



# Ciências Biológicas

## Cadernos CB Virtual 5

❖Rafael Angel Torquemada Guerra (Org.)

❖Ana Carolina Luchiari ❖Claudio Bezerra Santos

❖Lucilene Gomes da Silva Medeiros ❖Luiz Carlos Serramo Lopez

❖Paulo César Geglio ❖Sávio Torres de Farias

❖Zelma Glebya Maciel Quirino



**Universidade Federal da Paraíba  
Universidade Aberta do Brasil  
UFPB VIRTUAL**

**COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS À DISTÂNCIA**

Caixa Postal 5046– Campus Universitário - 58.051-900 – João Pessoa

Fone: 3216-7781 e 8832-6059

Home-page: [portal.virtual.ufpb.br/biologia](http://portal.virtual.ufpb.br/biologia)

**UFPB**

**Reitor**

Rômulo Soares Polari

**Pró-Reitor de Graduação**

Valdir Barbosa Bezerra

**UFPB Virtual**

**Coordenador**

Lucídio dos Anjos Formiga Cabral

**Centro de Ciências Exatas e da Natureza**

**Diretor**

Antônio José Creão Duarte

**Departamento de Sistemática e Ecologia**

**Chefe**

Juraci Alves de Melo

**Curso de Licenciatura em Ciências  
Biológicas à Distância**

**Coordenador**

Rafael Angel Torquemada Guerra

**Coordenação de Tutoria**

Lucilene Gomes da Silva Medeiros

**Coordenação Pedagógica**

Isolda Ayres Viana Ramos

**Coordenação de Estágio**

Paulo César Geglio

**Apoio de Designer Instrucional**

Luizângela da Fonseca Silva

**Artes, Design e Diagramação**

Romulo Jorge Barbosa da Silva

**Apoio Áudio Visual**

Edgard Adelino Ruiz Sibrão

**Ilustrações**

Christiane Rose de Castro Gusmão

C 569 Cadernos Cb Virtual 5 / Rafael Angel  
Torquemada Guerra ... [Org.] -  
João Pessoa: Ed. Universitária, 2010.  
422p. : Il.  
ISBN: 978-85-7745-536-2  
Educação a Distância. 2. Biologia  
I. Guerra, Rafael Angel  
Torquemada Guerra.  
UFPB/BC CDU: 37.018.43

**Este material foi produzido pelo curso de Licenciatura em Ciências Biológicas à Distância da Universidade Federal da Paraíba. A reprodução do seu conteúdo esta condicionada a autorização expressa da UFPB.**

# **Fisiologia Vegetal**



**Zelma Glebya Maciel Quirino**

## Fisiologia Vegetal

### Prof<sup>a</sup> Zelma Glebya Maciel Quirino

#### UNIDADE 1

### RELAÇÕES HÍDRICAS E UTILIZAÇÃO DOS ELEMENTOS MINERAIS NOS VEGETAIS

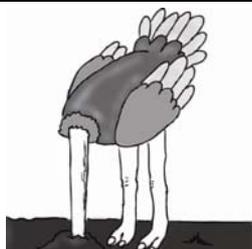
#### 1. ÁGUA NOS VEGETAIS

A vida organizou-se em ambiente aquático, e a água continua sendo o meio no qual se desenvolvem a maioria das atividades bioquímicas das células, essenciais para a vida. A água funciona como constituinte do protoplasma, como solvente e participa de várias reações, além de desempenhar um papel importante na manutenção do turgor, mantendo o equilíbrio intracelular.

Nos vegetais o conteúdo de água pode variar de 85 a 95% em células vivas (lembrando que os vegetais são formados por células mortas também), porém em sementes esse valor pode chegar a somente 5% do peso total, por questões metabólicas as quais serão discutidas na unidade 4.

A água circula nos vegetais, de forma contínua através do corpo da planta, desde os pêlos radiculares à epiderme das folhas. As plantas absorvem e eliminam continuamente água, sendo o processo de liberação na forma de vapor conhecido como transpiração. Esses processos (absorção e transpiração) são de grande interesse para a fisiologia pelo fator econômico, pois existe uma relação entre a quantidade de água transpirada e o crescimento vegetal, ou seja, com a produção vegetal como um todo.

#### :: FIQUE POR DENTRO!! ::



As células vegetais acumulam substâncias em seus vacúolos, então acabam absorvendo água por osmose, fazendo com que ocorra um aumento da pressão sobre a parede celular, chamada de pressão de turgor. Toda essa pressão ajuda a manter a célula rígida ou túrgida.

A continuidade da água no corpo do vegetal forma um complexo sistema conhecido como solo-água-planta. A descrição deste sistema será abordada a seguir, porém previamente serão descritos alguns conceitos necessários ao seu entendimento.

#### 1.1 PROPRIEDADES DA ÁGUA

A água possui propriedades que a permitem atuar como solvente e ser prontamente transportada ao longo do corpo da planta. Essas propriedades são resultantes principalmente da estrutura polar da molécula. Exemplos de três propriedades são: tensão-coesão, solvente, elevado calor específico.

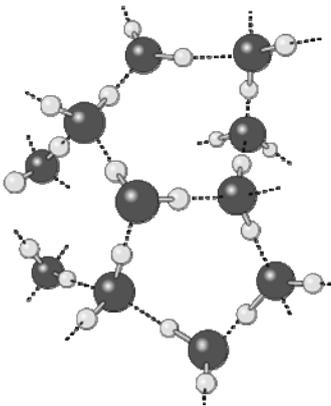
**Tensão e coesão** - A molécula de água possui uma atração intermolecular resultando na formação de pontes de hidrogênio, propriedade conhecida como coesão (Figura 1). Como consequência desta força coesiva, a água acaba apresentando uma tensão superficial. A tensão da água é extremamente elevada quando comparada a outros líquidos, a exceção do mercúrio.

Esta tensão faz com que o líquido possa suportar uma coluna ininterrupta sem quebrar. Como por exemplo, ao longo de um cano de plástico.

**Solvente** – A água, devido ao tamanho diminuto de sua molécula e a sua polaridade, tem a capacidade de neutralizar cargas de moléculas, o que facilita sua atuação como meio para interações entre substâncias.

**Elevado calor específico** – Devido ao arranjo de suas moléculas a água requer uma grande quantidade de energia para aumentar a sua temperatura, o que faz com que as plantas possam não suportar as variações de temperaturas no ambiente.

A água também possui outras propriedades, mas não serão abordadas, como a densidade, transparência, etc.

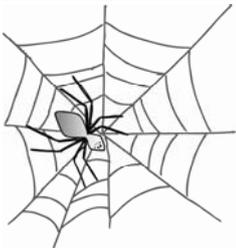


**Figura 1. Estrutura da molécula de água. Ligações de hidrogênio entre as moléculas de água (cinza-hidrogênio; preto-oxigênio). Linha pontilhada pontes de hidrogênio.**

Fonte:

[http://pt.wikibooks.org/wiki/Bioqu%C3%ADmica/A\\_%C3%A1gua,\\_solvente\\_da\\_Vida](http://pt.wikibooks.org/wiki/Bioqu%C3%ADmica/A_%C3%A1gua,_solvente_da_Vida)

### :: TA NA WEB!!! ::



Vídeo com estrutura da molécula de água.

<http://www.youtube.com/watch?v=5m10DszH8a4>

Texto sobre propriedades da água

[http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/ag\\_propriedades.html](http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/ag_propriedades.html)

### :: SAIBA MAIS... ::



SAIBA MAIS

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/11054/solvente.swf>

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEMBRANDO

Cadernos CB – Virtual 2

Física para Ciências Biológicas - Unidade II

Flúidos - Tensão superficial

## 1.2 POTENCIAL HÍDRICO

A água, assim como demais substâncias, busca se locomover de locais com maior nível de energia para o de menor nível, obedecendo à tendência ao equilíbrio termodinâmico. A energia aqui referida é a capacidade de realizar trabalho, ou seja, o potencial químico da substância. No caso da água é chamado potencial hídrico, representado pela letra grega psi + w (do inglês – water) ( $\psi_w$ ) pode ser definido como a energia necessária para realizar trabalho em uma molécula de 1 mol de água pura. Como o  $\psi_w$  da água pura é zero, por padronização, e este valor é extremamente elevado quando comparado ao de dentro da célula, os demais potenciais hídricos serão sempre inferiores, ou seja, possuirão valores negativos.

Na planta a água encontra-se associada a outras substâncias e sofre influência de vários fatores, como: a gravidade e pressão. Tais fatores interferem na energia disponível ou potencial hídrico.

