+</sup> ⇒ Al<sup>3+</sup>      Al<sup>3+</sup> ⇒ Mg<sup>2+</sup> ou Fe<sup>2+</sup>**





- ### Disponibilidade de ânions no solo
- Ânions como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  são repelidos pelas cargas negativas das partículas coloidais do solo e permanecem dissolvidos na solução diluída do solo, ficando sujeitos à lixiviação;
  - Os fosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) podem permanecer no solo, contendo  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ , em uma forma “fixada” como sais insolúveis ( $\text{AlPO}_4$  e  $\text{FePO}_4$ );
  - O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), na presença de  $\text{Ca}^{2+}$  forma o gesso ( $\text{CaSO}_4$ ), o que limita a mobilidade deste ânion.

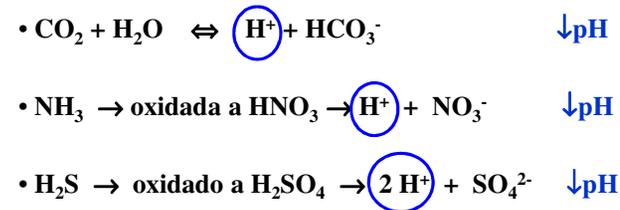
Outro ponto importante que se deve considerar, a fim de se ter uma idéia da fertilidade do solo é a influência do pH na disponibilidade de nutrientes minerais.



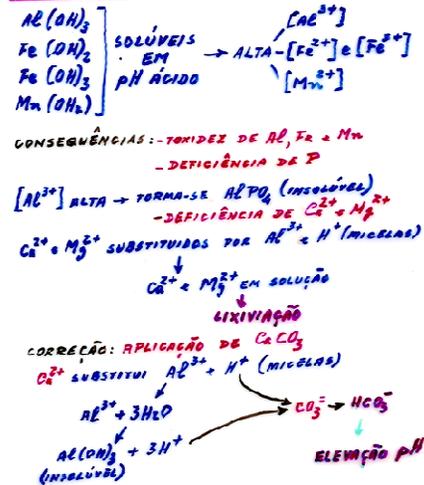
Influência do pH do solo na disponibilidade de nutrientes em solos orgânicos. A espessura das áreas sombreadas indica o grau de disponibilidade do nutriente para a raiz do vegetal. Todos esses nutrientes estão disponíveis na faixa de pH de 5,5 a 6,5 (Lucas e Davis, 1961).

Os solos ácidos ocorrem em regiões que têm alto teor de chuva e são, de modo geral, ricos em matéria orgânica. Os fungos predominam nestes solos ácidos.

A decomposição da matéria orgânica produz:

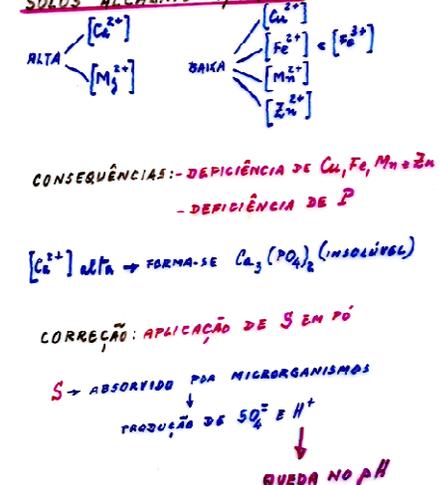


SOLOS ÁCIDOS (pH < 6,5)



Os solos alcalinos ocorrem, usualmente, nas zonas áridas e semiáridas. São pobres em  $\text{Al}^{3+}$  e ricos em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . As bactérias estão mais presentes nestes solos.

