

UNIDADE III – RELAÇÕES HÍDRICAS NA PLANTA

• **INTRODUÇÃO**

PARTE I - A ÁGUA E A CÉLULA VEGETAL

1. ESTRUTURA E PROPRIEDADES DA ÁGUA
2. PROCESSOS DE TRANSPORTE DE ÁGUA
3. POTENCIAL HÍDRICO
4. POTENCIAL HÍDRICO NA CÉLULA
5. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO EM TECIDOS VEGETAIS
6. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL OSMÓTICO
7. DETERMINAÇÃO DO DÉFICIT DE SATURAÇÃO E DO TEOR RELATIVO DE ÁGUA
8. APLICAÇÕES (EXERCÍCIOS)

IMPORTÂNCIA E FUNÇÕES DA ÁGUA NAS PLANTAS

- **Executa papéis vitais na vida da planta;**
- **Representa 80-95% da massa dos tecidos em crescimento, sendo o principal constituinte do protoplasto;**
- **Influencia bastante as estruturas e propriedades moleculares de proteínas e ácidos nucleicos, de membranas e outros constituintes celulares;**

- **As reações metabólicas ocorrem em um ambiente aquoso;**
- **Sua alta capacidade de absorver calor contribui para que as plantas não sofram tanto com as flutuações de temperatura do ambiente;**
- **É o solvente em que os sais minerais penetram nas raízes e são transportados através da planta;**
- **É também o solvente em que os fotoassimilados e outros compostos orgânicos são transportados;**

- **É responsável pela turgescência das células e por via de consequência pela forma e estrutura dos tecidos que não possuem rigidez;**
- **O ganho e a perda de água das células e tecidos são responsáveis por vários movimentos que ocorrem na planta (abertura e fechamento de estômatos, flores e folíolos);**
- **O aumento de tamanho e de volume das células depende da absorção de água.**

A água na vida das plantas

De todos os recursos que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, frequentemente o mais limitante.

A prática da irrigação de culturas reflete o fato de que a água é um recurso chave que limita a produtividade agrícola.

A disponibilidade de água, da mesma forma, limita a produtividade de ecossistemas naturais.

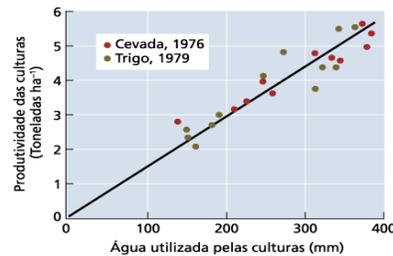


FIGURA 3.1 Produtividade de grãos, em função da água utilizada em uma gama de tratamentos de irrigação para cevada em 1976 e trigo em 1979 no sudeste da Inglaterra (segundo Jones, 1992; dados de Day et al., 1978 e Innes & Blackwell, 1981).

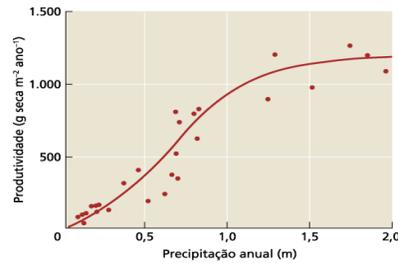
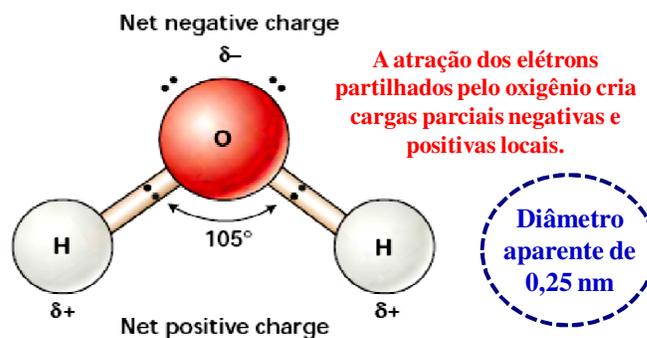


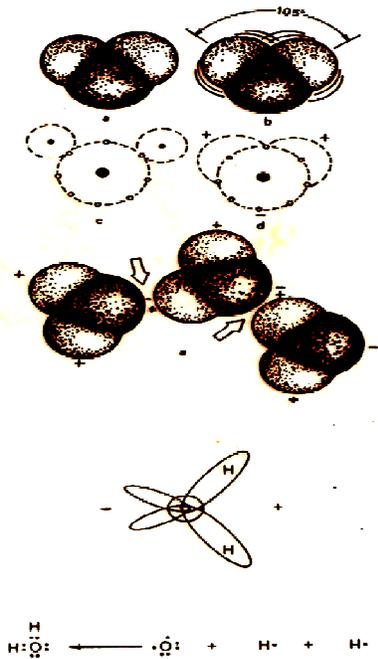
FIGURA 3.2 Produtividade de vários ecossistemas em função da precipitação anual. A produtividade foi estimada pelo acúmulo líquido de matéria orgânica acima do solo durante o crescimento e a reprodução (segundo Whittaker, 1970).