O valor do potencial hídrico pode ser calculado como o somatório de quatro outros potenciais

**Potencial osmótico  $\psi_s$**  – representa o efeito de dissolução de solutos, devido à propriedade da água de se ligar a moléculas de soluto, o que impede a energia destas moléculas de realizar trabalho. Lembre-se que a água age como solvente se ligando a outras substâncias.

**Potencial de pressão ou turgescência  $\psi_p$**  – as modificações da pressão sofridas pela molécula no sistema exercendo uma força sobre uma unidade de área. Em plantas herbáceas tem grande importância na manutenção do hábito ereto.

**Potencial gravitacional  $\psi_g$**  – é ação do campo gravitacional sobre a energia livre da água. É insignificante dentro de raízes ou folhas, mas tem importância em árvores altas.

**Potencial mátrico  $\psi_m$**  – devido à capacidade de substâncias sólidas ou insolúveis adsorverem moléculas de água, diminuindo assim a energia livre da água. Assim os sólidos ou substâncias insolúveis atraem as moléculas de água, e diminuem seu potencial hídrico. Normalmente é insignificante, a exceção das sementes em germinação.

Potencial Hídrico é resultado do somatório:

$$\psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_g + \psi_m$$

As diferenças entre os potenciais hídricos entre dois sistemas é o que indica o sentido de translocação da água, sempre do maior para o de menor potencial. Seguindo este contexto com relação ao meio exterior e interior do vegetal, no qual água é transportada no sentido do maior para o de menor potencial, é formado o modelo que conhecemos como solo-planta-atmosfera (Figura 2).

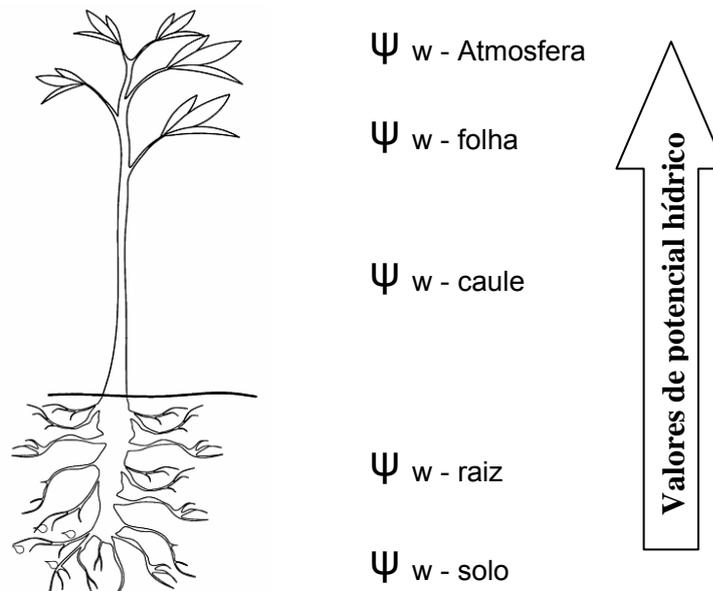


Figura 2. Representação da absorção de água ligada a transpiração. Seguindo valores crescentes de potenciais.

**:: ARREGAÇANDO AS MANGAS!! ::**



**NA PRÁTICA**

[http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17172/propriedades\\_daagua.pdf](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/17172/propriedades_daagua.pdf)

**:: HORA DE TRABALHAR!!! ::**



**ATIVIDADES**

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/10818/ciclodaagua.swf>

**1.2.1. ÁGUA NO SOLO**

Você certamente se lembra de quando estava no ensino fundamental apreendendo sobre as funções das partes da planta: sua professora disse que a raiz era responsável também pela retirada da água no solo. Lembra-se? Agora vamos detalhar um pouco como isto acontece.

A água utilizada pelo vegetal é proveniente do solo e penetra na planta através das raízes e para a manutenção da vida esta absorção deve ser de maneira constante.

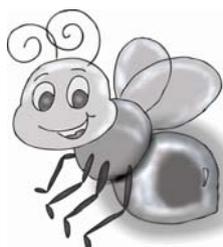
No solo, a água da chuva penetra até o lençol freático. Uma parte da água infiltrada é retida e estocada nos poros do solo. A quantidade de água retida está relacionada com a composição do solo (tipo e tamanho dos poros). A capacidade de armazenamento de água no solo após infiltração, ou seja, o conteúdo hídrico de um solo saturado é chamado de capacidade de campo (gramas de água retida por 100g de solo).

**:: FIQUE LIGADO!! ::**

A água proveniente da chuva também pode penetrar no vegetal através das células da epiderme foliar, porém esta quantidade é insignificante.

Existem diferentes tipos de solos, porém os que apresentam maior teor de matéria orgânica e de colóides possuem maior capacidade de campo. Em contrapartida existem solos em ponto de murcha permanente, ou seja, nos quais o teor de água retido é baixíssimo.

A planta só consegue retirar água do solo se seu potencial hídrico for abaixo do potencial do solo em contato. Algumas plantas têm capacidade de diminuir o seu potencial hídrico a níveis inferiores ao do solo, ativamente, fazendo com que a água penetre na planta. Por exemplo, à medida que a estação seca se inicia, a quantidade de água no solo vai diminuindo. Assim, a planta procura se adaptar para absorver mais água. Esta função vai estar relacionada diretamente com a quantidade de água perdida por transpiração, como será descrito a seguir.

**:: FIQUE LIGADO!! ::**

O solo de áreas alagadas como o mangue, se apresenta em capacidade de campo.

Na caatinga durante o período de seca, algumas áreas podem apresentar solos em ponto de murcha permanente, ou seja, alto teor de água disponível no solo é baixíssimo e as plantas não conseguem mais retirar.

**1.2.2 TRANSPORTE DE ÁGUA NO XILEMA**

Inicialmente a água penetra nos pêlos radiculares, extensões epidérmicas das células da raiz, as quais aumentam a área de contato com o solo, para facilitar a absorção de água e sais minerais. Após a água ser absorvida por pêlos radiculares, se movimenta radialmente até o xilema, localizado na região no centro do estelo.

Existem três caminhos possíveis: apoplasto (água se move entre as paredes e as membranas), simplasto (através dos plasmodesmos de células adjacentes, ou seja, penetra na célula e circula pelo citoplasma) e, para alguns autores, a terceira via a transmembrana (por dentro das células passando pelo vacúolo) (Figura 3 – Banco de Imagens).

Independente da via inicial antes de alcançar o xilema, a água passa pela endoderme, sempre pela via simplasto, porque esta camada possui células com estrias de suberina, nas paredes radiais e transversais, conhecidas como estrias de Caspary. A suberina forma uma espécie de fita e impede a passagem de água via apoplasto. Em algumas células da endoderme as estrias são ausentes, estas células são denominadas de passagem.

A penetração da água na raiz só é possível pela formação de um gradiente constituído pelo fluxo de água, o qual será sempre decrescente do solo ao xilema. Esse gradiente aumenta com a pressão negativa devido à transpiração de água pela folha. A água é transportada até as

folhas por pressão da raiz, a qual é impulsionada pela folha, através da transpiração, formando uma coluna de água no vegetal.

Todo esse transporte é estabelecido devido às características das células que compõem o xilema: traqueídes e elementos de vasos, como visto na disciplina Anatomia Vegetal. Ambas possuem paredes secundárias, com lignina, as quais facilitam a passagem de água.

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEMBRANDO

Os traqueídes são células alongadas e as pontuações são ao longo de toda a parede celular. Os elementos de vasos são mais curtos e possuem uma região na extremidade onde as pontuações se unem formando uma região denominada placa de perfuração. Essas regiões podem formar uma única placa simples, o que facilita a passagem de água de forma rápida, semelhante a um cano.

### 1.2.3 TEORIA COESÃO-TENSÃO

No xilema a água é transportada por capilaridade. A teoria que tenta explicar o movimento da água no xilema é chamada tensão e coesão, descrita por Dixon (1914). De acordo com essa teoria, a evaporação da água causa a diminuição no potencial das folhas que provocará o carreamento de água nos terminais do xilema. A água é sugada junto às paredes celulares para dentro das células da folha. Assim o xilema agora fica negativo e retira água das regiões onde os potenciais estão maiores. A teoria está fundamentada na afirmação feita no início, no que se refere à existência de uma coluna de água ao longo do corpo da planta.

Em algumas plantas a interrupção da coluna de água, tenta impedir a formação de bolhas, porém se estas surgem os elementos traqueais não podem conduzir água. A membrana de pontuação procura isolar as possíveis bolhas existentes. Em coníferas, que vivem em regiões temperadas, a água no solo no inverno apresenta-se a forma líquida e a coluna é interrompida por uma membrana de pontuação bastante eficiente, chamada toro.