SOLOS ALCALINOS (pH > 7,5)

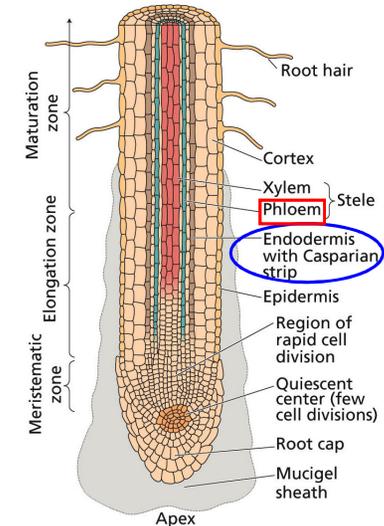


### 2.3. Absorção pelas raízes: uma visão longitudinal

A capacidade das plantas para obter água e sais minerais do solo está relacionada à sua capacidade para desenvolver um extenso sistema radicular.

O desenvolvimento do sistema radicular de mono e dicotiledôneas, depende, em grande parte, da atividade do meristema apical das raízes.

### Diagrama de uma seção longitudinal da região apical da raiz (Taiz & Zeiger, 1998).



### A absorção de íons é mais pronunciada em raízes jovens.

Tabela 5 - Taxa de absorção de  $^{42}\text{K}$  e  $^{45}\text{Ca}$  supridos a diferentes zonas de raízes seminais de milho, em  $\text{meq (24 horas)}^{-1}$  por 12 plantas (Marschner, 1995)

Nutriente ( $1 \text{ meq L}^{-1}$ )	Zona da Raiz (distância a partir do ápice, cm)		
	0 - 3	6 - 9	12 - 15
Potássio	15,3	22,7	19,5
Cálcio	6,5	3,8	2,8

### A região de absorção de íons depende do(a):

- tipo de íon;
- estado nutricional da planta;
- espécie vegetal.

### DIFERENTES REGIÕES DA RAIZ ABSORVEM DIFERENTES ÍONS MINERAIS

Alguns pesquisadores afirmam que os nutrientes minerais são absorvidos pela região apical das raízes (Bar-Yosef et al., 1972). Outros dizem que eles são absorvidos por toda a superfície radicular (Nye & Tinker, 1977).

Evidências experimentais suportam as duas possibilidades, dependendo da espécie vegetal e do íon investigado:

- Absorção de cálcio parece estar restrita à região apical das raízes em cevada;

- Ferro pode ser absorvido tanto pela região apical como em cevada (Clarkson, 1985) ou por toda a superfície radicular como em milho (Kashirad et al., 1973);
- Potássio, nitrato, íon amônio e fosfato podem ser absorvidos por toda superfície radicular (Clarkson, 1985), mas em milho a região de alongamento tem velocidade máxima de acumulação de potássio (Sharp et al., 1990) e de absorção de nitrato (Taylor & Bloom, 1998);
- Em milho e arroz, o ápice radicular absorve mais rapidamente íon amônio do que a região de alongamento (Colmer & Bloom, 1998);
- Em várias espécies, os pelos absorventes são mais ativos na absorção de fosfato (Fohse et al., 1991).

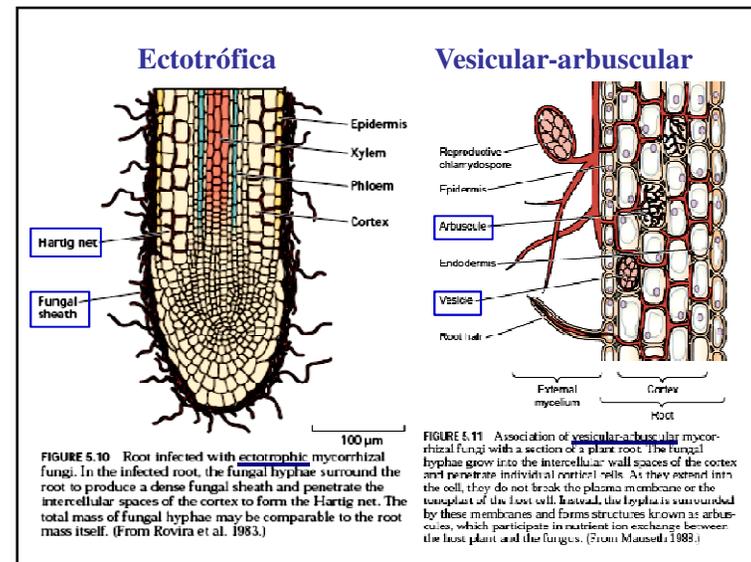
Os fungos micorrízicos aumentam a capacidade das raízes para a absorção de alguns nutrientes encontrados em baixas concentrações na solução do solo, como o fosfato e alguns micronutrientes ( $Zn^{2+}$  e  $Cu^{2+}$ ).

