



# Movimento da água solo-planta-atmosfera

Prof. Thiago Braga

## Descrição

As propriedades químicas e físicas da água e seu movimento no solo, do solo para as raízes, até chegar às folhas e, posteriormente, à atmosfera.

## Propósito

Conhecer as propriedades químicas e físicas da água relacionadas com o seu movimento no solo e com o seu percurso através do corpo da planta até a saída para a atmosfera permite compreender os diferentes processos que envolvem comunidades vegetais, portanto, é relevante para sua formação tanto na atuação em sala de aula como em estudos de campo.

## Objetivos

## Módulo 1

## Propriedades químicas e físicas da água

Reconhecer as propriedades químicas e físicas da água.

## Módulo 2

## Movimento da água no solo

Descrever o movimento da água no solo.

## Módulo 3

## Movimento da água através do corpo da planta

Descrever o movimento da água através do corpo da planta.

## Introdução

A dinâmica da água no solo e seu movimento na planta é um aspecto importante para diversas áreas de estudo. Por isso, neste conteúdo, entenderemos a importância da água, assim como reconheceremos as suas propriedades químicas e físicas. Veremos também como ocorre a entrada da água no corpo da planta por meio das raízes e o seu movimento pelo corpo da planta, até chegar às folhas e, então, sair para a atmosfera.

AVISO: [orientações sobre unidades de medida](#).

## orientações sobre unidades de medida

Em nosso material, unidades de medida e números são escritos juntos (ex.: 25km) por questões de tecnologia e didáticas. No entanto, o Inmetro estabelece que deve existir um espaço entre o número e a unidade (ex.: 25 km). Logo, os relatórios técnicos e demais materiais escritos por você devem seguir o padrão internacional de separação dos números e das unidades.



## 1 - Propriedades químicas e físicas da água

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer as propriedades químicas e físicas da água.

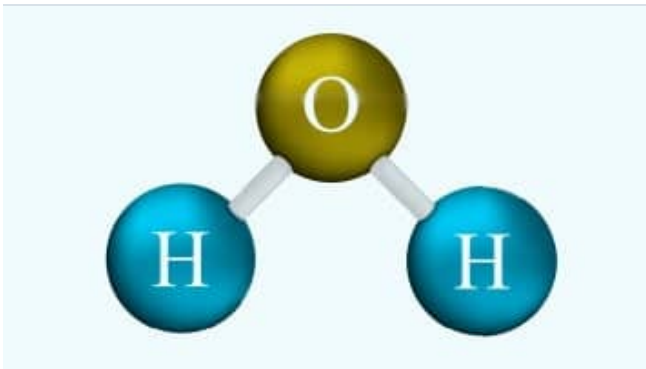
## A disponibilidade da água em nosso planeta

É importante ter em mente, ao analisarmos uma substância, como ela se encontra no planeta e a sua disponibilidade. Quando falamos da água, devemos observar que ela recobre mais de 70% da superfície

terrestre, sendo indispensável para a vida em nosso planeta.



Planeta Terra recoberto por água.



Estrutura da molécula da água e sua fórmula molecular ( $H_2O$ ).

A relevância da água já era observada desde o tempo dos filósofos gregos. Aristóteles considerava a água como um dos quatro elementos fundamentais e somente no século XVIII, após inúmeras pesquisas, foi desfeito o conceito de que a água seria um elemento; trata-se, na verdade, de um composto, apresentando em sua formação hidrogênio e oxigênio.

Considerando o total de água doce existente em nosso planeta, podemos observar que se encontra na ordem de  $40 \times 10^{15}$  litros, o que corresponde a aproximadamente 3% de toda a água existente no planeta. No entanto, 2% não estão disponíveis na forma líquida, compõem as calotas glaciais. Logo, a porcentagem de água doce na forma líquida diminui para apenas 1%, estando 10% dessa fração em solos brasileiros.

### Atenção

Vale destacar que nenhum processo metabólico ocorre sem a ação direta ou indireta da água, e ela está presente na natureza nos estados líquido, sólido e gasoso.

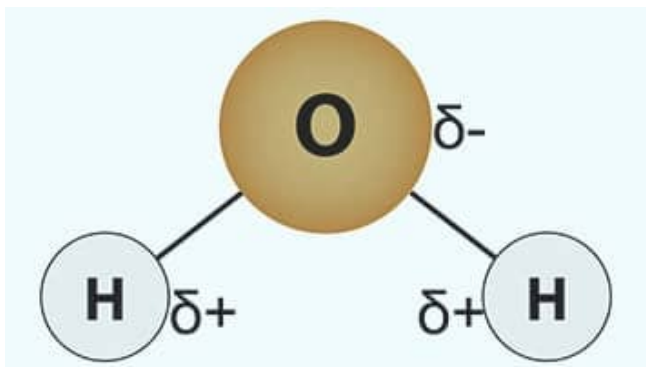
## A polaridade da água

A água é considerada um composto polar, ou seja, apresenta duas regiões com diferentes densidades eletrônicas, sendo que uma possui caráter positivo e a outra possui caráter negativo. Uma vez que

classificamos um composto como sendo polar, precisamos entender o tipo de força intermolecular que permite a interação entre suas moléculas.

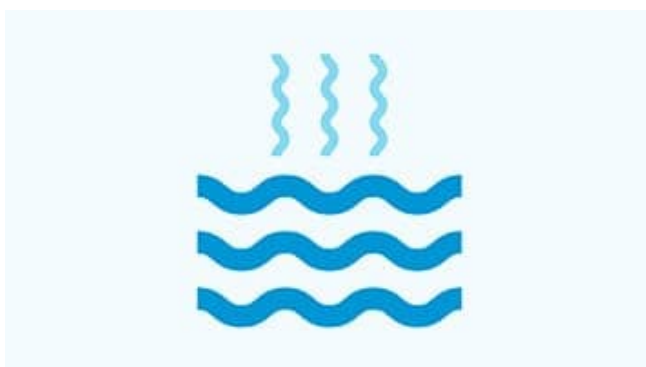
A estrutura molecular da água é de conformação simples, composta por **um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio:  $H_2O$** . Cada átomo de hidrogênio realizará uma ligação covalente ao átomo de oxigênio e, assim, compartilhará com ele um par de elétrons, mantendo um par de elétrons como não compartilhado. Considerando o átomo de oxigênio, podemos concluir que, dos quatro pares de elétrons no entorno dele, dois estarão envolvidos na ligação covalente com o hidrogênio e dois pares não estarão compartilhados, estando do outro lado do átomo.

Nesse contexto, é possível observar que a molécula de água vai apresentar uma carga negativa parcial junto ao átomo de oxigênio e uma carga positiva parcial junto ao átomo de hidrogênio. A atração eletrostática entre essas cargas parciais tem como resultado a formação de um tipo de ligação denominada ligação de hidrogênio.

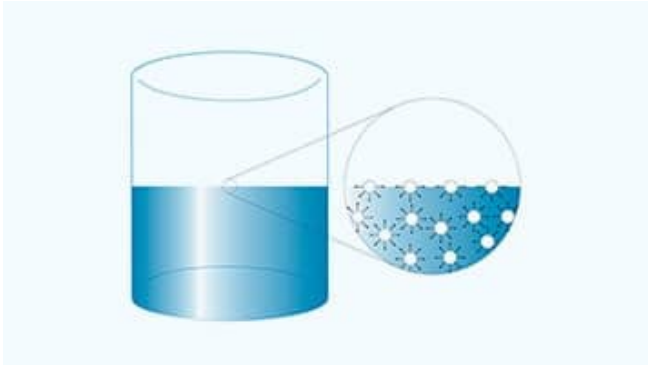


Estrutura molecular da água.

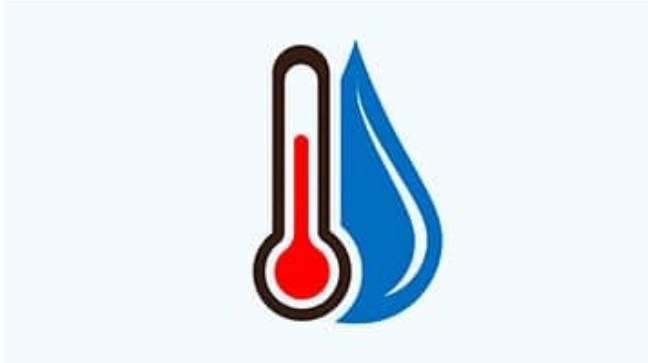
Devido às ligações de hidrogênio, a água é dotada de propriedades particulares, tais como:



**Elevado calor de vaporização**



**Forte tensão superficial**



**Alto calor específico**



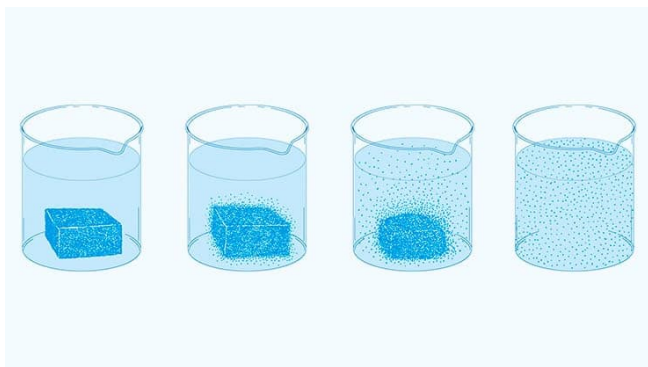
**Função de solvente quase universal**

A natureza química da molécula da água lhe confere características físico-químicas que a diferem de qualquer outra substância, caracterizando-se, assim, como constituinte fundamental da matéria viva e do meio que a condiciona. Vamos estudar as propriedades que têm relação direta com os processos fisiológicos das plantas.