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEMBRANDO

Cadernos CB – Virtual 4. Anatomia Vegetal - Unidade I – Célula Vegetal

### 1.3 TRANSPIRAÇÃO

A eliminação de água por evaporação causa a redução do potencial e do movimento da água através do xilema, como indicado anteriormente. A transpiração é um processo essencial na relação água-planta-atmosfera, como se observa ao longo do texto. Esse processo ocorre em qualquer parte do corpo vegetal acima do solo.

A maior parte da transpiração ocorre através das folhas ca.90%, e o restante através de lenticelas presentes no caule e ramos jovens. Nas folhas a existência de uma cutícula e em algumas espécies uma camada de cera, reduz a perda de água. Porém a continuidade da epiderme é interrompida por poros que fazem parte do complexo estomático.

**:: FIQUE DE OLHO!! ::**



**RELEMBRANDO**

O complexo formado por duas células especializadas (células guardas), as quais controlam a abertura do poro, através de turgescência. Abaixo das células guardas encontra-se a câmara subestomática, na região do mesofilo. O vapor d'água é eliminado para a atmosfera por difusão a partir da abertura dos poros.

Observar também as figuras na unidade de Anatomia Vegetal.

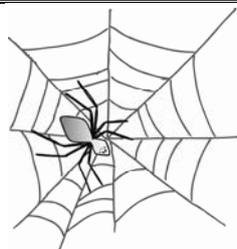
A abertura dos estômatos acontece para a captação de CO<sub>2</sub> necessário a fotossíntese. Assim o movimento estomático se torna essencial à planta. Portanto a relação entre os produtos orgânicos da fotossíntese necessários para o crescimento do vegetal, com a transpiração fica estabelecida.

O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos é dependente da turgidez das células-guardas, quando túrgidas – as células se afastam e o estômato se abre. Quando murchas as células guardas se aproximam e estômato se fecha (Figura 4 – Banco de Imagens)

Inicialmente ocorre a absorção de água pelas células guardas, acarretando o aumento no turgor. A turgidez das células guardas depende da entrada de K<sup>+</sup>. O controle da entrada e saída de potássio do K<sup>+</sup> é dado pela luz, o potencial hídrico, concentração de CO<sub>2</sub> e envolve sinais químicos como hormônios, a exemplo do ácido abscísico sintetizado pela raiz.

O controle da abertura dos estômatos por algumas plantas impede a captação de CO<sub>2</sub> em horários nos quais a temperatura está mais elevada. Outra forma de controle da transpiração acontece pela sinalização da redução da água disponível no solo através do ácido abscísico (um hormônio vegetal que estudaremos na unidade 3), o qual chega à folha e proporciona o fechamento das células guardas.

**:: TA NA WEB!!! ::**



**TÁ NA WEB**

Vídeo sobre transpiração

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/10548/evapotranspiracao.swf>

Durante a noite, horário que a maioria das espécies permanece com os estômatos fechados, pois neste período não existe a realização das atividades de fotossíntese, a pressão da raiz sobre as folhas força a formação de um processo conhecido como gutação, ou seja, eliminação de água na forma líquida através de estruturas, presentes nas folhas, conhecidas como hidatódios, que ocorrem na ponta das folhas (Figura 5 – Banco de Imagens). A água também pode retornar ao solo através das raízes.

Fatores climáticos podem interferir na transpiração como umidade do ar, temperatura ou correntes de ar. Ambientes com elevada umidade levam a redução da transpiração, mesmo que apresentem também temperaturas altas. Alguns cientistas também acreditam que a transpiração pode ser afetada pela concentração de  $\text{CO}_2$ , onde níveis baixos aumentam a transpiração, pois os vegetais permanecem mais tempo com os estômatos abertos. O contrário, ou seja, níveis mais elevados de  $\text{CO}_2$  diminuem o tempo de abertura dos estômatos, reduzindo o volume de água perdido por transpiração, com a abertura estomática.

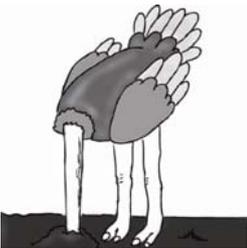
## 1.4 RELAÇÕES ECOLÓGICAS x ÁGUA NA PLANTA

Ao longo da evolução, na conquista do ambiente terrestre os vegetais se adaptaram a condições de hídricas (limitantes, ideais ou excessivas). Nestas regiões as espécies que possuíam mecanismos fisiológicos diferenciados conseguiram se estabelecer. Uma destas foi um mecanismo fotossintético mais eficiente, no qual ocorre a redução da perda de água, por mudanças nas rotas metabólicas ou assimilação de  $\text{CO}_2$  no período noturno, o que reduz a transpiração.

Outras adaptações anatômicas e morfológicas também foram encontradas. Quando estas características estão relacionadas a ambientes secos (xerófilos), chamamos estes caracteres de xeromórficos, e as plantas que o possuem de xerófitas. Da mesma forma para ambientes mesófilos e hidrófilos.

Exemplos podem ser encontrados quando se estuda a anatomia de plantas hidrófilas, nas quais geralmente encontram-se células adaptadas a acumular íons, evitando o aumento no turgor. Em plantas de ambientes xéricos pode-se observar estômatos em criptas (escondidos), epiderme com tricomas, cutícula espessa, folhas transformadas em espinhos.

### :: FIQUE POR DENTRO!! ::



#### IMPORTANTE NÃO ESQUECER!

- Conceito de Potencial Hídrico.
- Qual relação entre potencial hídrico e transpiração.
- Fatores que influenciam na transpiração.
- Adaptações dos vegetais para evitar a perda de água.

## 2. UTILIZAÇÃO DOS ELEMENTOS MINERIAS

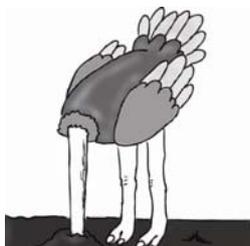
No início desta unidade estudamos as relações hídricas nos vegetais. Nesse segundo momento iremos descrever outros elementos necessários à vida das plantas, os quais também se encontram em sua maioria disponíveis no solo, os elementos minerais.

Você se lembra de quando cultivamos uma planta, o que é necessário? Água, luz, solo e quais as funções do solo, quais das suas partes são importantes para os vegetais? Agora vamos conversar um pouco sobre tudo isso.

As plantas embora organismos autótrofos, necessitam de elementos minerais para manter o seu metabolismo, crescimento, desenvolvimento e reprodução. Os elementos minerais são absorvidos através das raízes e passam a fazer parte da estrutura ou suco celular dos vegetais.

O estudo destes elementos, conhecido como nutrição mineral, envolve todas as formas de absorção, distribuição e utilização de minerais pelos vegetais. Tais estudos remontam à antiguidade com Aristóteles, sendo a teoria sobre a nutrição de plantas descrita por Liebig, no século XIX e são de interesse até os dias atuais. Atualmente se reconhece a necessidade de pelo menos 20 minerais importantes para os vegetais.

### :: FIQUE POR DENTRO!! ::



A partir dos estudos de Liebig foi postulada a Lei do Mínimo, na qual ele estabelece que o elemento em menor quantidade no solo será responsável pela limitação do crescimento vegetal.

Já Sprengel, um químico alemão, publicou no século XIX, que para a planta crescer são necessários, no mínimo, 20 elementos minerais.

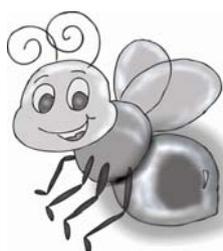
## 2.1 ELEMENTO ESSENCIAL

O estudo dos requisitos para um crescimento de vegetais de maneira saudável é de grande interesse econômico, e a partir da análise de cerca de 100 espécies vegetais, foram identificados e quantificados os vários elementos minerais essenciais. Neste momento surge o conceito de essencialidade para os vegetais.

Os elementos minerais podem ser considerados essenciais se estiverem incluídos em pelo menos um dos critérios abaixo:

1. Na ausência deste elemento o vegetal não completa o seu ciclo de vida.
2. O elemento deve fazer parte de alguma molécula essencial. Como por exemplo, o magnésio presente na molécula de clorofila.

### :: FIQUE LIGADO!! ::



Na ausência de alguns elementos minerais a planta pode até produzir sementes, mas estas não podem germinar e originar uma nova planta fértil. Tais sementes são consideradas inviáveis. As sementes que germinam e originam plantas saudáveis são conhecidas como sementes viáveis.

Neste caso o elemento mineral é considerado essencial, seguindo critério descrito anteriormente no item 1.