Existem duas classes principais de fungos micorrízicos: micorrizas ectotróficas (presentes em angiospermas arbóreas e gimnospermas) e vesicular-arbusculares (presentes na maioria das angiospermas herbáceas).

## Formação de micorrizas

As raízes de mais de 80% de todas as plantas estudadas, incluindo praticamente todas as espécies de importância econômica, formam associações com fungos, denominadas de micorrizas.

Uma micorriza é uma associação simbiótica entre um fungo não patogênico e as células de raízes jovens, principalmente epidérmicas e corticais.



- **Brassicaceae** (repolho), **Chenopodiaceae** (espinafre), **Proteaceae** (macadâmia), plantas aquáticas e em hidroponia não formam micorrizas;

- As micorrizas também estão ausentes em plantas crescendo em solos muito secos, salinos, alagados e com fertilidade extrema (alta ou baixa).

### Sequência de absorção de íons pelas micorrizas:

1. Absorção do íon pela micorriza;
2. Transferência do íon do fungo para o hospedeiro;
3. Absorção de P, Zn e Cu transferidos pela raiz.

Tabela 4. Efeito de micorrizas no crescimento e absorção de nutrientes por *Pinus strobus*.

Variável	Tratamento	
	Com micorriza	Sem micorriza
Matéria seca (mg)	405	321
% N	1,24	0,85
% P	0,20	0,08
% K	0,74	0,43

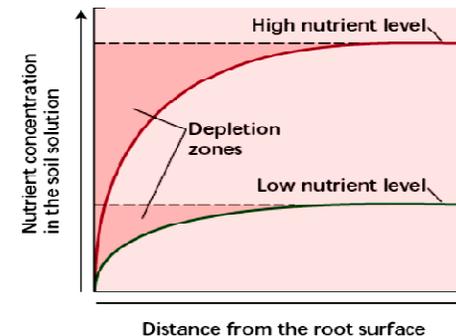
### 2.4. Absorção pelas raízes: uma visão transversal

No solo os nutrientes minerais se movem para a superfície radicular dissolvidos tanto no fluxo de massa de água como por difusão.

Assim, a quantidade de nutriente suprida por fluxo de massa depende da transpiração e da sua concentração na solução do solo ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{NO}_3^-$  são transportados para a superfície das raízes por fluxo de massa).

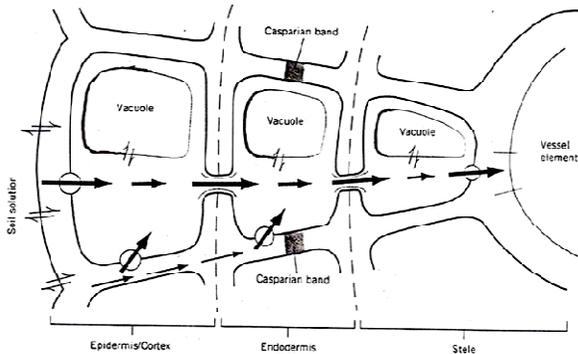
Na difusão, os nutrientes movem-se de uma região de maior para outra de menor concentração ( $\text{HPO}_4^{2-}$ , por exemplo).

Quando o fluxo de massa e a difusão são lentas forma-se uma zona de esgotamento do nutriente próxima à superfície da raiz.