## Características físico-químicas da água

### Dissolução

Graças à sua capacidade de dissolver uma grande gama de solutos, a água é conhecida como um **solvente quase que universal**, dissolvendo substâncias polares ou iônicas para formar soluções aquosas.



Dissolução de soluto na água.

O processo de solubilização tem início quando ocorre a interação entre as moléculas do solvente, no caso, a água, e o soluto. Cada íon negativo situado no interior de uma solução aquosa atrai as extremidades positivas das moléculas de água vizinhas; o mesmo efeito será observado em relação aos íons positivos com a extremidade negativa.

Como já foi visto, a molécula de água vai apresentar uma carga negativa parcial junto ao átomo de oxigênio e uma carga positiva parcial junto ao átomo de hidrogênio, conferindo assim grande estabilidade à solução. A separação dos íons a partir de compostos iônicos dissolvidos em água é conhecida como dissociação iônica, processo descoberto pelo físico-químico Svante August Arrhenius (1859-1927).

Ele observou que algumas substâncias, quando em contato com a água, poderiam conduzir eletricidade, inferindo que nas soluções aquosas existiam partículas carregadas eletricamente, destacando que essa é uma particularidade das substâncias iônicas.



Svante August Arrhenius.

## Atenção



Diversos compostos não iônicos também serão solúveis em água por meio de ligações intermoleculares, no entanto, é importante destacar que a água não será um solvente eficiente para substâncias como hidrocarbonetos, derivados de petróleo e gorduras minerais.

## Coesão

A coesão é a atração entre as moléculas de água, por causa das ligações de hidrogênio, que proporciona à água uma força de tensão muito alta, gerando **pressão hidrostática**. A água é capaz de resistir a tensões superiores a 20MPa. A pressão hidrostática pode ser:



### Pressão hidrostática positiva

Quando as moléculas de água forem comprimidas.



### Pressão hidrostática negativa

Quando houver uma força provocando o estiramento da coluna de água.

#### Saiba mais

A coesão como propriedade possibilita, por exemplo, que a coluna fina de água suba através dos elementos traqueais no xilema (vaso condutor da planta), sem romper.



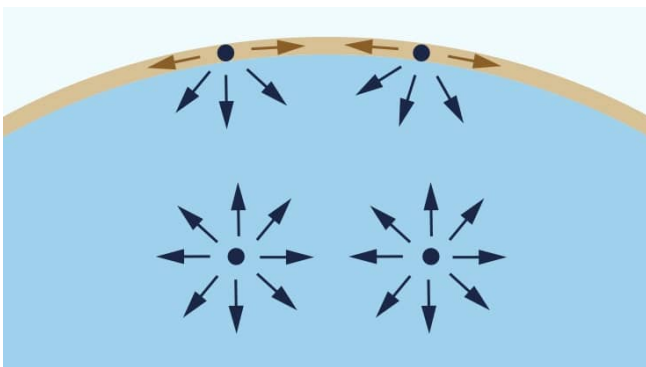
## Adesão

A adesão é a atração entre moléculas diferentes, a atração entre as moléculas da água e uma fase sólida ou uma molécula polar, como as paredes das células vegetais. Essa propriedade é observada na subida da água pelo xilema, somando-se à coesão das moléculas.

## Tensão superficial

A tensão superficial é uma característica da superfície de substâncias líquidas, resultante da coesão, quando em contato com outro estado físico. Fisicamente, ela ocorre por causa da força de atração que as moléculas exercem uma em relação às outras. Considerando a água, essa tensão superficial é resultado das ligações de hidrogênio.

Para um bom entendimento do seu funcionamento, vamos imaginar um lago. As moléculas de água situadas nas camadas mais profundas do corpo d'água, ou seja, abaixo da superfície, são atraídas em todas as direções por moléculas vizinhas e, sendo assim, a resultante das forças que atuam em relação a cada molécula é praticamente nula. No entanto, as moléculas que estão na região superficial sofrem atração apenas das moléculas posicionadas lateralmente e logo abaixo delas. Essa desigualdade de atrações na superfície acaba por provocar uma contração no líquido, o que proporciona o surgimento de uma "fina camada elástica" na superfície da água, originando assim a tensão superficial na água do lago.



Representação da tensão superficial em um lago.

A tensão superficial faz com que uma gota tenha a forma esférica, ainda que aderida a uma superfície. Do ponto de vista fisiológico do vegetal, a tensão superficial impede a entrada de bolhas de ar pelos poros das paredes celulares em condições normais de pressão. Veja os exemplos a seguir.



**Tensão superficial em gotas na superfície de folhas**



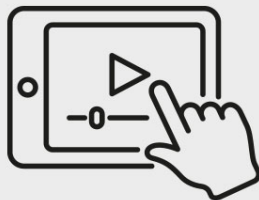
**Tensão superficial em gotas na superfície de flores**



## A importância ecológica da tensão superficial

Neste vídeo, por meio de exemplos didáticos, o especialista Thiago Braga demonstra a importância ecológica direta e indireta da tensão superficial da água.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



## Capilaridade

A capilaridade é uma propriedade resultante da interação entre coesão, adesão e tensão superficial. A capilaridade é observada em tubos de paredes hidrofílicas, nos quais a coluna de água se move para cima do tubo, por meio das propriedades de adesão e tensão superficial, até que a força para cima se equilibre com o peso da coluna de água.

## Capacidade térmica da água ou calor específico

Por definição, a quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de 1 grama de uma determinada substância é denominada como capacidade térmica e representada pela unidade de medida caloria. A energia térmica é utilizada para a quebra das ligações intermoleculares, permitindo que se movam de forma mais acelerada, fato que resulta na mudança do estado físico das substâncias. Em relação à água, sua capacidade térmica ou calor específico é de 1 caloria/°C, valor considerado bem elevado quando comparado a outras substâncias.

### Exemplo

Para ilustrar essa diferença em relação ao calor específico, podemos comparar, em um dia de sol na praia, a temperatura da areia, que possui calor específico de 0,2 calorias/°C, e a temperatura da água a pleno sol. Podemos perceber que a areia rapidamente eleva sua temperatura, enquanto a água tem sua temperatura elevada de forma lenta e gradual.

Para os vegetais, essa característica é particularmente importante, porque contribui para manter de forma estável a temperatura no corpo da planta, quando há grandes flutuações de temperatura no ambiente.

Para os vegetais, essa característica é particularmente importante, porque contribui para manter de forma estável a temperatura no corpo da planta, quando há grandes flutuações de temperatura no ambiente.

## Calor latente de vaporização

É a energia necessária para a mudança da fase líquida para a fase de vapor, processo que ocorre durante a transpiração.

É importante registrar que **o desprendimento das moléculas de água em forma de vapor durante a transpiração resulta no resfriamento da superfície foliar, em decorrência do calor latente**. Essa característica ajuda a manter a integridade das folhas que recebem grandes quantidades de energia radiante do sol.



## Salinidade



A salinidade está diretamente ligada à quantidade de sais dissolvidos na água. Para a obtenção de seu valor, é utilizado o total de sais inorgânicos dissolvidos em 1 litro de água. Tal mensuração é realizada mediante dados referentes à condutividade elétrica, que tende a aumentar à medida que aumenta a quantidade de sais dissolvidos.

### Curiosidade

A média mundial de salinidade da água do mar é de 35, ou seja, para cada 1 litro de água encontramos 35 gramas de sais dissolvidos, em sua maioria NaCl (cloreto de sódio). O ápice de salinidade é observado no Mar Vermelho e a água menos salina do mundo é encontrada no Golfo da Finlândia, no Mar Báltico.

A água existente nos rios, lagos e lençóis subterrâneos é procedente de processos de precipitação, tendo salinidade próxima a zero, já as águas dos estuários é considerada de salinidade intermediária. Outro fator que pode influenciar a salinidade da água é a profundidade.

Águas superficiais são mais salinas do que águas mais profundas, tendo como explicação para tal fato as trocas existentes entre a parte superficial e a atmosfera.

Como já observamos, a água possui alta capacidade de dissolução, sendo assim, muitas substâncias encontram-se dissolvidas nos oceanos e são classificadas de acordo com as suas propriedades químicas em cinco grupos:

Mais de 85% de todas as substâncias dissolvidas na água do mar são relativas aos íons  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ , responsáveis por fornecer à água do mar a sua principal característica, a salinidade. Somados ao sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), ao magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), ao cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e ao potássio ( $\text{K}^+$ ), obtemos 99% de todo o soluto existente na água, cabendo a todas as outras substâncias o 1% restante.