Os elementos essenciais são classificados como macronutrientes e micronutrientes, de acordo com a quantidade adequada exigida pelo vegetal. Lembrando que, independente da concentração mínima, todos são essenciais para os vegetais. Os valores de concentração dos elementos essenciais são calculados sobre a matéria vegetal seca, e foram observados em cerca de 100 espécies, de maiores interesses econômicos, conforme tabela abaixo: todas as espécies estudadas posteriormente também possuíam minerais nas mesmas proporções.

| Elemento       | Concentração / kg de matéria seca |
|----------------|-----------------------------------|
| Macronutriente | Igual ou menos de 100 mg          |
| Micronutriente | Mais de 1000 mg                   |

Todos os elementos essenciais encontram-se distribuídos nestes dois grupos para todas as espécies vegetais. Os elementos necessários em maior quantidade são os macronutrientes (N,P,K,Ca, Mg e S) e aqueles em menor quantidade, micronutrientes (B,Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn). Os elementos (C, O, H) são considerados macronutrientes que a planta absorve do ar e água, na forma de CO<sub>2</sub> e de H<sub>2</sub>O. Portanto os três últimos não são absorvidos diretamente do solo e em termos proporcionais são necessários em maiores proporções do que os demais.

Cada elemento possui uma concentração mínima necessária, que geralmente é pouco alterada para a maioria das espécies. Em termos gerais, pode-se então indicar as quantidades dos minerais presentes nos vegetais em condições ideais de crescimento, ou seja, para que a planta complete seu ciclo de vida sem problemas.

Variações nas condições ideais serão tratadas mais na frente quando discutido as deficiências minerais.

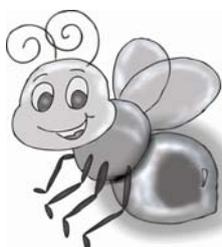
| Elemento               | Símbolo Químico | Concentração na Matéria Seca (mg/kg) |
|------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| <b>Macronutrientes</b> |                 |                                      |
| Nitrogênio             | N               | 15.000                               |
| Fósforo                | P               | 2.000                                |
| Potássio               | K               | 10.000                               |
| Cálcio                 | Ca              | 5.000                                |
| Magnésio               | Mg              | 2.000                                |
| Enxofre                | S               | 1000                                 |
| Carbono                | C               | 450.000                              |
| Oxigênio               | O               | 450.000                              |
| Hidrogênio             | H               | 60.000                               |
| <b>Micronutrientes</b> |                 |                                      |
| Boro                   | B               | 20                                   |
| Cloro                  | Cl              | 100                                  |
| Cobre                  | Cu              | 6                                    |
| Ferro                  | Fe              | 100                                  |
| Manganês               | Mn              | 50                                   |
| Molibdênio             | Mo              | 0.1                                  |
| Níquel                 | Ni              | -0.1                                 |
| Zinco                  | Zn              | 20                                   |

Fontes: Adaptado de Epstein (1965) e Brow *et al* (1987).

### 2.1.1 ELEMENTO BENÉFICO

Além destes elementos acima descritos, existem outros que estimulam o crescimento vegetal, mas não são essenciais, ou o são apenas para algumas espécies. São conhecidos como elementos benéficos, a exemplo do sódio, o silício, o cobalto, o alumínio e o selênio. O sódio (Na) é importante para algumas plantas com mecanismo fotossintético  $C_4$ , o qual será descrito na unidade 2. Essa essencialidade é relacionada ao acúmulo de sódio, tais plantas são conhecidas como halófitas. Plantas halófitas são plantas que podem crescer em ambientes salinos, como deserto, mangues e restingas, como por exemplo, a *Atriplex*. As halófitas são de interesse para locais com alta salinidade nos lençóis de água subterrânea, pois conseguem retirar grandes quantidades de sais do solo. Popularmente são conhecidas como erva-sal, podem ser utilizadas para absorver os rejeitos de salinizadores. Trata-se de uma planta introduzida, mas já utilizada em algumas pesquisas na região nordeste.

#### :: FIQUE LIGADO!! ::



Macronutrientes e micronutrientes estão relacionados à quantidade exigida pelo vegetal e não com o tamanho do elemento. Ambos (macro ou micronutriente) possuem o mesmo grau de importância para o vegetal, ou seja, na ausência de qualquer um deles a planta não completa seu ciclo.

### 2.2 DEFICIÊNCIAS MINERAIS

Como vimos, o estudo da nutrição mineral se torna complexo e muito específico. As necessidades minerais mudam ao longo do crescimento e desenvolvimento de um vegetal, ou seja, os valores adequados podem mudar ao longo da vida de uma planta. Porém, independente do elemento, podemos afirmar que quando a concentração é menor que a exigida, o crescimento é reduzido, e à medida que começa a aumentar a disponibilidade, o crescimento retoma. Na proporção que a disponibilidade se eleva, a produtividade também aumenta. Observe a figura abaixo:

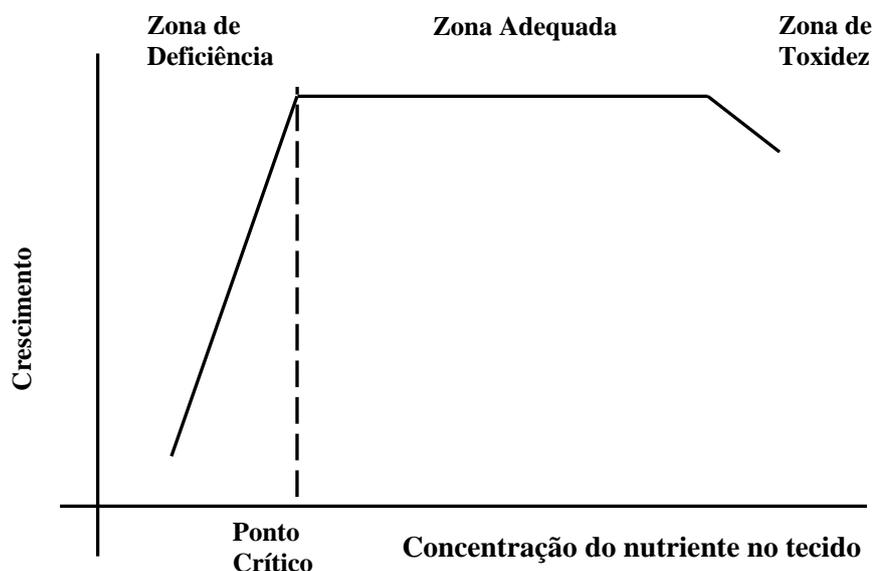


Figura 6. Relação entre o crescimento e concentração de nutriente mineral no tecido vegetal.

**Zona de deficiência** – a quantidade de nutriente abaixo do exigido pelo vegetal, um aumento na concentração é proporcional a elevação na taxa de crescimento.

**Zona adequada** – a concentração nutriente suficiente para manter o crescimento vegetal adequado.

**Zona de toxidez** – a concentração de nutriente no tecido causa prejuízos ao crescimento vegetal.

**Ponto crítico** – o valor mínimo do nutriente para não causar prejuízos ao crescimento vegetal.

**:: FIQUE LIGADO!! ::**



Independente do nutriente ou do tecido vegetal, todos os elementos possuem um valor crítico, embora este possa variar entre as espécies, sempre apresentaram zona de deficiência e zona de toxidez.

A deficiência de um mineral prejudica não somente o crescimento, mas também o metabolismo e o funcionamento do vegetal. Assim como as deficiências nutricionais humanas, as dos vegetais podem ser identificadas por um conjunto de sintomas. O estudo destes sintomas foi bastante desenvolvido no século XX, com o uso da hidroponia, técnica de cultivo vegetal onde as raízes ficam submersas em solução nutritiva, sem solo.

Os sintomas das deficiências nutricionais estão relacionados com a funcionalidade de cada elemento essencial no vegetal. Desta maneira, se consegue identificar o possível elemento que está causando dano a uma determinada cultura (Figura 7 e 8 – Banco de Imagens). Na tabela seguinte, podemos observar as principais funções dos elementos essenciais e alguns dos sintomas de sua deficiência.

Os nutrientes podem ser redistribuídos no corpo vegetal, quando constatado um sinal de deficiências nos tecidos jovens em crescimento. Rapidamente é enviada uma sinalização para que este nutriente possa ser retirado das partes mais velhas e levado até as mais jovens. Por isso, os sintomas de deficiência variam entre os órgãos vegetais. Nem todo elemento pode ser redistribuído. Nesse caso trata-se de um elemento imóvel.