Formação de uma zona de esgotamento de nutrientes na região do solo adjacente à raiz da planta. Uma zona de esgotamento forma-se quando a taxa de absorção do nutriente pelas células da raiz excede a taxa de reposição de nutrientes por fluxo de massa e por difusão na solução do solo. Tal esgotamento causa um decréscimo localizado na concentração de nutrientes na área adjacente à superfície da raiz (Mengel & Kirky, 1987).

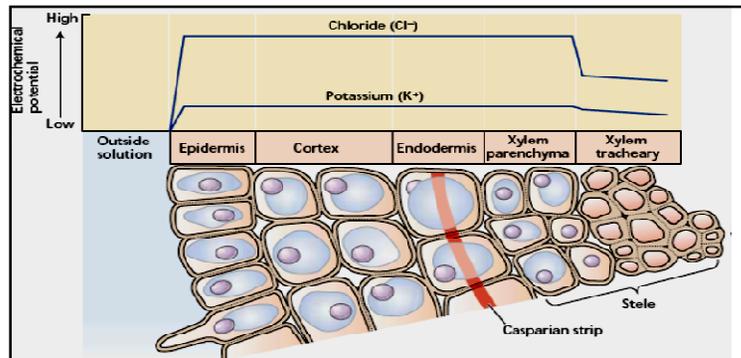
**Ao chegar à superfície da raiz o íon pode seguir diferentes caminhos:**



**Diagrama mostrando o movimento radial de íons através da raiz (Hopkins, 2000).**

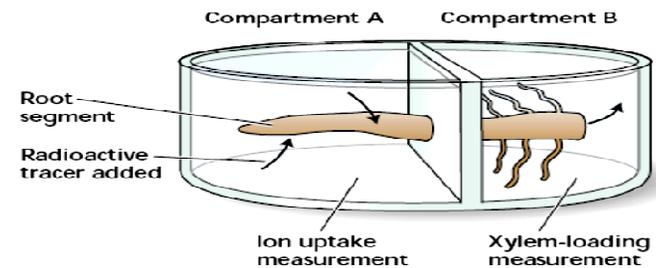
**A aquisição de nutrientes pelas plantas é função:**

- da disponibilidade de nutrientes no solo;
- do crescimento do sistema radicular;
- da capacidade de absorção da raiz.



**FIGURE 6.18** Diagram showing electrochemical potentials of  $K^+$  and  $Cl^-$  across a maize root. To determine the electrochemical potentials, the root was bathed in a solution containing  $1\text{ mM } KCl$  and  $0.1\text{ mM } CaCl_2$ . A reference electrode was positioned in the bathing solution, and an ion-sensitive measuring electrode was inserted in different cells of the root. The horizontal axis shows the different tissues found in a root cross section. The substantial increase in electro-

chemical potential for both  $K^+$  and  $Cl^-$  between the bathing medium and the epidermis indicates that ions are taken up into the root by an active transport process. In contrast, the potentials decrease at the xylem vessels, suggesting that ions are transported into the xylem by passive diffusion down the gradient of electrochemical potential. (After Dunlop and Bowling 1971.)



**FIGURE 6.19** We can measure the relationship between ion uptake into the root and xylem loading by placing a root segment across two compartments and adding a radioactive tracer to one of them (in this case compartment A). The rate of disappearance of the tracer from compartment A gives a measure of ion uptake, and the rate of appearance in compartment B provides a measurement of xylem loading. (From Lüttge and Higinbotham 1979.)

### Transporte a longa distância

O transporte a longa distância é aquele que ocorre da raiz para a parte aérea, **ascensão da seiva**, através do xilema impulsionado pela:

- **Pela pressão negativa no topo da planta (folha):**

**Transpiração;**

- **Pela pressão positiva na base da planta (raiz):**

**Gutação.**

### Redistribuição pelo floema

Na parte aérea pode ocorrer a redistribuição dos elementos móveis no floema:

- **Elementos móveis: P, K, Mg, Cl, N (na forma orgânica);**
- **Elementos imóveis: Ca, B, Fe, S, N (como nitrato).**