### Nutrientes



São os elementos responsáveis pela produtividade primária dos oceanos, consumidos pelos organismos fotossintetizantes na forma de fosfato e nitrato. Ainda que não esteja envolvido diretamente na produtividade primária, o silício apresenta importante papel, uma vez que é vital para a precipitação da sílica, importante componente do esqueleto de alguns organismos marinhos. Devido aos processos biológicos envolvidos, esses nutrientes apresentam diversas concentrações na água do mar, sendo classificados como não conservativos.

### Gases dissolvidos



São vários os gases dissolvidos, como o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) – intensamente controlados pela fotossíntese e respiração dos organismos, logo, são de propriedades não conservativas –, além de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), que assim como os outros gases nobres é inerte. Fecham a lista hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e os gases nobres argônio (Ar), neônio (Ne) e hélio (He).

### Elementos traço



São compostos por substâncias inorgânicas com ocorrência em baixas quantidades, menor que 1ppm (parte por milhão). No entanto, apesar da baixa concentração, são de grande importância para algumas reações bioquímicas, sendo compreendidos em sua maioria por manganês (Mn), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), ouro (Au), iodo (I) e ferro (Fe).

### Compostos orgânicos



Embora ocorram em baixas concentrações, os compostos orgânicos são vitais para promover o crescimento de diversos organismos. Em geral, são representados por moléculas orgânicas complexas, como lipídios, proteínas, carboidratos, hormônios, vitaminas, entre outras.

## Falta pouco para atingir seus objetivos.

### Vamos praticar alguns conceitos?

#### Questão 1

A capacidade térmica é definida pela quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de 1 grama de uma determinada substância. O calor específico da água é considerado alto ( $1,0\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ), proporcionando assim uma grande capacidade de armazenar calor com pequenas mudanças de temperatura. Com base nos seus conhecimentos relacionados às propriedades físico-químicas da água, julgue os itens a seguir.

- I. Os ambientes aquáticos apresentam uma pequena amplitude de variações de temperatura diária e sazonal.
- II. A energia térmica é utilizada para quebra das ligações intermoleculares, permitindo assim que se movam de forma mais lenta.
- III. Grandes corpos de água funcionam como moderadores climáticos.

Assinale a alternativa que cita todos os itens corretos.

- A Apenas o item III está correto.
- B Os itens I e II estão corretos.

- C Os itens II e III estão corretos.
- D Os itens I e III estão corretos.
- E Apenas o item II está correto.

**Parabéns! A alternativa D está correta.**

O item II está errado, pois a quebra das ligações intermoleculares permite que se movam de forma mais acelerada.

## Questão 2

Capilaridade é a propriedade que os líquidos possuem de subir ou descer um tubo extremamente fino, aparentemente, contrariando as leis da gravidade. A altura que o líquido alcança vai depender da natureza do líquido e do diâmetro interno do capilar, porque as características da capilaridade são próprias de cada composto. A capilaridade da água é uma das propriedades que explica a sua subida pelo xilema, dentro do corpo das plantas, desde as raízes até as folhas. Marque a opção que aponta corretamente outras propriedades da água que atuam na capilaridade:

- A Coesão, adesão e tensão superficial
- B Adesão, calor específico e calor de vaporização
- C Coesão, adesão e calor específico
- D Adesão, tensão superficial e calor de vaporização



## E Coesão, tensão superficial e calor de vaporização

Parabéns! A alternativa A está correta.

A capilaridade tem como seus componentes a coesão, a adesão e a tensão superficial. No caso da água, as forças de adesão são maiores do que as forças de coesão. O calor específico e o calor de vaporização não têm influência na capilaridade. O primeiro refere-se à quantidade de energia necessária para elevar a temperatura da água e é importante para manter o metabolismo do corpo da planta, mesmo com mudanças bruscas do ambiente. O segundo refere-se à passagem da água do estado líquido para o estado de vapor na superfície de folhas, por exemplo, mantendo o órgão resfriado mesmo sob incidência elevada de luz.



## 2 - Movimento da água no solo

Ao final deste módulo, você será capaz de descrever o movimento da água no solo.

# Interação da água com o solo

Antes de falarmos da interação entre a água e o solo, precisamos conhecer o solo. Em sua descrição mais fundamental, o solo é um corpo natural formado por componentes orgânicos e inorgânicos, com elementos presentes nas três fases físicas:

## Fase sólida

É composta pelo material originário (rocha matriz) local ou transportado e por material orgânico advindo da decomposição vegetal e animal.

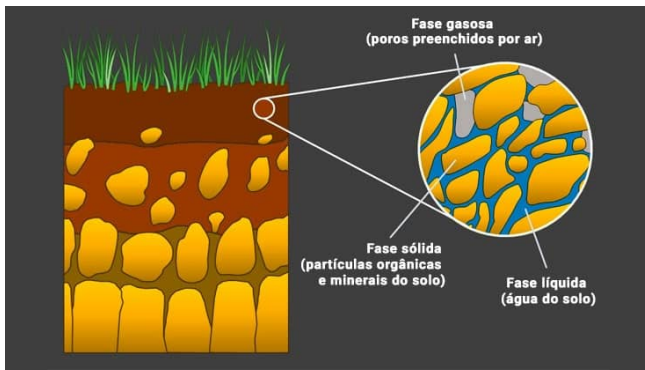
## Fase líquida

É composta pela água ou solução do solo.

## Fase gasosa

Apresentará composição variável, de acordo com os gases consumidos e produzidos por vegetais e animais.

Dessa forma, a estrutura porosa do solo é resultado da disposição espacial dos componentes da fase sólida e, nos vazios formados no interior desse arranjo, encontram-se os elementos das fases líquida e gasosa.



Fases do solo: sólida, líquida e gasosa.

Dependendo da rocha matriz originária e dos mecanismos de intemperismo e transporte aos quais a espécie mineralógica originária foi submetida, o solo apresentará diferente conteúdo das frações: areias, siltes ou argilas. O tamanho relativo dos grãos do solo é chamado de textura e sua medida de granulometria. Veja a seguir os três tipos de solo.



## Solos arenosos

Têm por característica possuir predominância de areia, seja ela fina, média ou grossa. Possuem consistência granulosa como a areia, apresentando boa permeabilidade em relação à água, ou seja, a água circula com grande facilidade, pois possui maior macroporosidade. Sendo assim, solos arenosos tendem a apresentar maior eficiência na transmissão da água, no entanto, possuem menor capacidade de retenção.



## Solos argilosos

Possuem a tendência de formar agregados com grande volume de microporos, permitindo, assim, maior capacidade de retenção de água pelo fenômeno da capilaridade. Vale destacar que os movimentos de expansão e contração das argilas favorecem a formação de macroporos entre os agregados, facilitando que parte da água infiltrada seja drenada com maior eficiência.



## Solos siltosos

São intermediários entre os arenosos e argilosos. Apresentam apenas a coesão necessária para formar, quando secos, torrões facilmente desagregáveis. Sua permeabilidade também é intermediária, menor que a de solos arenosos e maior que a de solos argilosos.

O movimento da água no solo ocorre em um meio de porosidade heterogênea, no qual o tamanho, a forma e a conectividade entre os vazios do solo e a viscosidade do fluido são determinantes para a velocidade de passagem.

A água é um componente essencial para a manutenção da vida, que, como acabamos de ver, possui propriedades únicas que desencadeiam uma série de processos físicos, químicos e biológicos. Com isso, a água influencia de maneira intensa quase todos os aspectos de formação, desenvolvimento e comportamento do solo, desde o intemperismo dos materiais, passando pela decomposição da matéria orgânica, influenciando diretamente no crescimento das plantas e carreando compostos para o lençol freático.

### Atenção

No solo, a água está intimamente associada a partículas sólidas, em especial as de tamanho coloidal ( $1\text{ }\mu\text{m}$  e  $1\text{ }\mu\text{m}$ ), e essa interação existente entre a água e o solo modifica o comportamento de ambos. Ela promove a expansão, a contração das partículas do solo, a aderência e a formação estrutural dos agregados. Também participa em uma grande variedade de reações químicas, que resultam na disponibilidade ou



indisponibilidade de nutrientes. Demonstra-se, assim, que o entendimento dessa interação da água com o solo é fundamental para a escolha das práticas de manejo do sistema.

## Características físico-químicas da água e sua relação com o solo

A influência da água em diversos processos existentes no solo está intimamente ligada à sua estrutura molecular. Com exceção do mercúrio, a água é a única substância inorgânica — isto é, desprovida de carbono em sua composição molecular — em estado líquido presente no planeta. Logo, para um bom entendimento do sistema água-solo, é imprescindível compreender como cada uma das características físico-químicas da água interage com o solo.