Agora podemos entender que os sintomas de deficiência nutricional dependem também da mobilidade deste elemento no corpo vegetal.

| <b>Elemento</b> | <b>Mobilidade</b> | <b>Funcionalidade</b>   | <b>Sintomas deficiência</b>   |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Boro            | Imóvel            | Integralidade da parede celular e membrana plasmática, síntese de ácidos nucléicos e utilização do $Ca^{2+}$ .  | Deformação nas paredes celulares das células do ápice das raízes, retardo no crescimento e necrose nas folhas jovens.   |
| Cálcio          | Imóvel            | Componente da lamela média na divisão celular, funcionalidade da membrana, mensageiro secundário de mudanças externas. Se liga a enzima calmodulina e atua em diversos processos metabólicos. | Necrose nas regiões meristemáticas, como ápice caulinar e radicular. Sistema radicular acastanhado, ramificado e curto. |
| Cloro           | Móvel             | Trocas iônicas e osmose. Fotólise da água no PSII.  | Murchamento das folhas, enrolamento dos folíolos, inibição no crescimento das raízes.                                   |
| Cobre           | Imóvel            | Estrutura de algumas enzimas de oxi-redução.  | Folhas verde escuras com manchas necróticas.  |
| Enxofre         | Imóvel            | Componente de coenzimas, vitaminas, e aminoácidos. Ex: Coenzima A.  | Similares aos sintomas do Nitrogênio. Em geral clorose em folhas jovens e maduras.                                      |
| Ferro           | Imóvel            | Biossíntese de citocromos, Síntese da clorofila.  | Clorose internervura nas folhas jovens.   |
| Fósforo         | Móvel             | Elemento estrutural dos ácidos nucléicos (DNA e RNA), das membranas celulares (fosfolipídeos). Participa de reações na respiração e fotossíntese,   | Crescimento reduzido nas plantas jovens, coloração escura nas folhas. Folhas com manchas de tecido morto (necrose).     |
| Magnésio        | Móvel             | Síntese de DNA e RNA, estrutura da clorofila.   | Clorose nas nervuras e necrose nas folhas.  |
| Mangânes        | Móvel             | Reação de fotossíntese. Ativação de enzimas descarboxilases e desidrogenases.   | Clorose internervuras. Em leguminosas causa nas sementes manchas e partidas.  |
| Molibdênio      | Móvel             | Componente da nitrato redutase e nitrogenase, enzimas envolvidas na absorção do Nitrogênio.   | Clorose generalizada entre as nervuras e necrose nas folhas mais velhas.  |
| Níquel          | Móvel             | Componente da uréase.   | Acúmulo de uréia nas folhas, apresentando necrose no ápice foliar.  |
| Nitrogênio      | Móvel             | Constituinte de aminoácidos, ácidos nucléicos, clorofilas.  | Clorose generalizada nas folhas mais velhas, senescência das folhas jovens.   |
| Zinco           | Móvel             | Componente de enzimas.  | Redução da área foliar e alteração do metabolismo dos carboidratos.   |

Os sintomas acima citados, embora generalizados, podem se manifestar com diferentes intensidades nos vegetais. Alguns elementos podem produzir respostas a sua deficiência de forma

específica para uma espécie, pois como vimos anteriormente o requisito mineral pode variar com a espécie, a fase do ciclo e a idade do vegetal.

### 2.3 ABSORÇÕES DOS MINERAIS

A absorção da maioria dos elementos essenciais ocorre na forma iônica, a partir da solução do solo. O mecanismo de deslocamento dos íons depende do fluxo de água na planta, da densidade da raiz, das características genéticas da espécie. O processo acaba sofrendo interferência do ambiente e cada espécie pode responder diferentemente.

A assimilação dos minerais obedece a um critério de seletividade iônica, ou seja, as plantas podem apresentar preferências por alguns íons. Esta seleção é limitada a fatores osmóticos e a reações entre os íons presentes no solo. Outra característica da absorção é que ela pode ocorrer contra um gradiente de concentração. Alguns elementos podem ser encontrados em concentrações muito maiores no interior das raízes.

A entrada de um elemento mineral no vegetal depende diretamente da disponibilidade deste no solo. Por isso, esta assimilação está diretamente relacionada com os ciclos biogeoquímicos, como o da água, do fósforo, do nitrogênio.

Os fungos também atuam na absorção, através de associações com as raízes de plantas formam as micorrizas (ver CB Virtual 2. Capítulo 5), e em alguns casos a planta é beneficiada. Pouco se conhece como o processo de transferência dos minerais absorvidos pelos fungos é transferido para o corpo vegetal. Sabe-se, porém, que as hifas dos fungos aumentam a área de alcance no solo, o que facilita a absorção de elementos relativamente imóveis como o fósforo.

Cerca de 80% das Eudicotiledôneas apresentam micorrizas. Porém em condições de alta disponibilidade de minerais, a associação desaparece. Para algumas espécies, esta relação inicia bem cedo, como as orquídeas nas quais a simbiose é observada após a germinação e se mantém durante toda a vida (ver CB Virtual 2. Capítulo 5).

Outra associação mutualística relacionada à absorção mineral é comum entre espécies de leguminosas e dois gêneros de bactérias (*Rhizobium* e *Bradyrhizobium*). Como estas espécies de bactérias conseguem fixar nitrogênio atmosférico, esta associação acaba sendo bastante benéfica para o vegetal, pois trata-se de um dos principais compostos minerais. A bactéria fornece o nitrogênio e a planta oferta compostos ricos em açúcares para a hospedeira.

As bactérias penetram no vegetal através dos pêlos radiculares, formando um canal de infecção, que chega até as células do córtex e provocam um aumento no número de células, formando um nódulo radicular (Figura 9).

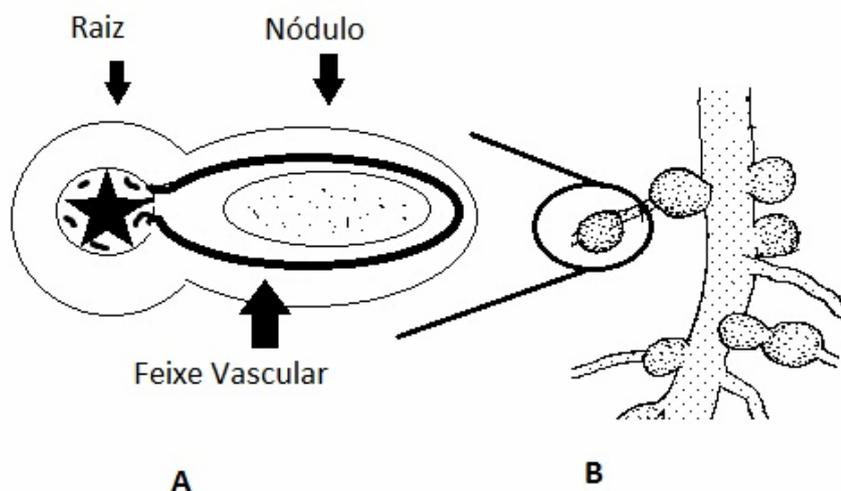


Figura 9. A: Nódulo radicular evidenciando os feixes vasculares conectados. B. Parte externa de uma raiz com nódulos radiculares.

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEMBRANDO

O ciclo biogeoquímico do nitrogênio e as formas de assimilação de nitrogênio pelos vegetais.

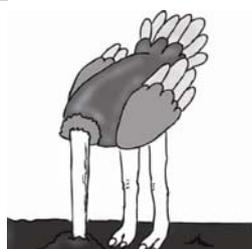
Cb virtual 4. Biologia de Microorganismos.

### 2.3.1 ELIMINAÇÃO DE MINERAIS

Os minerais podem ser assimilados em excesso e, como observado na Figura 6, tornarem-se tóxicos. Os vegetais possuem um mecanismo que tenta evitar ou diminuir, a toxidez causada pelo acúmulo de alguns elementos (Figura10). Os três processos mais comuns são:

- Recriação – o elemento é eliminado no mesmo estado químico que foi absorvido – por lixiviação (K, Na, Mg, Mn).
- Secreção – alguns aminoácidos são eliminados através dos exudatos das raízes – N e S
- Excreção – os minerais são eliminados através da síntese de metabólicos secundários.

### :: FIQUE POR DENTRO!! ::



Metabólicos secundários são compostos que não têm uma função direta no crescimento vegetal, mas que são importantes para a sobrevivência e propagação das espécies que os produzem. Podem ser classificados como: fenólicos, terpenóides e substâncias fenólicas.