A estrutura e as propriedades da água

Diagrama da molécula de água



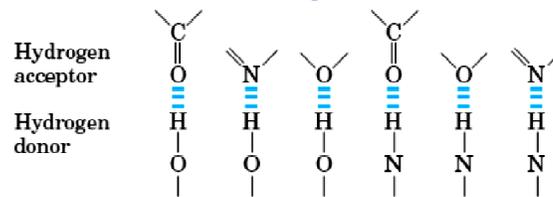
As duas ligações intramoleculares hidrogênio-oxigênio formam um ângulo de 105°. As cargas parciais opostas (δ^- e δ^+) na molécula de água levam à formação das ligações de hidrogênio com outras moléculas de água. O oxigênio tem seis elétrons nos orbitais externos; cada hidrogênio tem um.



Esta distribuição assimétrica de cargas torna a água uma molécula dipolar.

Gerando uma forte atração mútua entre moléculas de água adjacentes e entre moléculas de água e moléculas de solutos, além de algumas macromoléculas.

A polaridade das moléculas de água gera ligações de hidrogênio



Ligações de hidrogênio comuns em sistemas biológicos. O aceptor de hidrogênio é normalmente o oxigênio ou nitrogênio; o doador de hidrogênio é um átomo eletronegativo.

Forças de van der Waals: 4 kJ/mol;

Ligação de Hidrogênio: 20 kJ/mol;

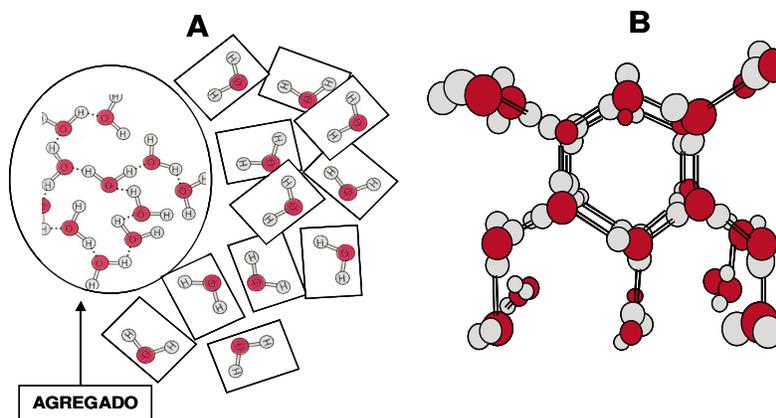
Ligações iônica e covalente: 160 a 400 kJ/mol

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA

- A propriedade mais simples e, talvez, a mais importante da água, é que ela é líquida na faixa de temperatura compatível com a vida.

Molécula	Massa Molecular (Da)	Calor Específico (J/g/°C)	Ponto de fusão (°C)	Calor de fusão (J/g)	Ponto de Ebulição (°C)	Calor de vaporização (J/g)
Água	18	4,2	0	335	100	2452
Amônia	17	5,0 (aquoso)	-77	452	-33	1234
CO ₂	44	-	-57 (5 atm)	180	-78	301
Metano	16	-	-182	58	-164	556
Etano	30	-	-183	96	-88	523
Metanol	32	2,6	-94	100	65	1226
Etanol	46	2,4	-117	109	78	878

- Com o congelamento a água aumenta de volume e diminui de densidade;



O gelo é menos denso do que a água líquida

- Tem alto ponto de ebulição ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) e alto calor de vaporização (2.452 J g^{-1}), devidos a forte atração existente entre as moléculas de água.

CONSEQUÊNCIA: resfriamento das folhas das plantas que ocorre com a transpiração;

- Tem alto calor específico ($4,2\text{ J g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$), devido a grande atração intermolecular.

CONSEQUÊNCIA: Ajuda a manter a temperatura das plantas mais ou menos estável;

- Tem alta tensão superficial (coesão) e alta capacidade de aderência (vidro, celulose, argila, proteínas, etc.), como resultado de sua habilidade para formar pontes de hidrogênio e de sua natureza dipolar.

CONSEQUÊNCIA: São importantes na manutenção da continuidade de colunas de água nas plantas. E explica a grande capacidade capilar da água;

obs: Para um vaso do xilema com raio de $25\text{ }\mu\text{m}$, a ascensão capilar é de cerca de $0,6\text{ m}$. Esta distância é muito pequena para ser significativa para o transporte de água em árvores altas.

A água tem uma grande resistência à tensão (força máxima por unidade de área que uma coluna de água pode suportar antes de quebrar).