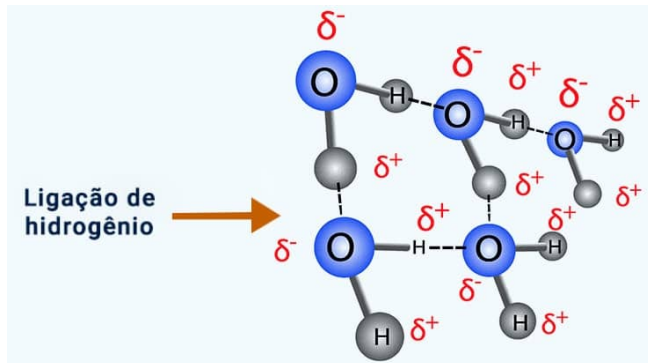
### Polaridade

Os três átomos que compõem a molécula de água não possuem um arranjo linear, estando os átomos de hidrogênio ligados ao átomo de oxigênio em formação de V. Tal arranjo faz com que a molécula seja assimétrica, na qual os pares de elétrons compartilhados passam mais tempo próximos ao oxigênio do que ao hidrogênio, o que confere à molécula de água polaridade, com uma área positiva e outra negativa, conforme discutido no módulo anterior.

Essa polaridade da água explica por que moléculas de água são atraídas por íons carregados eletrostaticamente e por superfícies coloidais. A atração pelo oxigênio, parte negativa da molécula, acarreta a hidratação de cátions  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ . Por analogia, as superfícies de argila carregadas negativamente atraem a água por meio do hidrogênio, parte positiva da molécula.

### Ligações de hidrogênio

As ligações de hidrogênio, também conhecidas como pontes de hidrogênio, têm por característica alta eletronegatividade, o que possibilita que um átomo de oxigênio em uma molécula de água exerça atração pelo átomo de hidrogênio na molécula vizinha, sendo, assim, responsável pela polimerização da água. Em relação ao solo, as ligações de hidrogênio são responsáveis pela rigidez estrutural de alguns cristais de argila e pela estrutura de alguns compostos orgânicos.



Ligações de hidrogênio entre moléculas de água.

As ligações de hidrogênio também estão relacionadas às duas forças básicas responsáveis pela retenção e movimentação da água no solo:

- **Primeira força:** é a atração que ocorre entre as moléculas de água, denominada **coesão**.
- **Segunda força:** é a atração de moléculas de água pelas superfícies sólidas, denominada **adesão** ou **adsorção**, responsável pela retenção firme de algumas moléculas na superfície de partículas sólidas do solo, que por coesão irão reter outras moléculas de água mais distantes das superfícies sólidas.

### Atenção

O efeito conjunto da adesão e da coesão proporciona às partículas sólidas do solo a capacidade de retenção de água, controlando a sua movimentação e uso, sendo responsáveis também pela plasticidade das argilas.

## Tensão superficial

A tensão superficial é mais uma propriedade da água que merece destaque em relação à sua interação com o solo. Em geral, ela é evidenciada na interface do líquido com a atmosfera e resulta da maior atração das moléculas de água umas pelas outras, ou seja, da coesão, do que pelo ar. A tensão superficial é fator importante no efeito da capilaridade, que determina o movimento da água e a sua retirada do solo.

## Fundamentos da capilaridade e da água no solo

O fenômeno da capilaridade é definido pela ascensão de água em um tubo capilar, apresentando como forças responsáveis a adesão e a tensão superficial da água, que, em grande parte, é devida à coesão, ou seja, a atração existente entre moléculas de água. Resumidamente, a capilaridade envolve: **adesão + tensão superficial + coesão**.

Ao colocarmos a extremidade de um tubo fino de vidro em um recipiente com água, podemos observar a ascensão da água pelo tubo. Quanto menor for o diâmetro do tubo, maior será a altura da coluna de água observada no tubo. Observa-se, assim, a explicação técnica do fenômeno da capilaridade.

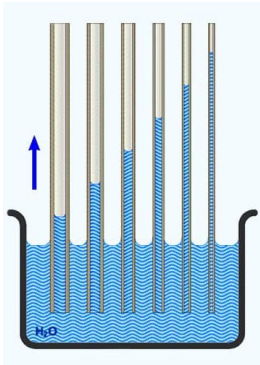


Ilustração do fenômeno da capilaridade.

### Atenção

As forças capilares estarão atuantes em todos os solos úmidos, no entanto, encontram alguns empecilhos em sua atuação, tais como a não uniformidade dos poros e a presença de ar aprisionado em alguns poros, que diminuem ou, em alguns casos, impedem o movimento capilar da água no solo.

Fisicamente, o processo é composto pela atração das moléculas de água pelas paredes dos capilares do solo, por causa da adesão, e começam a se espalhar ao longo da superfície em resposta à atração. Ato contínuo, as forças de coesão mantêm as moléculas de água unidas, criando uma tensão superficial e causando uma curvatura da superfície na interface entre a água e o ar, curvatura essa conhecida como **menisco**. O processo terá continuidade até que a água no capilar tenha se erguido o suficiente para que seu peso equilibre a diferença de pressão por meio do menisco.

Matematicamente, podemos inferir que a ascensão em um tubo capilar é inversamente proporcional ao raio do tubo, sendo também inversamente proporcional à densidade do líquido em ascensão e diretamente proporcional à tensão superficial do líquido e ao grau de atração adesiva à superfície sólida. Considerando o líquido como sendo água a 20°C, para calcular a altura de ascensão da água no capilar, podemos utilizar a equação  $h = 0,15/r$ , na qual  $h$  é a altura de ascensão e  $r$  é o raio do capilar. Veja a seguir os seguintes exemplos.

**Considerando capilares com raios de 0,3mm, 0,5mm e 1mm, qual será a ascensão da água em cada um?**

$$h = 0,15/0,3 \Rightarrow h = 0,5\text{mm}$$



$$h = 0,15/0,5 \Rightarrow h = 0,3\text{mm}$$

$$h = 0,15/1 \Rightarrow h = 0,15\text{mm}$$

### Comentário

Claramente, por intermédio dos exemplos, podemos perceber que, quanto maior o diâmetro, menor a ascensão.

## Comportamento da energia da água no solo

O conjunto de movimentos que a água irá realizar no solo, sua retenção, sua absorção e translocação nas plantas e sua perda para a atmosfera estão intimamente relacionados à energia.

O estado de energia da água no solo é caracterizado pelo potencial total de água no solo ( $\Psi_t$ ). Na natureza, é possível observar que toda substância, incluindo a água, tem a tendência de assumir sempre um estado mínimo de energia. Assim, o comportamento da água no solo será de se movimentar no sentido de maior para o de menor potencial. Desse modo, quando conhecemos os diferentes níveis de energia presentes no solo, podemos prever a direção do deslocamento.

Diversos componentes estão envolvidos no potencial total de água do solo ( $\Psi_t$ ), são eles:

**Potencial gravitacional ( $\Psi_g$ )**

**Potencial matricial ( $\Psi_m$ )**

**Potencial osmótico ( $\Psi_{os}$ )**

## Potencial de pressão ( $\Psi_p$ )

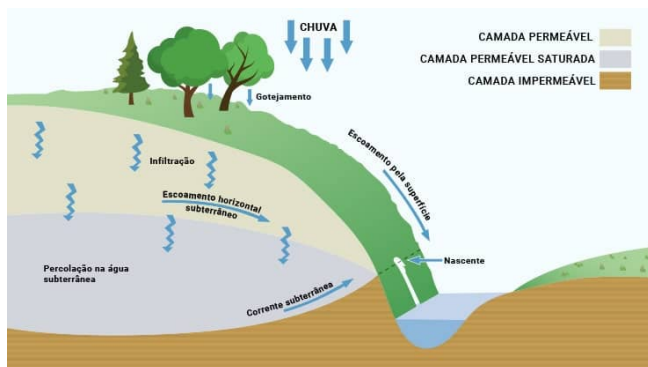
Sendo assim, podemos obter o potencial total de água no solo pela seguinte equação:

$$(\Psi_t) = (\Psi_g) + (\Psi_m) + (\Psi_{os}) + (\Psi_p)$$

## Potencial gravitacional ( $\Psi_g$ )

A força da gravidade irá atuar na água presente no solo de maneira similar à que atua em todos os corpos, em direção ao centro da Terra. Seu valor é definido pela quantidade de energia que é necessária para o deslocamento de uma unidade de água a um ponto específico em relação a um plano referencial. Seu valor é obtido pela equação  $\Psi_g = gh$ , em que  $g$  é a aceleração da gravidade e  $h$  será a altura de deslocamento da água no solo em relação a um ponto de referência.

Após grandes chuvas ou a irrigação, a gravidade desempenhará papel importante no movimento da água no solo, contribuindo para a retirada do excesso de água dos horizontes superficiais e para o reabastecimento do lençol freático abaixo do perfil do solo.



Percurso da água infiltrada no solo.

## Potencial matricial ( $\Psi_m$ )

O potencial matricial representa a interação entre a matriz do solo (granulometria, estrutura e poros) e a água, indicando a contribuição das forças de retenção da água no solo, associadas às suas interfaces sólido-líquido e líquido-ar.

Para que ocorra a remoção da unidade de água retida pelo potencial matricial do solo, é necessário o gasto de energia, sendo que, quanto mais seco o solo, maior a energia necessária.