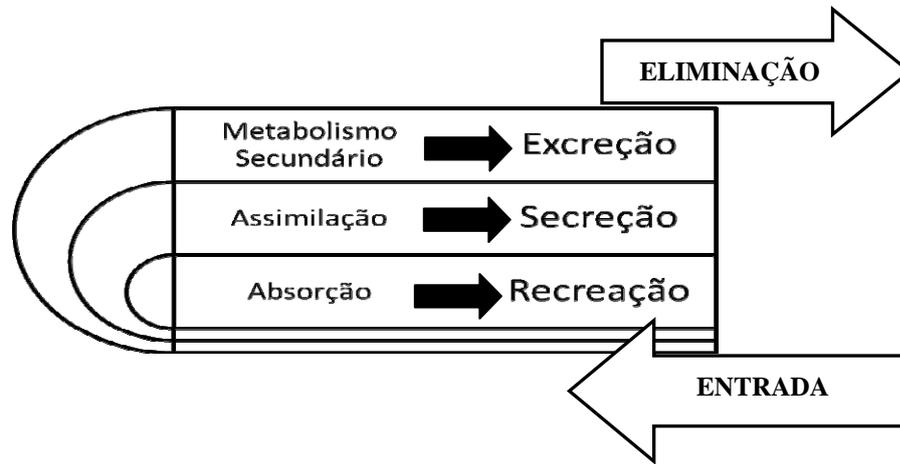


Figura 10. Diagramação da entrada e saída de minerais no corpo vegetal.

## 2.4 PLANTAS CARNÍVORAS

Existe um grupo de plantas que utilizam a proteína animal para complementar a sua necessidade de nitrogênio. Muito comuns na cultura popular, especialmente em filmes, são conhecidas como “plantas carnívoras”. Para alguns autores, estas plantas deveriam ser conhecidas como plantas insetívoras, devido ao tipo de presa, geralmente envolvido.

Estes vegetais normalmente habitam solos pobres em nitrogênio, e possuem estruturas morfológicas que aprisionam insetos e outros pequenos animais. O mecanismo diferencia entre as espécies, mas todos levam a captura e posterior absorção os compostos nitrogenados.

A *Drosera*, uma espécie encontrada na Paraíba, medindo poucos centímetros, possui tricomas glandulares nas extremidades das folhas, os quais secretam um líquido pegajoso, que atrai os insetos e, após a captura, estas se dobras, impedindo a fuga da presa. Após a presa estar imóvel, são produzidas enzimas digestivas que digerem o inseto (Figura 11 – Banco de Imagens).

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### IMPORTANTE NÃO ESQUECER!

Conceito essencialidade.

Diferença entre macro e micronutrientes.

As principais funções dos elementos e os sintomas de suas deficiências.

Adaptações a absorção e eliminação dos minerais.

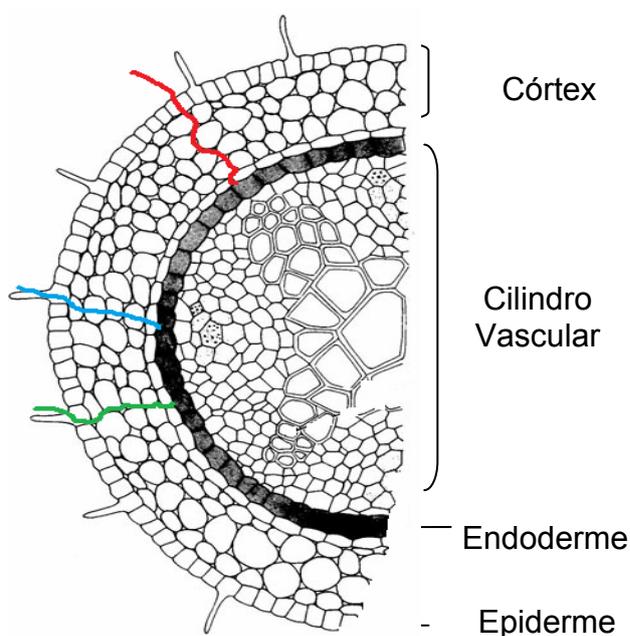
### :: HORA DE TRABALHAR!!! ::



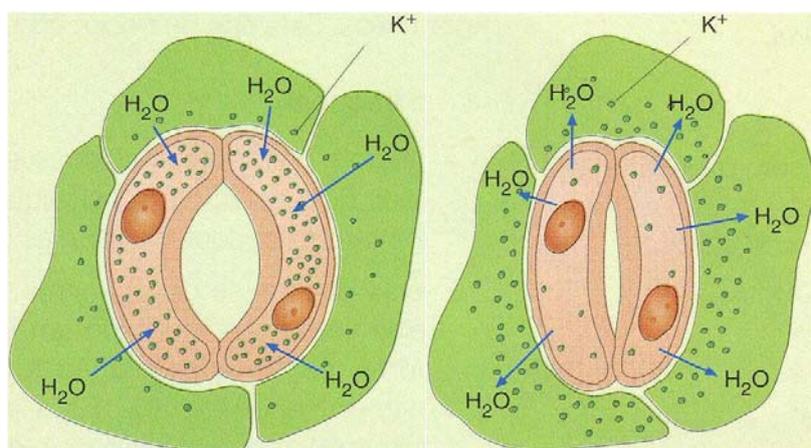
#### EXERCÍCIOS

1. Cite três propriedades da água e relacione-as com o potencial hídrico do vegetal. Descreva o caminho da água, na planta, a partir do solo.
2. Escolha três elementos essenciais e responda
  - a. existe mobilidade
  - b. função no vegetal
  - c. efeitos na ausência

**BANCO DE IMAGENS**



**Figura 3: Esquema parcial das vias de entrada de água: (A) Simplástica –azul e Apoplástica –vermelha, transmembranas–verde, em um corte transversal de uma raiz.**



**Figura 4: Mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, com entrada e saída de potássio (K<sup>+</sup>).**

Fonte:

<http://biogeotc.files.wordpress.com/2009/05/estoma-fechado.jpg>

<http://biogeotc.files.wordpress.com/2009/05/estoma-aberto.jpg>



**Figura 5. Folhas eliminando água no processo de gutação.**

Fonte:

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Guttation\\_ne.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Guttation_ne.jpg)

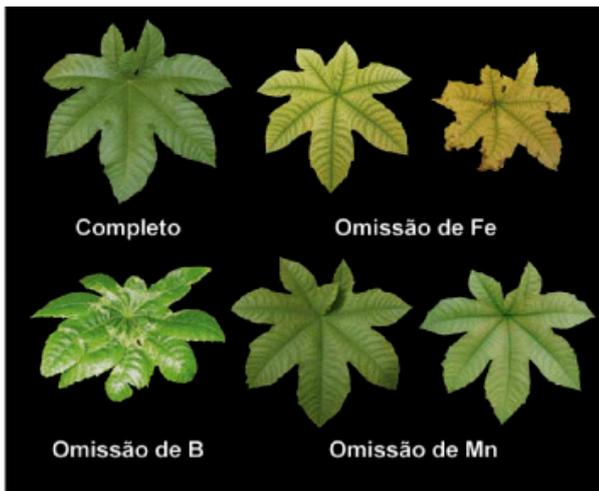


Figura 7. Sintomatologia das doenças da manoeira, desenvolvidas em soluções nutritivas completas, na ausência de Ferro, Boro e Mangânes. (Lange *et al* 2005)

Fonte:

<http://www.scielo.br/img/revistas/pab/v40n1/23243f1.gif>

Figura 8 - Sintomas de deficiência de nitrogênio em cultura de sorgo.

Fonte:

[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivadoSorgo\\_2ed/figuras/diag1.jpg](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivadoSorgo_2ed/figuras/diag1.jpg)

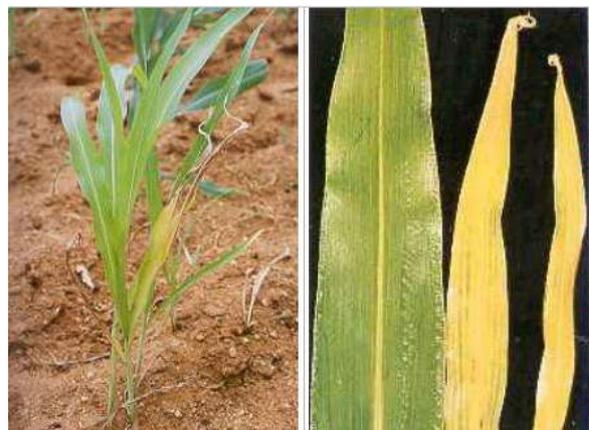


Figura 11. *Drosera sp.*, observar tricomas glandulares nas extremidades das folhas. Foto ZGMQuirino.