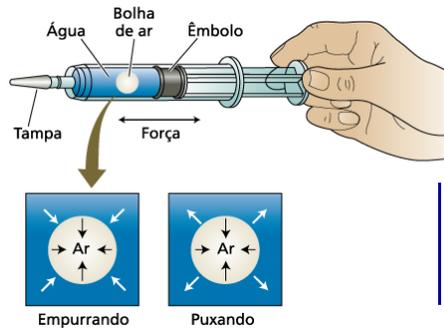
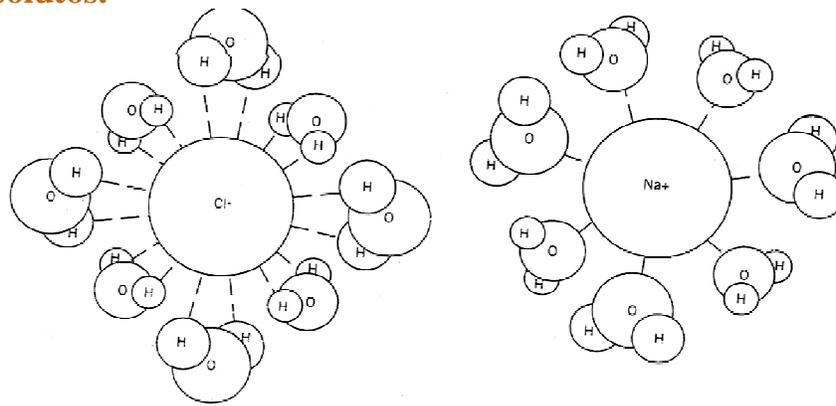


FIGURA 3.6 Uma seringa selada pode ser usada para criar pressões positivas e negativas em fluidos como a água. Empurrar o êmbolo ocasiona no fluido o desenvolvimento de uma pressão hidrostática positiva (setas brancas), que age na mesma direção que a força interfacial resultante da tensão superficial (setas pretas). Assim, uma pequena bolha de ar aprisionada dentro da seringa irá encolher à medida que a pressão aumenta. Puxar o êmbolo causa no fluido o desenvolvimento de uma tensão, ou pressão negativa. Bolhas de ar na seringa irão se expandir, se a força direcionada para fora exercida pelo fluido sobre a bolha (setas brancas) exceder a força para dentro resultante da tensão superficial da interface gás-líquido (setas pretas).

Estudos demonstram que a água em pequenos capilares (vasos do xilema) pode resistir a tensões mais negativas do que - 20 MPa.

A expansão de bolhas de gás devido à tensão é conhecida como cavitação. A cavitação pode ter um efeito devastador sobre o transporte de água ao longo do xilema.

• Solvente universal, devido a sua capacidade para formar pontes de hidrogênio com vários tipos de solutos.



Orientação das moléculas de água em torno dos íons sódio e cloreto com formação da camada de hidratação (Hopkins, 2000).

Processos de transporte de água

O ponto central dos estudos sobre a economia de água em plantas relaciona-se com os fatores que controlam o movimento de água no **sistema solo-planta-atmosfera** (SSPA).

O movimento de água no estado líquido pode ser impulsionado por diferença de pressão (fluxo de massa), diferença de concentração (difusão) ou ambos (osmose).

Portanto o entendimento desta dinâmica da água é um dos principais objetivos da fisiologia vegetal.

➤ FLUXO DE MASSA:

O fluxo em massa (vazão) é explicado pela equação de Poiseuille:

$$\text{Vazão (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)} = (\pi r^4 / 8\eta)(\Delta P / \Delta x)$$

Em que: **r** é o raio da tubulação; **η (eta)** é a viscosidade do líquido; **ΔP** é a diferença de pressão e **Δx** é a diferença em altura ou distância.

$$\text{Velocidade (m s}^{-1}\text{)} = (r^2 / 8\eta)(\Delta P / \Delta x)$$

obs: πr^2 é a área transversal do tubo.

➤ DIFUSÃO:

A difusão é explicada pela Lei de Fick:

$$J_s = - A D_s (\Delta C_s / \Delta x)$$

Em que:

J_s - o fluxo difusivo ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

A - a área da seção transversal;

D_s - o coeficiente de difusão da água;

ΔC_s - a diferença de concentração; e

Δx - a distância a ser percorrida pelo soluto.

TEMPO MÉDIO PARA A DIFUSÃO DE ÁGUA

$$T_{\text{médio}} = K (\text{distância})^2 / D$$

K é a constante que depende da geometria do sistema ($K=1$);

D é o coeficiente de difusão de água.