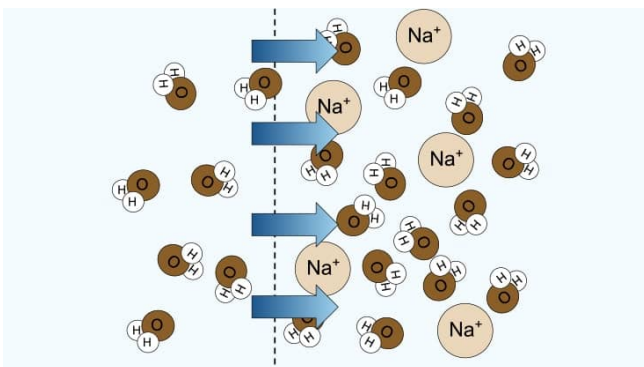
No campo, uma forma de realizar a medição do potencial matricial é utilizando o tensiômetro. Já em laboratório, uma alternativa eficiente é a utilização da panela de pressão de Richards.



Tensiômetro em medição no solo.

## Potencial osmótico ( $\Psi_{os}$ )

Potencial osmótico é definido como a quantidade necessária para que seja transportada uma molécula de água do nível de referência até o ponto em que a concentração de solutos na solução será diferente da concentração de água pura. No entanto, para que ocorra esse movimento, deve existir, entre a zona de baixo potencial osmótico e a zona de alto potencial osmótico, a presença de uma membrana semipermeável, permitindo o fluxo de água e impedindo o fluxo do soluto.



Potencial osmótico.

Esse fato não é observado no solo, logo, o potencial osmótico tem pouco efeito na movimentação da água no solo. Sua principal contribuição será em relação à absorção de água pelas células das raízes das plantas, que se encontram isoladas da solução do solo pelas suas paredes celulares semipermeáveis.

## Potencial de pressão ( $\Psi_p$ )

O potencial de pressão somente é considerado em áreas saturadas, nas quais a lâmina de água irá exercer uma pressão em relação ao solo. Veja a seguir um bom exemplo desse potencial hidrostático.

### Exemplo

A pressão da coluna de água durante um mergulho, quanto maior é a profundidade assumida, maior será o volume da coluna de água e, por conseguinte, maior a pressão hidrostática no corpo.

## A quantidade de água presente (conteúdo de água) e o estado de energia da água (potencial da água no solo)

A quantidade de água existente no solo e o estado de energia em que ela se encontra são variáveis fundamentais para o entendimento do movimento da água no solo e o seu manejo.

Tomando como base a informação do potencial de água no solo, entendemos que o movimento da massa de água será em direção ao lençol freático. No entanto, precisamos saber o conteúdo de água no solo para quantificar a contribuição do movimento dessa massa de água em relação à alteração dos níveis do lençol freático.

## Avaliação qualitativa da umidade do solo

O comportamento da água no solo e o valor do seu potencial estão relacionados a diversos fatores que podem facilitar a disponibilidade de água e o seu deslocamento ou dificultar a sua mobilidade.

Considerando o fator umidade, à medida que ela vai sendo retirada, o comportamento físico da água em relação ao solo também vai se modificando, principalmente porque a água remanescente no solo seco está presente nos microporos, nos quais seu potencial é reduzido.



Para um melhor entendimento de todo o gradiente dessas mudanças, devemos observar o solo com diversos graus de umidade, sendo eles:

**1**

## Capacidade máxima de retenção de água

**2**

## Capacidade de campo

**3**

## Ponto de murcha permanente

**4**

## Coeficiente higroscópico

## Capacidade máxima de retenção (CMR)

O solo saturado é aquele que encontra todos os seus poros preenchidos com moléculas de água e, nesse momento, atinge a sua capacidade máxima de retenção, alcançando [potencial mátrico](#) próximo a zero.

O solo permanecerá em sua capacidade máxima de retenção pelo tempo que durar o processo de infiltração, e a água gravitacional percolará sob influência principalmente das forças gravitacionais (potenciais hidrostático e gravitacional).

## otencial mátrico

É atração da água pelas superfícies sólidas.

### Atenção

Conhecer a capacidade máxima de retenção de um solo é importante para inferir sobre quanto de água, seja ela de chuva ou irrigação, pode ser armazenada no perfil durante um espaço de tempo.

## Capacidade de campo (Cc)

Quando uma determinada quantidade de água atinge a camada superficial do solo, a tendência é que a sua taxa de infiltração seja compatível com as características do solo, movimentando-se para os lados e para

baixo. Ainda que o processo que fornecia água à camada superficial do solo tenha sido interrompido, o processo de infiltração terá continuidade, principalmente pela ação da gravidade, drenando a água das superfícies mais elevadas para as superfícies mais profundas e mais secas.

Após o término da drenagem natural do perfil, toda a água que ficar nos poros do solo e que puder ser fornecida às plantas será a sua capacidade de campo.

Como já observamos, no entanto, o movimento da água no solo é dinâmico e influenciado por diversas forças, o que torna a medida de capacidade de campo um valor não constante, uma vez que a redistribuição usualmente permanece por longos períodos de tempo.

Conhecer a capacidade de campo é de grande utilidade, uma vez que é nesse momento que o solo retém a quantidade máxima de água para os vegetais. Na capacidade de campo, o solo também está próximo ao seu limite de plasticidade, apresentando condições ótimas de cultivo e revolvimento. Por fim, ainda na capacidade de campo, a porosidade de aeração se torna adequada para a maioria dos microrganismos aeróbios.



## Ponto de murcha permanente (Pmp)

Após atingir a capacidade de campo, o solo pode continuar a perder água, por exemplo, com a absorção de água pelas raízes das plantas, iniciando pela remoção da água nos macroporos. Uma vez que estes estejam vazios, as raízes absorverão água de poros progressivamente menores, tornando cada vez mais difícil para o vegetal remover água do solo em quantidade suficiente para suprir as suas necessidades.

Quando a escassez de água for ainda mais acentuada, o vegetal tende a murchar durante o dia para manutenção de sua umidade e voltar a estar túrgido durante a noite, quando não há perda de água pelas folhas, e assim, as raízes conseguem suprir sua demanda hídrica.

No momento em que as raízes não puderem gerar potenciais baixos o suficiente para a absorção de água do solo, o vegetal irá se manter murcho durante o dia e a noite. Nesse momento, será atingido o ponto de murcha permanente.



Ponto de murcha permanente.

### Atenção

Se a capacidade de campo é o limite superior para o armazenamento de água no solo, o ponto de murcha permanente é o limite inferior de disponibilidade de água para as plantas. Contida nesse intervalo estará a quantidade de água disponível no solo que poderá ser utilizada pelo vegetal.

## Coeficiente higroscópico

Ainda que o ponto de murcha permanente seja o ponto em que a maior parte das raízes de vegetais não conseguirá absorver água, devido à exposição do solo à atmosfera, ele continuará a perder água por evaporação. O conteúdo de umidade do solo nesse ponto é chamado **coeficiente higroscópico**.

O solo deverá se comportar como um reservatório de água para os vegetais, mantendo da melhor forma uma disponibilidade contínua entre os eventos de aporte e perda de água, variando entre uma quantidade máxima de água que pode armazenar e uma quantidade mínima, abaixo da qual a água se tornará inacessível às plantas.

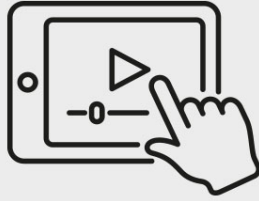


## Prática do comportamento da água em diferentes tipos de solo

Neste vídeo, por meio de exemplos práticos, o especialista Thiago Braga demonstra o fenômeno da capilaridade e seu comportamento no solo, ação do potencial gravitacional, a demonstração da capacidade máxima de retenção no solo e demonstração da capacidade de campo.



Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



## Falta pouco para atingir seus objetivos.

### Vamos praticar alguns conceitos?

#### Questão 1

Ao colocarmos a extremidade de um tubo fino de vidro em um recipiente com água, podemos observar a ascensão da água pelo tubo; quanto menor for o diâmetro do tubo, maior será a coluna de água observada no tubo e teremos a demonstração técnica do fenômeno da capilaridade. Com base em seus conhecimentos sobre o deslocamento da água no solo por capilaridade, marque a alternativa que apresenta dois empecilhos para a atuação da capilaridade no solo.

- A Ligações de hidrogênio e ponto de murcha permanente
- B Uniformidade dos poros e escassez de chuvas
- C Não uniformidade dos poros e ar aprisionado nos poros
- D Coeficiente higroscópico e ausência de membrana semipermeável
- E Panela de pressão de Richards e lençol freático

**Parabéns! A alternativa C está correta.**

A não uniformidade dos poros faz com que os poros maiores não permitam o processo de capilaridade, que tem por princípio o espaço extremamente fino. Por outro lado, a presença de ar bloqueia o fluxo da coluna de água.

## Questão 2

Um produtor rural instalou um sistema de irrigação em toda a sua área de produção e, visando à maximização da utilização da água no sistema, pediu para que a programação de irrigação não ultrapassasse o limite máximo de água útil para as plantas. Considerando seus conhecimentos em relação à avaliação qualitativa da umidade do solo, indique a alternativa que apresenta o conceito técnico que permite que o produtor tenha o seu desejo atendido.

- A Ponto de murcha permanente
- B Polaridade
- C Coeficiente higroscópico
- D Capacidade de campo
- E Capacidade máxima de retenção

**Parabéns! A alternativa D está correta.**

Uma das características do ponto de capacidade de campo é ser o limite superior de água no solo útil para os vegetais.