## UNIDADE 2 FOTOSSÍNTESE

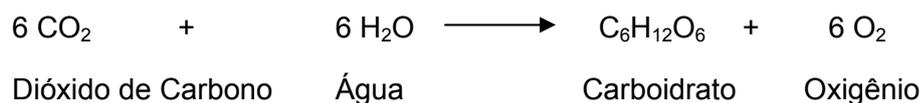
### 1. CONCEITOS GERAIS

A fotossíntese é sem dúvida um dos processos mais complexos existentes na natureza, por este fato estudamos desde ensino fundamental. E para um estudante de biologia o entendimento de como a fotossíntese acontece facilita a compreensão dos mecanismos existentes nos vegetais para a obtenção de compostos energéticos.

Ao longo desta unidade serão descritas as etapas e também a relação com as questões ambientais. Vários esquemas foram montadas para facilitar nosso estudo.

#### 1.1 HISTÓRICO

O termo fotossíntese significa síntese utilizando a luz. Os organismos utilizam a energia solar para sintetizar carboidratos a partir de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água, e liberam oxigênio.

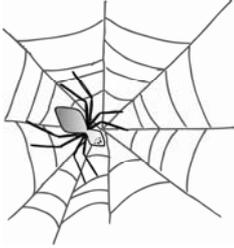


A energia acumulada pode ser empregada no metabolismo vegetal e ser utilizada como fonte de energia para as demais formas de vida no ecossistema. Dessa maneira a fotossíntese é um processo biológico onde ocorre a entrada de energia na biosfera, no qual ocorre uma oxidação (da água, com eliminação de elétrons com a liberação de O<sub>2</sub>) e redução (de CO<sub>2</sub> - atmosférico, para formar compostos orgânicos tais como carboidratos). As únicas exceções a essa afirmação seriam as bactérias quimiossintetizantes e as erupções vulcânicas, os quais contribuem com menor importância para fornecer energia quando comparadas à fotossíntese.

O mecanismo fotossintético é complexo e para seu total entendimento foram necessárias várias pesquisas realizadas desde o século XVIII. Hoje todas as reações estão descritas e fazendo um rápido histórico iremos entender que se trata de um processo bastante complexo.

Como já estudado na unidade anterior, as plantas necessitam de nutrientes. Todavia os cientistas acreditavam que todos os requerimentos nutricionais dos vegetais eram retirados exclusivamente do solo. Neste período ainda não era conhecida a composição da atmosfera. Em 1727, Hales sugeriu que parte dos nutrientes requeridos pelos vegetais originava-se da atmosfera e que a luz de alguma maneira participa deste processo.

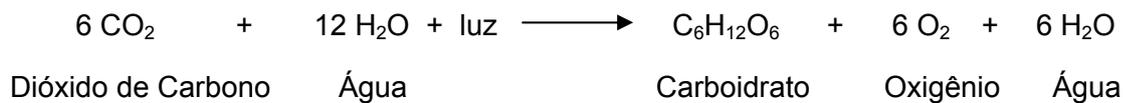
Em 1771, Priestley sugeriu a participação do O<sub>2</sub>, relacionando as plantas com a respiração dos animais e afirmando que estas eram responsáveis pela purificação do ar. Posteriormente, o médico holandês Jan Ingenhousz, demonstrou a participação da luz no processo. Por volta do início do século XIX, foi proposta a participação da água na fotossíntese. Somente 1864 é que Sachs demonstrou a produção também de matéria orgânica na fotossíntese, observando o aumento do amido em cloroplastos iluminados. Inicialmente o processo foi acompanhado apenas em bactérias. Apenas em 1930, Niel estabeleceu uma relação entre o processo bacteriano e as plantas. Em seguida Hill demonstrou a quebra da molécula de água induzida pela luz (fotólise – reação de Hill) e que há liberação de O<sub>2</sub>.

**:: TA NA WEB!!! ::**

Leitura recomendada sobre Priestley:

[http://books.google.com.br/books?id=cu9GZwp4958C&printsec=frontcover&source=gbs\\_v2\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.com.br/books?id=cu9GZwp4958C&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=&f=false)

Somente em 1941, Rubem e Kamen, trabalhando com *Chlorella* e HO<sub>2</sub> com O<sup>18</sup> um isótopo marcado radiativamente puderam detectar que o O<sub>2</sub> liberado também era radioativo. Somente em 1975, foi possível a prova final da liberação de O<sub>2</sub>. Assim, a equação descrita foi:

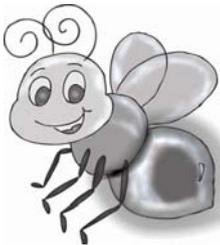


Em 1782, Jean Senebier observou a formação de um ar “viciado” pelos vegetais durante a noite. Partindo daí, passaram a existir especulações erradas a respeito da presença de plantas em casas durante o período noturno. Posteriormente foi demonstrado por Lavoisier qual tipo de gás nocivo era o CO<sub>2</sub> o qual era emitido por plantas ao respirar, assim como por animais.

**:: ARREGAÇANDO AS MANGAS!! ::****NA PRÁTICA**

Roteiro de aula prática:

Título da aula: História da ciência e desenvolvimento das plantas III – O experimento de Joseph Priestley. <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/>

**:: FIQUE LIGADO!! ::**

A verdade é que a fotossíntese é interrompida na ausência de luz, e por isso os vegetais não liberam neste período o O<sub>2</sub>. As plantas são aeróbicas, assim como vários animais, e por isso utilizam o oxigênio na respiração. No experimento de Senebier os vegetais estavam apenas competindo com oxigênio, assim como outro organismo presente.

**2. APARELHO FOTOSSINTÉTICO**

As reações de fotossíntese nos vegetais ocorrem nos cloroplastos, uma organela com dupla membrana, com uma matriz fluida e um complexo sistema de membranas. Este sistema é interconectado formando um lúmen contínuo, o qual tem papel importante no transporte de elétrons (Figura 12).

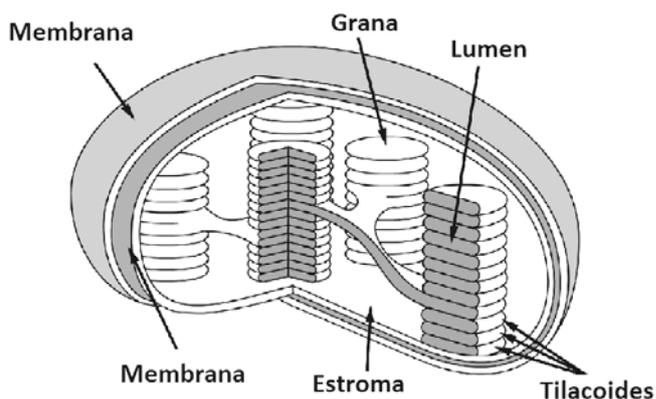


Figura 12. Estrutura interna do cloroplasto.

Fonte:

[http://photoprotection.clinuvel.com/custom/uploads/LUV\\_fig4\\_chloroplast\\_v\(1\).gif](http://photoprotection.clinuvel.com/custom/uploads/LUV_fig4_chloroplast_v(1).gif)

**Cloroplastos** - são organelas celulares presentes nas células vegetais que se apresentam com tamanho e formas bastante variadas. Um cloroplasto típico das Angiospermas está circundado por um sistema de dupla membrana que controla de maneira seletiva a entrada e a saída de substâncias. No interior encontra-se um material amorfo, gelatinoso e rico em enzimas, o ESTROMA. Em toda a estrutura estão presentes os tilacóides, onde estão presentes os pigmentos responsáveis pela captação da luz. Os tilacóides têm formato de bolsas achatadas e se reúnem em pilhas chamadas de grana. A parte interna dos tilacóides é conhecida como lúmen, rica em água e sais minerais. Nos cloroplastos estão presentes ainda DNA, RNA e ribossomos, que se localizam no estroma.

**Pigmentos** - são responsáveis pela captação de luz e essa absorção está relacionada ao comprimento de onda da luz. Cada pigmento absorve certos comprimentos e reflete outros. O padrão de absorção de um pigmento é conhecido como espectro de absorção, ou seja, faixa pela qual o pigmento pode absorver luz.

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEBRANDO

Física para Ciências Biológicas – Cadernos CB Virtual volume 2.  
Unidade 4

Os pigmentos presentes nas membranas dos tilacóides são de dois tipos: as clorofilas, *a* e *b*, e os carotenóides. As clorofilas são responsáveis pela coloração verde dos vegetais e estão presentes em todos os eucariontes fotossintetizantes. As moléculas de clorofila são constituídas de um anel de porfirina ligado a uma cadeia de 20 carbonos (Figura 13). Depois das clorofilas, os carotenóides são o grupo mais abundante. São formados por longas cadeias de 40 carbonos ligados alternadamente por ligações duplas. O grupo de carotenóides se divide em dois tipos: os carotenos (hidrocarbonetos) e as xantofilas que contêm oxigênio. Nos vegetais os carotenóides podem variar, sobretudo nas algas. Os pigmentos estão inseridos nos tilacóides através de ligações covalentes com as proteínas.