1. EM MEIO LÍQUIDO:

O coeficiente de difusão de água em meio líquido é $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

- Diâmetro da célula: $50 \mu\text{m}$ ($50 \times 10^{-6} \text{ m}$)

$$T_{\text{médio}} = (50 \times 10^{-6} \text{ m})^2 / 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} = \underline{2,5 \text{ segundos.}}$$

- Distância de 1 m

$$T_{\text{médio}} = (1 \text{ m})^2 / 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} = 10^9 \text{ s} = \underline{32 \text{ anos.}}$$

TEMPO MÉDIO PARA A DIFUSÃO DE ÁGUA

$$T_{\text{médio}} = K (\text{distância})^2 / D$$

K é a constante que depende da geometria do sistema (**K= 1**);
D é o coeficiente de difusão de água

2. EM MEIO GASOSO:

O coeficiente de difusão de água em meio gasoso é $2,4 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

- Epiderme foliar: 1 mm (10^{-3} m)

$$T_{\text{médio}} = (10^{-3} \text{ m})^2 / 2,4 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} = \underline{\underline{0,042 \text{ segundos.}}}$$

➤ OSMOSE

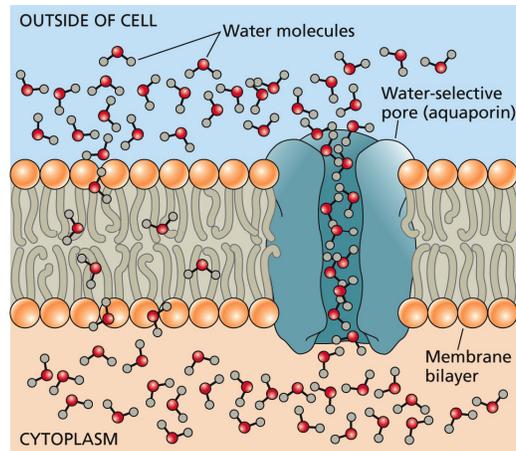
Refere-se ao movimento de água (solvente) através de uma membrana.

Neste processo, a direção e a taxa do fluxo de água através da membrana são determinadas pela diferença de energia livre associada à água.

Portanto:

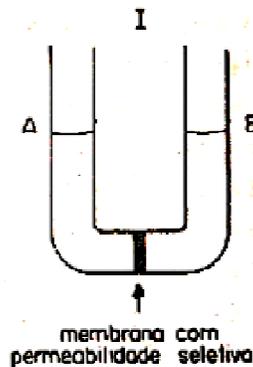
$$\text{Osmose} = f (\Delta P + \Delta C)$$

Movimento de água através da membrana



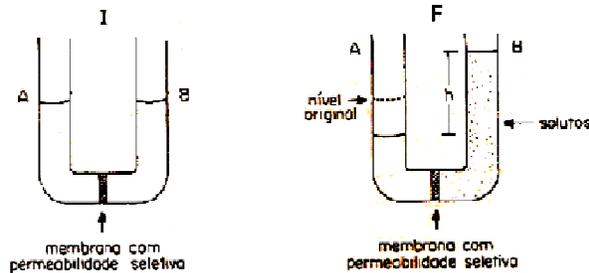
A água pode atravessar membranas vegetais por difusão de suas moléculas individuais através da bicamada lipídica da membrana, conforme mostrado à esquerda, e pela difusão linear de moléculas de água através de poros seletivos para a água, formados por proteínas integrais de membranas como as aquaporinas.

Movimento de água como resultado do processo de osmose



Movimento de água como resultado do processo de osmose. O osmômetro no estado inicial (I) contém água pura nos sistemas A e B que estão separados por uma membrana com permeabilidade seletiva.

Movimento de água como resultado do processo de osmose



Pressão hidrostática
 $P = \rho_w g h$
 (onde $\rho_w g$ tem um valor de $0,01 \text{ MPa m}^{-1}$)

Em F, a adição de solutos no sistema B reduz o potencial químico da água por ação do componente osmótico, causando a entrada de água na solução do sistema B, criando uma diferença de nível (h) entre os sistemas A e B.

Potencial hídrico (Ψ_w)

A água no sistema solo-planta-atmosfera (SSPA) busca constantemente o equilíbrio termodinâmico obedecendo à tendência universal de se mover de locais onde apresenta maior energia para aqueles onde o nível energético é mais baixo (Ferreira, 1988).

A energia associada ao SSPA é de natureza cinética (contribuição insignificante no meio líquido) e potencial.

A água no SSPA possui energia potencial desde que se desloca em resposta a certas forças inerentes ao organismo vegetal.

Esse estado de energia é descrito pela função **energia livre de Gibbs** da 2ª lei da termodinâmica ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$).

Em termos termodinâmicos, a **energia livre** representa o potencial para realizar trabalho.

Observa-se que um grande volume de água possui mais **energia livre** do que um pequeno volume de água, sob condições idênticas.

Portanto, quando se quer entender o transporte de água através de **compartimentos de diferentes volumes (solo, células de plantas, atmosfera)**, torna-se mais conveniente medir-se a **energia livre da água em relação a sua fração molal** (volume molal parcial: $18 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$).