### 3 - Movimento da água através do corpo da planta

Ao final deste módulo, você será capaz de descrever o movimento da água através do corpo da planta.

## Relação da água com os vegetais

Conforme já foi discutido nos dois módulos anteriores, a água tem papel importante para a manutenção da vida, não por acaso é uma das primeiras substâncias a ser procurada como indício da possibilidade de vida em outros planetas. Ela se caracteriza por possuir diversas propriedades físico-químicas particulares, que lhe conferem condições de deslocamento no solo e posteriormente possibilitarão a sua absorção pelo vegetal.

No vegetal, a água desempenhará papel fundamental, representando de 80% a 95% da massa dos tecidos em crescimento, bem como é o principal constituinte do protoplasma das células. A água é ainda responsável pela manutenção térmica dos vegetais, além de ser o solvente em que os nutrientes minerais estão presentes para que possam adentrar as raízes e ser transportados através do corpo do vegetal.

O entendimento da relação da água com a planta é de suma importância para uma correta interpretação da relação da planta com o meio e dos processos metabólicos que ocorrem no corpo da planta. Em função disso, o fator hídrico é o principal responsável pela distribuição das espécies na terra, em especial quando consideramos o clima tropical.



Vegetal sendo regado.

## Por que as células vegetais precisam de tanta água?

### Explicação

Porque constituem um sistema hidrodinâmico que envolve os seguintes processos:

- Transpiração.
- Absorção de água.
- Translocação pelo corpo da planta.
- Pressão de turgor (estômatos, ápices).
- Fotossíntese.
- Desintoxicação de formas de oxigênio reativo, como  $O_2$  e  $H_2O_2$ .
- Movimento de nutrientes: solo-planta e raiz-folhas.
- Translocação de açúcares da fotossíntese.
- Migração de gametas através do tubo polínico.
- Germinação de sementes.

**Para que tudo isso aconteça, qual a relação de consumo de água pela planta?**



**Para cada molécula de  $CO_2$  absorvida pela planta, 400 moléculas de  $H_2O$  são perdidas para a atmosfera.**



## Para cada 1g de matéria orgânica (açúcar) produzida, a planta consome 500g de água.

Logo, é fundamental a manutenção do equilíbrio entre o que é absorvido e o que é perdido na transpiração.

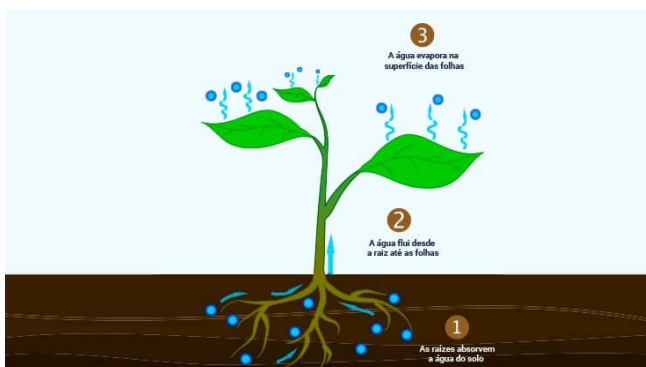
### Curiosidade

Para termos uma ideia do que isso representa, uma árvore com uma copa de 20m<sup>2</sup> de área consome de 400 a 500 litros de água por dia, considerando que à noite não há absorção de água.

## E o que acontece com toda a água consumida pela planta?

### Explicação

- 97% são perdidos pela transpiração.
- 2% são distribuídos pelos tecidos e órgãos em crescimento.
- 1% é consumido nas reações bioquímicas da fotossíntese e outros processos metabólicos.



Esquema do processo de transpiração.

É importante destacar que a transpiração vai ocorrer pelas folhas e que, em dias quentes, cada folha perde por hora o seu peso em água pela transpiração. Então, é fácil imaginar a atividade que ocorre no corpo da planta e no solo para que a planta absorva toda a água necessária e que ela chegue a cada célula eficientemente.

Com isso, percebemos a importância do solo como reservatório da água que as plantas precisam para a sua sobrevivência! E, para retirar toda essa água do solo, as plantas possuem as raízes, órgão especializado para essa função.

# Papel da raiz na absorção de água

Comumente, quando nos referimos a estabelecer moradia em algum lugar, utilizamos a expressão “**fixar as raízes**”, ou seja, estabelecer-se em um lugar de forma fixa e dele retirar o nosso sustento.

No caso dos vegetais, a raiz, como observado na imagem a seguir, funcionará exatamente dessa forma. Ela possui papel importante para o vegetal, uma vez que lhe propicia a ancoragem no terreno, ou seja, sua fixação, além de ser o órgão responsável pela absorção de água e nutrientes. O sistema radicular ainda merece destaque por ser o responsável pela síntese de fitormônios, essenciais para o desenvolvimento da planta.

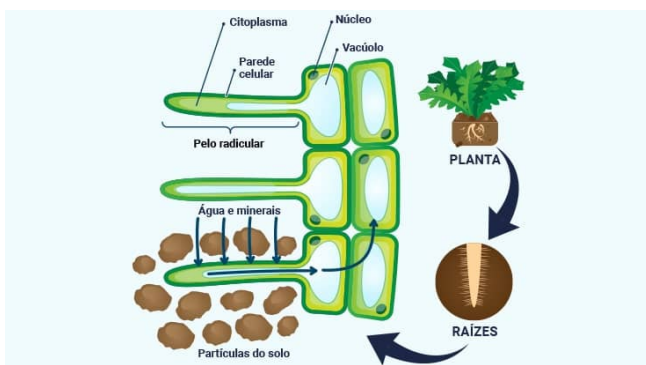


Raiz, responsável pela fixação e absorção de água e nutrientes.

## Estrutura da raiz

A raiz é especializada para fazer a absorção da água e minerais do solo, o que significa que a sua estrutura tem organização e características voltadas para o desempenho dessa função.

Vimos que ela precisa de uma grande capacidade de absorção, mas sabemos que ela não é capaz de absorver da mesma forma ao longo de toda a sua estrutura. A absorção vai ocorrer nas regiões mais apicais de corpo primário, nas quais ela é revestida por uma delicada epiderme, especialmente na zona pilífera, em que expansões das células epidérmicas formam os **pelos absorventes** ou **pelos radiculares**.



Esses pelos absorventes aumentam a superfície de contato da raiz com o solo, aumentando a sua capacidade de absorção. A raiz também absorve nas regiões de corpo secundário recém-formadas e mais jovens, porém, de forma menos significativa, assim como no ápice. As regiões de corpo secundário mais antigas, fortemente suberizadas, não são capazes de absorver.

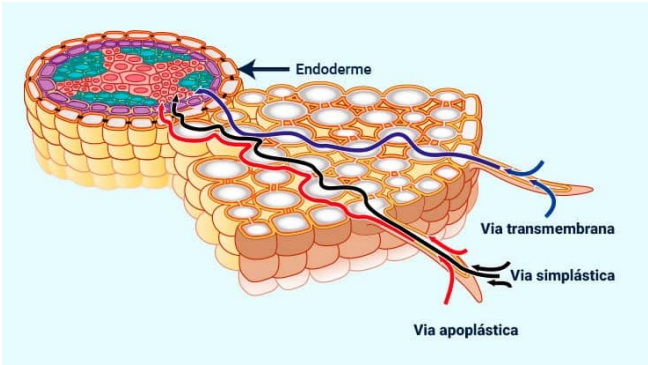
Para se ter uma ideia da capacidade de absorção das raízes ao longo do seu eixo, observe na tabela a seguir as taxas de absorção apuradas em um experimento feito com raízes de abóbora. A região que corresponde às maiores taxas de absorção é a dos pelos radiculares.

Distância a partir do ápice (mm)	Taxa de absorção de água (μL.L <sup>-1</sup> )
20	0,80
40	1,20
<b>60</b>	<b>1,40</b>
120	0,20
240	0,18

Tabela: Taxa de absorção de água por raízes de abóbora ao longo do eixo radicular.  
Extraída de: KRAMER; BOYER, 1995, p. 124.

## Movimento da água na raiz

Para entendermos como a água se movimenta dentro da raiz, a partir do momento em que ela é absorvida, vamos observar, na imagem a seguir, os caminhos que ela percorre em um corte transversal de raiz.





Movimento da água dentro da raiz, a partir do solo até o xilema.

---

Ao entrar na raiz, a água pode seguir três caminhos, veja a seguir.

## Via simplástica

Ocorre pela absorção de água pelas células da raiz. Os pelos radiculares apresentam destacada importância na capacidade de absorção, com a água se movimentando pelo citoplasma das células vizinhas, através dos plasmodesmos, até a sua chegada ao xilema, no cilindro vascular.

## Via apoplástica

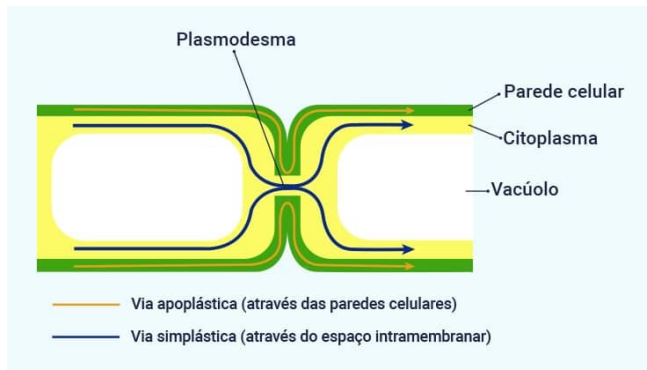
Ocorre com a passagem da água pelo apoplasto, ou seja, entre as paredes celulares e pelos espaços intercelulares, desde a absorção pelas células da epiderme, até o xilema no cilindro central.

## Via transmembrana

A água passa por dentro da célula, atravessando duas vezes a parede celular, logo, a bicamada lipídica das células, através de aquaporinas.

Para alcançar o xilema a partir do solo, não há uma via mais usual ou preferencial que a água possa percorrer. Ela estará relacionada com gradientes e resistências que vão ocorrer ao longo do caminho. A via transmembrana não é a preferencial quando há o transporte de íons, pois a sua passagem através das membranas plasmáticas é muito mais lenta do que a da água, já que envolve canais próprios para a sua passagem.

Antes de entrar no xilema, toda a água absorvida alcança a endoderme, tecido que apresenta, nas paredes de suas células, uma barreira de lignina, denominada **estrias, bandas** ou **faixa de Caspary**. Apesar de apresentar maior dificuldade de passagem, a água não tem o seu fluxo interrompido, chegando ao xilema.



Vias apoplástica e simplástica.

## Transporte de água da raiz até as folhas

O movimento da água a partir das raízes até chegar às folhas ocorre dentro do xilema em suas células especializadas para condução:

### pontuações

Regiões de comunicação entre células vizinhas por ausência de parede secundária.

### Traqueídeos

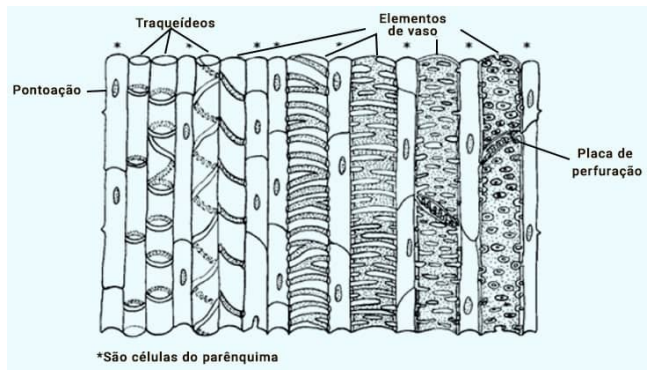
Característica plesiomórfica, é o único tipo de célula condutora do xilema de Pteridófitas e Gimnospermas (exceto Gnetales) e está presente em Angiospermas. São células alongadas e estreitas, com pares de **pontuações** nas paredes de células adjacentes, pelas quais flui a água.



### Elementos de vaso

Característica apomórfica de célula condutora do xilema de Angiospermas e Gnetales. São células mais curtas e mais largas do que os traqueídeos, com perfurações concentradas na extremidade da célula, formando **placas de perfuração**. Os elementos de vaso se conectam pelas extremidades, formando vasos pelos quais a água flui.

Veja na imagem a seguir as células especializadas para condução no xilema.



Traqueídeos e elementos de vaso do xilema.

O transporte de água da raiz, via xilema, chegando às folhas, pode ser impulsionado de duas formas:

### Pressão positiva na raiz

Também chamada de **pressão de raiz** ou **pressão radicular**. Ela é entendida como a pressão hidrostática positiva no xilema e ocorre quando as raízes absorvem íons presentes na solução do solo e os transportam para o xilema, acarretando uma diminuição do potencial osmótico, e por consequência, do potencial hídrico do xilema, impulsionando a absorção de água. Com a entrada de água, será produzida uma pressão positiva no xilema, provocando a ascensão de seiva para a parte aérea do vegetal.

Em plantas de pequeno porte, quando o fluxo de entrada de água é abundante e a umidade relativa do ar é alta, mas não há um equilíbrio com a saída de água nas folhas pela transpiração, o excesso da água sobe pelo xilema sob pressão e é liberado na forma líquida em estruturas secretoras denominadas **hidatódios**.



Gutação em *Tamus communis*.

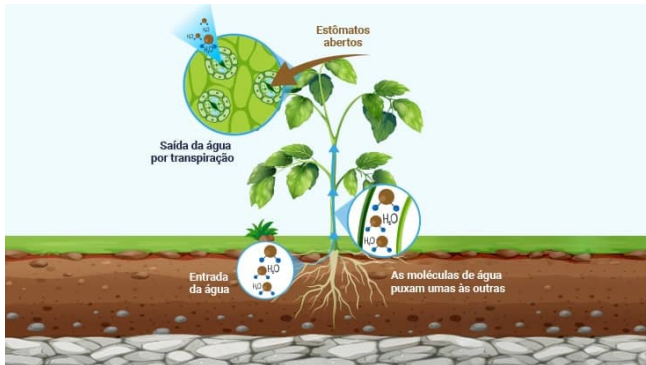
### Saiba mais

A secreção de água pelos hidatódios recebe o nome de gutação. É comum observarmos a **gutação** em morangueiros, por exemplo, logo cedo pela manhã.

### Pressão negativa na raiz (tensão)

A responsável pela pressão negativa na raiz é a transpiração que ocorre nas folhas. Durante o processo de transpiração das plantas, o fluxo de água — sai do solo, percorre a planta e chega à atmosfera — é diretamente proporcional ao potencial hídrico e inversamente proporcional ao somatório de todas as resistências que incidem sobre a coluna d'água.

Essas resistências são: a resistência ao movimento de água nas paredes das células condutoras do xilema para os espaços intercelulares, a câmara subestomática, o ostíolo e a camada de vapor de água adjacente à folha, demonstrando assim o papel fundamental da transpiração na movimentação da água por todo o sistema, do solo até a atmosfera. Esse processo está ligado diretamente à característica de coesão das moléculas da água, vista anteriormente; é a chamada **teoria da coesão-tensão**.



Movimento da água através do xilema até as folhas.

## Quais as questões importantes do movimento da água das raízes até as folhas?

### Explicação

Podemos resumir o movimento da água das raízes até as folhas como segue:

- A rota através do xilema é simples e de baixa resistência das paredes das células condutoras.
- A via pelo xilema corresponde a mais de 99,5% da rota da água em uma planta.
- O movimento envolve as células condutoras: elementos de vaso e traqueídeos.
- Acredita-se que a subida da água responde à teoria de coesão-tensão.
- A saída de água das células do mesofilo cria pressão hidrostática negativa, ou seja, tensão.
- A tensão provocada sobre a coluna de água “puxa” a água do xilema para cima.

## E, quais seriam os problemas que o transporte de água pelo xilema pode ocasionar?

Veja a seguir dois exemplos de problemas ocasionados por esse transporte de água pelo xilema.

### Cavitação

É o fenômeno de formação de bolhas dentro do xilema.

### Embolia

É a lacuna resultante pela formação das **bolhas**, preenchida por gás.

## olhas

Podem ocorrer por sementeira de ar ou por congelamento da água no xilema. Como consequência, causam a descontinuidade do fluxo de água, podendo levar ao déficit hídrico das folhas.

### Atenção

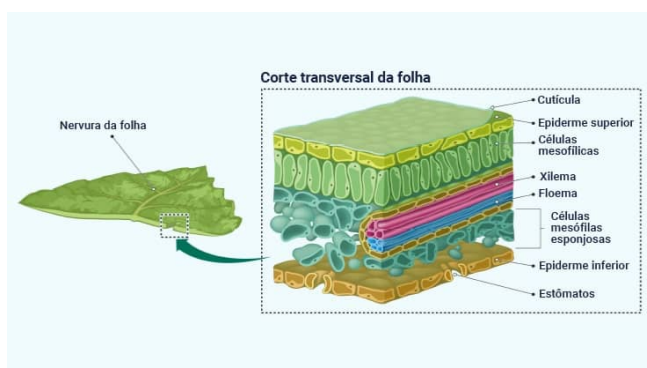
Para reparar o problema da cavitação, as plantas possuem os seguintes mecanismos naturais:

- Restrição da cavitação pelo tamanho dos vasos e traqueídeos.
- A pressão de raiz durante a noite pode dissolver as bolhas de gás no xilema, diminuindo de tamanho.
- Formação de novo xilema funcional com o crescimento secundário a cada nova estação.

# O movimento da água da folha para a atmosfera: transpiração

A folha pode ser considerada um produto refinado do processo evolutivo, pois apresenta diferentes funções em todo o conjunto do vegetal, com diferentes arranjos espaciais, ostentando uma combinação de diversos tecidos, tudo isso variando em função das espécies e do ambiente no qual estão inseridas.

Em um corte transversal, a folha é composta por diferentes tecidos: a epiderme superior e inferior; o mesófilo, caracterizado pela abundância de cloroplastos, que se distingue em parênquima paliçádico na face superior da folha e parênquima lacunoso ou esponjoso na face inferior; e o sistema vascular, no plano mediano da lâmina foliar.



Corte transversal da folha.