A quantidade de energia livre por mol é conhecida como energia livre molal parcial de Gibbs (G_w) e pode também ser referida como potencial químico da água (μ_w).

O valor absoluto do potencial químico ou da energia livre associada com a água está entre aquelas quantidades que não são convenientemente mensuráveis.

Torna-se mais interessante a determinação da diferença de energia livre molal parcial de Gibbs (ΔG_w) ou diferença de potencial químico da água ($\Delta \mu_w$), pois ela indicará a direção do transporte de água.

Para a obtenção dessa diferença usa-se como referencial o potencial químico da água pura (μ_w^0) na condição normal de pressão atmosférica. Assim, tem-se a equação:

$$\Delta G_w = \Delta \mu_w = \mu_w - \mu_w^0$$

CONCEITO DE POTENCIAL HÍDRICO

O *potencial químico da água* é influenciado por vários fatores, dois deles, ilustrados no exemplo do osmômetro, são a concentração de solutos e a pressão. O *potencial químico da água em uma solução* pode ser expresso:

$$\mu_w = \mu_w^0 + RT \ln c_s + \bar{V}_w P \quad (\text{equação 1})$$

A pressão osmótica pode ser relacionada com a fração molal (18 mL mol^{-1}) e a atividade da água da seguinte maneira:

$$\pi = -RT \ln a_w / \bar{V}_w \quad \therefore \bar{V}_w \pi = -RT \ln a_w, \quad \text{e} \quad a_w = \gamma c_s$$

onde γ é o coeficiente de proporcionalidade que é igual a 1 para os gases perfeitos e para soluções diluídas.

Faz-se $a_w = c_s$, então: $RT \ln c_s = -\bar{V}_w \pi$

Substituindo este termo na equação 1, teremos:

$$\mu_w = \mu_w^0 - \bar{V}_w \pi + \bar{V}_w P \quad (\text{equação 2})$$

Reescrevendo esta equação, teremos:

$$(\mu_w - \mu_w^0) / \bar{V}_w = P - \pi$$

Em 1960, **Slaytor & Taylor** introduziram o conceito de potencial hídrico (Ψ_w) o qual é proporcional a $(\mu_w - \mu_w^0) / \bar{V}_w$ e pode ser definido por:

$$\Psi_w = (\mu_w - \mu_w^0) / \bar{V}_w = \Delta\mu_w / \bar{V}_w = P - \pi$$

Ou simplesmente:

$$\Psi_w = P - \pi \quad \text{ou} \quad \Psi_w = \Psi_p + \Psi\pi \text{ (s)}$$

UNIDADES DE POTENCIAL HÍDRICO

$$\Psi_w = \Delta\mu_w / \bar{V}_w = (\mu_w - \mu_w^0) / \bar{V}_w, \text{ onde:}$$

$$\Delta\mu_w / \bar{V}_w = \text{erg mol}^{-1} / \text{cm}^3 \text{ mol}^{-1} = \text{erg cm}^{-3} =$$

$$\text{dina cm} / \text{cm}^3 = \text{dina cm}^{-2}$$

$$10^6 \text{ dina cm}^{-2} = 0,987 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ atm} = \text{atmosfera} = 760 \text{ mm de Hg}$$

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ bária}$$

$$\text{MPa} = \text{megapascal} = 10^6 \text{ pascal}$$

Comparação de unidades de pressão

1 Atmosfera = 14,7 libras por polegada quadrada
 = 760 mm Hg (no nível do mar, 45° de latitude)
 = 1,013 bar
 = 0,1013 MPa
 = 1,013 x 10⁵ Pa

Um pneu de carro é inflado a cerca de 0,2 MPa;

A pressão da água em encanamentos domésticos é de 0,2 a 0,3 MPa.

A pressão da água a 5 m de profundidade é de 0,05 MPa.

ADIÇÃO DE SOLUTOS (Ψ_s ou Ψ_π)



DIMINUI Ψ_w

APLICAÇÃO DE PRESSÃO POSITIVA (Ψ_p)



AUMENTA Ψ_w

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_\pi = P - \pi$$

Em geral, o potencial hídrico pode ser influenciado por três principais fatores: a pressão, a concentração de solutos (osmolalidade: mol L⁻¹) e a gravidade, que são representados por:

$$\Psi_w = \Psi_p (\Psi_T) + \Psi_s (\Psi\pi) + \Psi_g (\rho_w g h)$$

SOLUTOS

O potencial de solutos ou osmótico representa o efeito de solutos dissolvidos sobre o potencial hídrico. Os solutos reduzem a energia livre da água por diluição desta.

O potencial de solutos pode ser estimado aproximadamente por:

$$\Psi_s = - RTc_s$$

R: constante dos gases (8,32 J mol⁻¹ K⁻¹);

T: temperatura absoluta (em graus Kelvin ou K);

c_s: concentração de solutos da solução (osmolalidade, mol L⁻¹).