A epiderme tem por característica apresentar um conjunto de células dispostas compactamente, com a presença de cutícula e estômatos, que podem ocorrer em ambas as faces, no entanto, em menor número na face superior, ou somente na face inferior ou superior.

Veja a seguir as etapas do movimento da água da folha para a atmosfera.

### Primeira etapa

O movimento de água na folha é realizado entre áreas com diferentes potenciais de água, no entanto, segue o caminho da maior condutância hidráulica. Considerando a grande diferença de concentração entre a atmosfera e a folha, a folha tende a sofrer um decréscimo no seu potencial hídrico nas horas mais quentes do dia e um aumento nos horários de maior amenidade da temperatura.

### Segunda etapa

Uma rede de nervuras em calibres progressivamente menores distribui a água entre as células do mesofilo. O transporte de água nas células da folha ocorre menos pela via simplástica, uma vez que apresenta menor condutância hidráulica, e mais pelas paredes celulares e espaços intercelulares, ou seja, pela via apoplástica da folha.

### Terceira etapa

Em seu trajeto final até a atmosfera, a água se desloca da parede celular do mesofilo para os espaços intercelulares e chega à atmosfera via estômatos, sendo estas estruturas as responsáveis por acoplar a absorção de  $\text{CO}_2$ , perdendo água na forma de vapor. Estima-se que 95% da perda de água pelas folhas ocorra por difusão através dos poros do aparelho estomático, e os 5% restantes são perdidos através da cutícula, responsável por cobrir a superfície em exposição da planta, funcionando como uma barreira contra a perda de água excessiva.

Três fatores contribuem para que a perda de água seja mais expressiva:

- O gradiente de concentração que controla a perda de água para a atmosfera é cerca de 50 vezes maior que aquele que controla a absorção de  $\text{CO}_2$ .
- O  $\text{CO}_2$  apresenta difusão 1,6 vez menor do que a água.
- O  $\text{CO}_2$  percorre um caminho mais longo do que a água, logo, apresenta um maior número de barreiras para que ocorra a sua difusão.

As folhas devem manter a interação entre as células do parênquima clorofiliano e a atmosfera, que é a responsável pelo dióxido de carbono, tão importante no processo fotossintético e, por conseguinte, no processo nutricional do vegetal. Como resultado dessa marcha, tem-se a perda de água do vegetal para a atmosfera na forma de vapor, isto é, a transpiração.

Embora pareça simples, há outros fatores a se considerar na saída do vapor:

#### Difusão



Principal fator no transporte do vapor. A etapa final da transpiração vai ser controlada pelo gradiente de concentração de vapor de água.

#### Resistência estomática foliar



Mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos. A saída de vapor através da fenda estomática ocorre sob baixa resistência em boas condições hídricas do solo. Entretanto, quando o suprimento de água do solo é insuficiente, o controle sobre a saída de vapor é realizado pelo fechamento da fenda estomática, controlado pelas células-guarda. Logo, a resistência estomática é um mecanismo fisiológico dos estômatos que reduz a perda de água por transpiração.

#### Resistência da camada limítrofe



Associada à superfície da folha, ao vento e à umidade do ar. **Camada limítrofe** é a camada de ar junto à superfície da folha antes de o vapor alcançar a atmosfera. A espessura da camada limítrofe é regulada pela velocidade do vento e pela superfície foliar. **Quanto maior a velocidade do vento, menor a camada limítrofe.** Quando o ar está parado, a camada limítrofe é mais espessa e pode haver impedimento na transpiração. Por outro lado, sob ventilação forte, a camada limítrofe é bastante



reduzida, favorecendo a perda de vapor. Nessa condição, a resistência estomática controlará a perda de água na forma de vapor.

É importante observarmos que a transpiração através das folhas está relacionada com a fotossíntese foliar, afinal, os estômatos não ficam abertos para a saída de água, mas para a entrada de  $\text{CO}_2$  para o processo de fotossíntese. Sempre que a concentração interna de  $\text{CO}_2$  cai, os estômatos se abrem. Dessa forma, fica evidente que a concentração de  $\text{CO}_2$  no mesofilo é o sinal para o movimento de abertura e fechamento dos estômatos, controlado pelas células-guarda.

Além de concentração de  $\text{CO}_2$ , outros fatores como temperatura, intensidade e qualidade da luz, disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar são fatores que influenciam na abertura dos estômatos.

É possível resumir o que vimos há pouco em alguns pontos:

### Resumindo

O processo de fotossíntese se inicia com a captura de energia luminosa, os estômatos se abrem para a entrada de  $\text{CO}_2$ . Ao mesmo tempo, ocorre a saída de água na forma de vapor, “puxando” a coluna d’água que se estende do xilema até o solo.

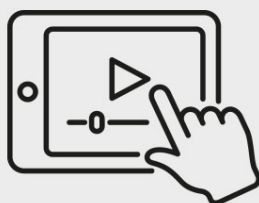
Logo, o fluxo contínuo de água a partir do solo até as folhas e delas para a atmosfera depende da energia luminosa do sol.



## O impacto do déficit hídrico nos vegetais

Neste vídeo, por meio de exemplos didáticos, o especialista Thiago Braga demonstra os sinais do déficit hídrico nos vegetais e a relação demanda versus suprimento.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



# Falta pouco para atingir seus objetivos.

## Vamos praticar alguns conceitos?

### Questão 1

Ao avaliarmos a raiz de uma planta, podemos elencar um grande número de atividades importantes realizadas por esse órgão, merecendo destaque a fixação do vegetal e a absorção de água e nutrientes. Considerando o movimento radial da água na raiz da planta, assinale a opção que apresenta a função das aquaporinas.

- A Possuem a função de abertura e fechamento das células-guarda.
- B Exercem um controle direto na pressão positiva da raiz.
- C Tornam as membranas mais permeáveis à água.
- D Controlam a difusão de  $\text{CO}_2$  na célula.
- E São responsáveis pela síntese de fitormônios.

Parabéns! A alternativa C está correta.

As aquaporinas tornam as membranas mais permeáveis, facilitando o transporte de água e solutos.

## Questão 2

Um pesquisador, ao realizar um experimento, colocou duas plantas em vasos contendo o mesmo tipo de solo, inclusive apresentando a mesma capacidade nutricional, adicionando diariamente 100mL de água em cada vaso durante as 24 horas do dia. Ele manteve o vaso de número 1 como controle (funcionamento regular dos estômatos) e, no vaso de número 2, ele aplicou no vegetal uma substância que mantinha os estômatos permanentemente fechados. Após alguns dias de análise, o vegetal do vaso de número 1 apresentava-se da mesma forma, enquanto o vegetal do vaso 2 apresentava sinais de debilidade.

Assinale a alternativa que explica os sinais de falência apresentados pelo vegetal presente no vaso 2.

- A A água absorvida pelas raízes se acumulou no vegetal, promovendo um quadro de afogamento celular.
- B Ocorreu o comprometimento da coifa da raiz devido à dupla função de absorção e liberação de água via transpiração.
- C Ocorreu um super processo fotossintético, levando o vegetal a uma condição de intoxicação.
- D Ocorreu um desequilíbrio entre as vias que promovem o transporte de água na raiz.
- E Ocorreu o comprometimento da fotossíntese, uma vez que a principal via de captação de  $\text{CO}_2$  foi fechada.

**Parabéns! A alternativa E está correta.**

Os estômatos são responsáveis por acoplar a absorção de  $\text{CO}_2$  com a saída da água na forma de vapor, possibilitando assim o processo de fotossíntese.

## Considerações finais

Como vimos, a demanda da planta por água vai depender primariamente da sua taxa de transpiração, a qual vai variar dependendo do tamanho da planta e das condições de luminosidade, temperatura e disponibilidade de água no solo e na atmosfera.

O suprimento de água, por sua vez, vai depender da capacidade de absorção das raízes e da condutividade hidráulica do solo. Assim, quando consideramos uma planta durante as diferentes estações do ano, em um mesmo solo, podemos concluir que o conteúdo de água adequado para suprir a demanda em um dia frio e nublado tende a ser inadequado em um dia quente e ensolarado.

Por fim, vimos que o processo de fotossíntese, devido à necessidade de captação de  $\text{CO}_2$  pelos estômatos, é o responsável pela transpiração nas folhas, impulsionando o movimento da água das raízes até as folhas e daí para a atmosfera.



## Podcast

Neste *podcast*, o especialista Thiago Braga irá falar sobre as principais características da água, sua dinâmica no solo e seu movimento no corpo da planta.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



## Referências

- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. 10. ed. reimp. São Paulo: Edgard Blücher, 1990.
- FERNANDES, M. **Mecânica dos solos**: conceitos e princípios fundamentais. Porto: FEUP Edições, 2012.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995.
- PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: UFRRJ, 1998.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

## Explore +

Para saber mais sobre os assuntos tratados neste conteúdo, leia:

O artigo “Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água” e veja como Rejane J. Mansur C. Nogueira e colaboradores (2001) abordam o déficit hídrico nas plantas.

O artigo “Relações solo-água-planta-atmosfera em culturas irrigadas e vegetação natural” e confira como Antônio Teixeira e Wim Bastiaanssen abordam a dinâmica da água no solo e sua movimentação na planta.