Obs: o sinal negativo indica que os solutos dissolvidos reduzem o potencial hídrico da solução em relação ao estado de referência da água pura.

PRESSÃO

O termo Ψ_p é a pressão hidrostática da solução, às vezes denominada de potencial de pressão.

A pressão hidrostática positiva dentro da célula é aquela que se refere à pressão de turgor (turgescência).

O valor de Ψ_p também pode ser negativo, tal como ocorre no xilema e nas paredes entre as células, onde uma tensão ou pressão hidrostática negativa pode se desenvolver.

Pressões negativas são muito importantes para o movimento de água de longa distância na planta.

GRAVIDADE

A gravidade faz a água mover-se para baixo, a não ser que uma força igual e oposta se oponha à força da gravidade.

O termo Ψ_g depende da altura (h) da água acima do estado de referência dela, da densidade da água (ρ_w) e da aceleração da gravidade (g). Escreve-se como:

$$\Psi_g = \rho_w g h$$

em que $\rho_w g$ tem um valor de $0,01 \text{ MPa m}^{-1}$.

A componente gravitacional é geralmente omitida em considerações do transporte de água ao nível celular, porque diferenças neste componente entre células vizinhas são desprezíveis, se comparadas às diferenças no potencial osmótico e à pressão hidrostática.

OBS: Nas discussões sobre água em solos secos e tecidos vegetais com conteúdos hídricos muito baixos, como sementes e paredes celulares, encontra-se frequentemente referência ao potencial mátrico, Ψ_m .

Sob essas condições, a água ocorre como uma camada muito delgada, talvez uma ou duas moléculas de profundidade, ligada a superfícies sólidas por interações eletrostáticas.

Essas interações não são facilmente separadas em seus efeitos sobre o Ψ_s e Ψ_p , sendo às vezes, combinadas em um único termo, o Ψ_m .

O Ψ_w varia com as condições de crescimento e sua localização dentro da planta

- Em folhas de plantas bem hidratadas, Ψ_w varia de -0,2 a cerca de -1,0 MPa em plantas herbáceas e a -2,5 MPa em árvores e arbustos.
- Folhas de plantas em climas áridos podem ter Ψ_w muito menores, caindo abaixo de -10 MPa sob condições mais extremas.

Os componentes do Ψ_w variam com as condições de crescimento e localização dentro da planta

CÉLULAS	Potencial de solutos (Ψ_s)	Potencial de pressão (Ψ_p)
Dentro da célula	MPa	MPa
Células típicas bem irrigadas	-0,5 (-0,8 a -1,2 são mais típicos)	0,1 a 3,0 (dependendo do valor de Ψ_s)
Células de halófitas e de plantas que acumulam solutos orgânicos	Valores bem mais baixos (-2,5)	0,1 a 3,0 (dependendo do valor de Ψ_s)
Paredes celulares e no xilema	-0,1 a 0	-3,0 (tensão)

CÉLULAS	Potencial de solutos (Ψ_s)	Potencial de pressão (Ψ_p)
Fora da célula	-0,1 a 0	-3,0 (tensão)

Em relação ao potencial hídrico de folhas maduras, pode-se resumir:

•Dentro da célula: $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s$

**• Fora da célula: $\Psi_w = \Psi_p$ ($-P = -2T r^{-1}$) ☆
aproximadamente, já que se despreza o Ψ_s .**

Tensão superficial (T) = $7,28 \times 10^{-8}$ MPa . m

Importância de um potencial de pressão positivo para a célula vegetal

1. Para o crescimento celular: $TC = m (\Psi_p - Y)$;
2. Manter a forma da célula;
3. Movimento de solutos no floema;
4. Movimento de folhas, flores e estômatos;
5. Manter a rigidez das células e a forma dos tecidos não lignificados.

Uma pequena variação de volume da célula vegetal causa uma acentuada variação no seu Ψ_p , que depende do grau de rigidez da parede celular que é dado pelo módulo de elasticidade celular (ϵ).

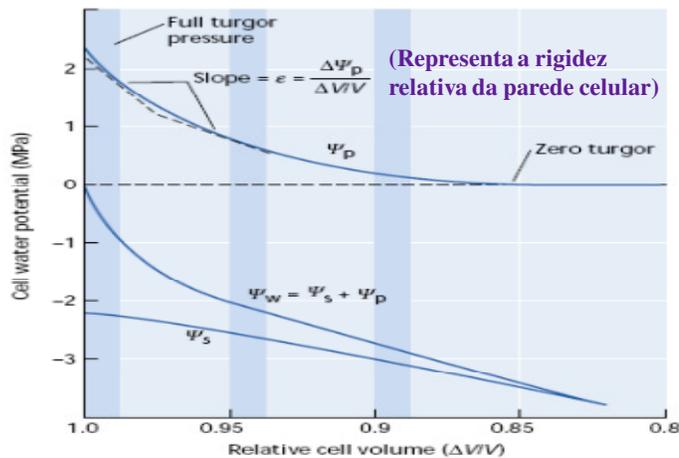


Diagrama de Höfler (1920) mostrando as relações entre Ψ_w , Ψ_s e Ψ_p com a mudança de volume celular.

$$\Psi_{s_i} \cdot V_i = \Psi_{s_f} \cdot V_f$$

A velocidade de transporte de água depende da força condutora ($\Delta\Psi_w$) e da condutividade hidráulica (L_p).

$$\text{Fluxo (Iw)} = L_p (\Delta\Psi_w) = m \cdot s^{-1}$$

L_p – Expressa a facilidade com que a água se move em um sistema.

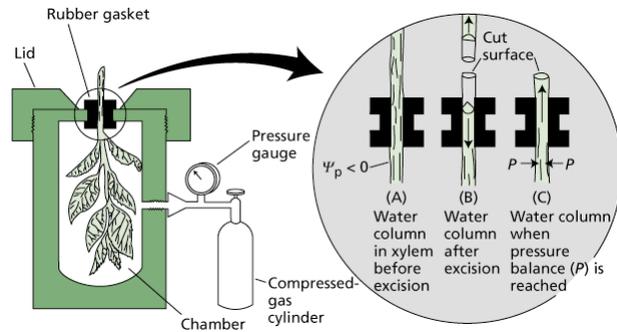
Potenciais hídricos podem ser medidos

Crescimento celular, fotossíntese e produtividade de cultivos vegetais são fortemente influenciados pelo potencial hídrico e seus componentes.

Assim, os botânicos têm gastado considerável esforço no desenvolvimento de métodos acurados e confiáveis para a avaliação do *status* hídrico das plantas.

Determinação do Ψ_w em tecidos vegetais

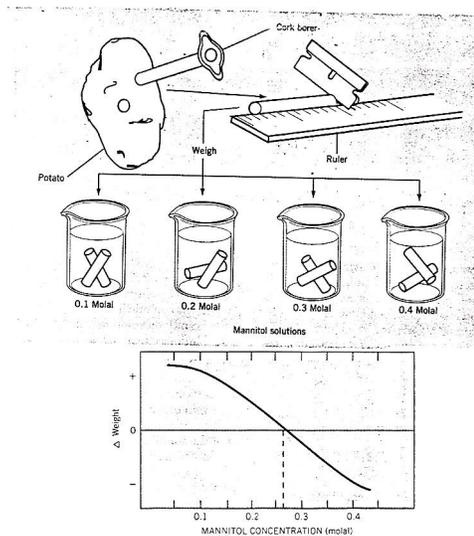
• Método da câmara de pressão (Bomba de Scholander)



O diagrama à esquerda mostra a parte aérea selada no interior da câmara, que é pressurizada com gás comprimido. Os diagramas à direita mostram o estado das colunas de água no xilema em três tempos: (A) O xilema antes do corte e sob uma pressão negativa, ou tensão. (B) A parte aérea é cortada, fazendo com que a água seja puxada para dentro do tecido, para longe da superfície de corte, em resposta à tensão no xilema. (C) A câmara é pressurizada, levando a seiva para a superfície de corte. ☆

Determinação do Ψ_w em tecidos vegetais

• Método baseado na mudança de massa do tecido



**Método de determinação do Ψ_s da solução celular
pela equação de van't Hoff:**

$$\Psi_s = - m R T , \text{ onde:}$$

- m** = osmolalidade da solução
(moles/Kg de água);
- R** = constante dos gases ideais
(0,00831 Kg MPa mol⁻¹ °K⁻¹);
- T** – temperatura absoluta (°C + 273).

**Determinação do Ψ_s da solução celular pelo
método plasmolítico**

**Baseia-se no fato de que após tecidos ou células
terem alcançado o equilíbrio osmótico em soluções
teste (Ψ_s conhecido):**

$$\Psi_{s_{\text{sol}}} = \Psi_{w_{\text{sol}}} = \Psi_{s_{\text{cel}}}$$

$$\text{logo: } \Psi_{w_{\text{cel}}} = \Psi_{s_{\text{cel}}} \rightarrow \Psi_{p_{\text{cel}}} = 0$$

Determinação do Ψ_s da solução celular pelo método crioscópico (determinação do ponto de congelamento)

Baseia-se nas **Lei de Bladgen** (depressão do PC é proporcional à concentração do soluto) e **Lei de Raoult** (solução 1,0 osmol de um soluto não iônico congela a $-1,86^\circ\text{C}$):

$$-2,27 \text{ MPa} / 1,86^\circ\text{C} = \Psi_s / \Delta p_c \quad \therefore \Psi_s = - 1,22 \times \Delta p_c$$

obs 1: **O microscópio de Drucker-Burian com termômetro para crioscopia é utilizado para a obtenção do ponto de congelamento das amostras.**

obs 2: **Atualmente, utiliza-se aparelhos mais modernos e menos trabalhosos (Osmômetro) para a determinação da osmolalidade do suco celular.**

DETERMINAÇÃO DO TEOR RELATIVO DE ÁGUA E DO DÉFICIT DE SATURAÇÃO HÍDRICA

• **TEOR RELATIVO DE ÁGUA (%)** – expressa o teor de água em relação à saturação.

$$\Phi = (MF - MS / MM - MS) \times 100$$

• **DÉFICIT DE SATURAÇÃO HÍDRICA (%)** – representa a quantidade de água que a planta precisa para alcançar a saturação.

$$\Delta w_{\text{sat}} = (MM - MF / MM - MS) \times 100$$

Onde:

MM = Massa de saturação máxima;

MF = Massa fresca;

MS = Massa seca.

Exercícios envolvendo potencial hídrico em células e soluções

A) Uma célula em estado de plasmólise incipiente ($\Psi_p = 0$ MPa), com $\Psi_s = -0,9$ MPa e o volume igual a 1,0 é colocada em água pura, alcançando posteriormente o equilíbrio, e ficando com o volume final igual a 1,5. Calcule então:

- **O Ψ_w inicial:**

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p \Rightarrow \Psi_w = -0,9 + 0 \Rightarrow \Psi_w = -0,9 \text{ MPa}$$

- **O Ψ_s final:**

$$(\Psi_s)_i \times V_i = (\Psi_s)_f \times V_f \Rightarrow -0,9 \times 1,0 = (\Psi_s)_f \times 1,5 \Rightarrow$$

$$(\Psi_s)_f = -0,6 \text{ MPa}$$

- **O Ψ_p da célula no equilíbrio:**

No equilíbrio, o $\Psi_w = \Psi_w$, então:

Como a célula está em equilíbrio dinâmico com a água pura, o Ψ_w da célula deverá ser igual a zero. Assim,

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p \Rightarrow 0 = -0,6 + \Psi_p \Rightarrow \Psi_p = 0,6 \text{ MPa}$$

B) Duas células, A e B, estão em contato, e têm os seguintes potenciais:

$$\text{Célula A: } \Psi_s = -0,5 \text{ MPa e } \Psi_p = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Célula B: } \Psi_s = -0,9 \text{ MPa e } \Psi_p = 0,4 \text{ MPa}$$

Qual será a direção do transporte de água?

Resposta: O que determina a direção do transporte é o gradiente de potencial hídrico.

$$\text{Cél. A: } \Psi_w = \Psi_s + \Psi_p \Rightarrow \Psi_w = -0,5 + 0,2 \Rightarrow \Psi_w = -0,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Cél. B: } \Psi_w = \Psi_s + \Psi_p \Rightarrow \Psi_w = -0,9 + 0,4 \Rightarrow \Psi_w = -0,5 \text{ MPa}$$

Como: $(\Psi_w)_A > (\Psi_w)_B$ a direção do transporte de água é de A para B.

C) Resolva:

Uma célula com $\Psi_s = -1,6 \text{ MPa}$ e $\Psi_p = 0,4 \text{ MPa}$ foi imersa em uma solução de volume infinito, cujo $\Psi_s = -0,2 \text{ MPa}$. No momento do equilíbrio a célula havia aumentado de $1/5$. Qual era o Ψ_p da célula no momento do equilíbrio?

Célula:

$$\Psi_{s_i} = -1,6 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{p_i} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

$$\Psi_{w_i} = -1,6 + 0,4 \therefore$$

$$\Psi_{w_i} = -1,2 \text{ MPa}$$

Solução:

$$V_i = \text{Volume infinito}$$

$$\Psi_{s_i} = -0,2 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{p_i} = 0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_{w_i} = -0,2 \text{ MPa}$$

obs: nesta situação a célula absorve água da solução.

No equilíbrio:

$\Psi_{w_c} = \Psi_{w_s} = -0,2$ MPa, pois a solução tem volume infinito e é um sistema aberto ($\Psi_p = 0$ MPa).

O volume final da célula aumentou de 1/5 do V_i , logo:

$$V_f = V_i + 1/5V_i = 6/5V_i$$

$$\Psi_{s_i} \cdot V_i = \Psi_{s_f} \cdot V_f \therefore \Psi_{s_i} \cdot V_i = \Psi_{s_f} \cdot 6/5V_i$$

$$\Psi_{s_f} = -1,6 \times 5/6 = -1,3 \text{ MPa}$$

e o Ψ_p da célula no equilíbrio, é:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s \therefore \Psi_p = \Psi_w - \Psi_s \therefore$$

$$\Psi_p = -0,2 \text{ MPa} - (-1,3 \text{ MPa}) = 1,1 \text{ MPa.}$$