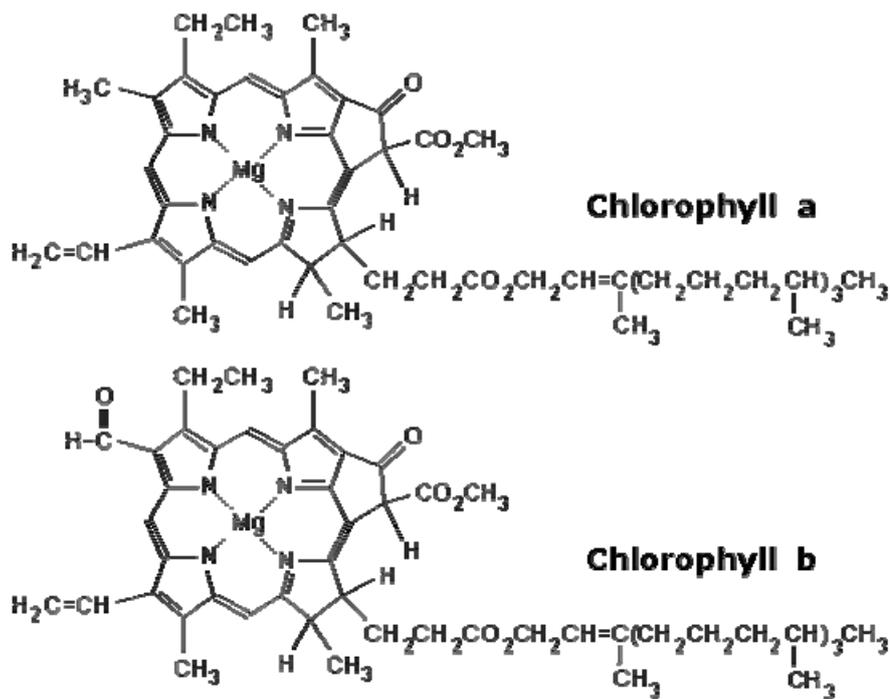


Figura 13. Estrutura química das clorofilas a e b.

Com relação ao comprimento de onda as clorofilas a e b, absorvem bem entre 600 e 800nm (unidade de comprimento de onda) (Figura 14 – Banco de Imagens). Quando os níveis de irradiação ultrapassam estes valores os carotenóides protegem as clorofilas contra a oxidação, além de absorverem luz. Isto é bastante comum em ambientes com alta incidência luminosa.

## 2.1 ABSORÇÃO DA LUZ

A luz é formada por partículas energéticas, os fótons, cada um com um comprimento de onda específico. Cada molécula pode absorver um fóton e por sua vez cada fóton pode proporcionar a excitação de um elétron.

O processo fotossintético inicia-se então com a absorção de luz pelos pigmentos presentes nos cloroplastos. Uma molécula de pigmento é excitada desta maneira e impulsiona seus elétrons para um nível energético mais elevado (Figura 15 – Banco de Imagens). A clorofila e os demais pigmentos podem permanecer excitados por milionésimo de segundos ou menos. A energia então pode ser perdida na forma de calor ou ser transferida para um pigmento coletor de energia, um centro de reação.

Assim, o primeiro evento da fotossíntese poderia ser descrito como um processo no qual ocorre a transferência de elétrons, impulsionados pela luz. A energia acumulada irá promover a fotoxidação da água e a liberação de  $O_2$ . Esses elétrons irão se propagar e reduzir  $NADP^+$  (nicotinamida) a NADPH.

Os prótons liberados pela molécula de água geram um gradiente de prótons ( $H^+$ ) que impulsionará a síntese de ATP. Esta reação é denominada fotofosforilação.

A energia luminosa é capturada para produzir NADPH e ATP, os quais irão reduzir o  $CO_2$  em ácidos orgânicos na etapa seguinte (fixação do carbono). Mas antes de detalhar as etapas da fotossíntese, iremos descrever os complexos onde ocorrem as reações de transformação da luz em energia química.

Existem dois tipos de fotossistemas que atuam na fotossíntese cada um absorvendo um comprimento de onda o PSI- ondas compridas e o PSII- ondas curtas. Cada fotossistema possui

um centro de reação formado por um complexo proteína-pigmento e outro proteína-antena. Esses complexos estão acoplados no sistema conhecido como esquema Z (Figura 16). Os fotossistemas ocupam lugares distintos na membrana do tilacóide.

No PSII, ocorre a hidrólise da água e inicia-se o transporte de elétrons. Esse fotossistema é formado por um centro de reação de 680nm, 40 clorofilas *a* e várias moléculas de  $\beta$ -caroteno, quatro íons de magnésio, um de ferro, um de cálcio, vários de cloro, duas plastoquinonas e duas feofitinas. Em resumo, o PSII tem como função captar a energia luminosa e reduzir a plastoquinona (oxidado) a sua forma reduzida (PQH<sub>2</sub>), utilizando os elétrons da água.

Os elétrons produzidos são passados para o PSI, pela transferência de energia para níveis mais baixos, de forma semelhante a CTE (cadeia transportadora de elétrons – ver Bioquímica Metabólica – CB virtual 2).

O PSI é formado por um centro de reação P700, que por sua vez se une a moléculas de clorofilas *a* e *b*. O centro do PSI impulsiona os elétrons até um aceptor de elétrons denominado ferredoxina, os elétrons são transferidos a partir daí para compostos intermediários até a coenzima NADP, e o NADP será reduzido a NADPH.

O conjunto de reações luminosas que transferem elétrons através da membrana dos tilacóides para formar NADPH é conhecido como transporte acíclico de elétrons, já que os elétrons não voltam à água. Outra maneira é o transporte de elétrons de ferredoxina para o citocromo *b*<sub>6</sub> e retorna novamente ao P700, formando um ciclo sem a redução do NADP. Neste fluxo cíclico existe apenas a formação de ATP. O PSI pode transportar elétron independente do PSII, através da fotofosforilação cíclica.

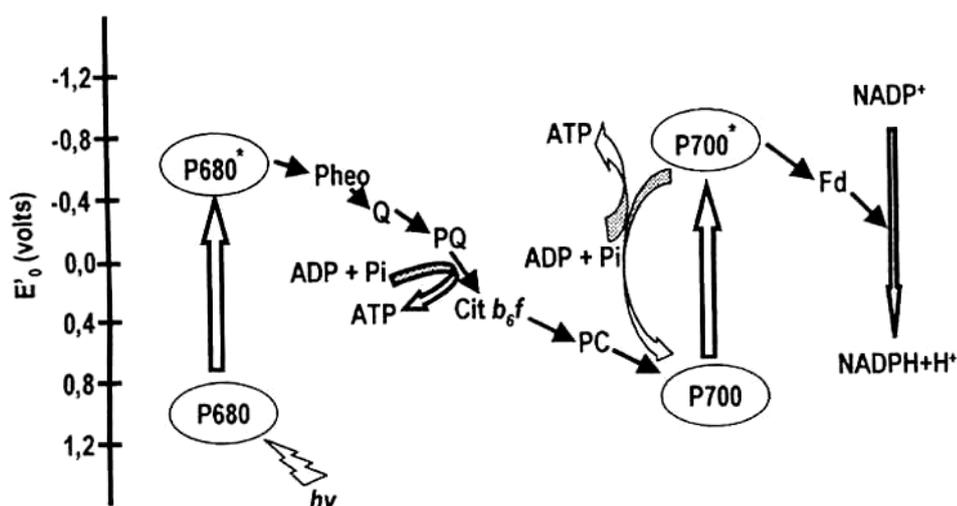


Figura 16. Esquema Z, representando o fluxo fotossintético de elétrons.

Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fotossintese/imagens/fotossintese91.jpg>

### 3. FIXAÇÃO DO CARBONO

A etapa seguinte tem como produtos iniciais o ATP e NADPH, formados na fase anterior e serão utilizados na captação do CO<sub>2</sub>. A fixação do CO<sub>2</sub> foi descrita por Melvin Calvin a partir da utilização de carbono radioativo em algas do gênero *Chlorella*, por isso é conhecido também como ciclo de Calvin ou fase química. Esta descoberta levou a premiação do autor com o prêmio Nobel de química, em 1961.

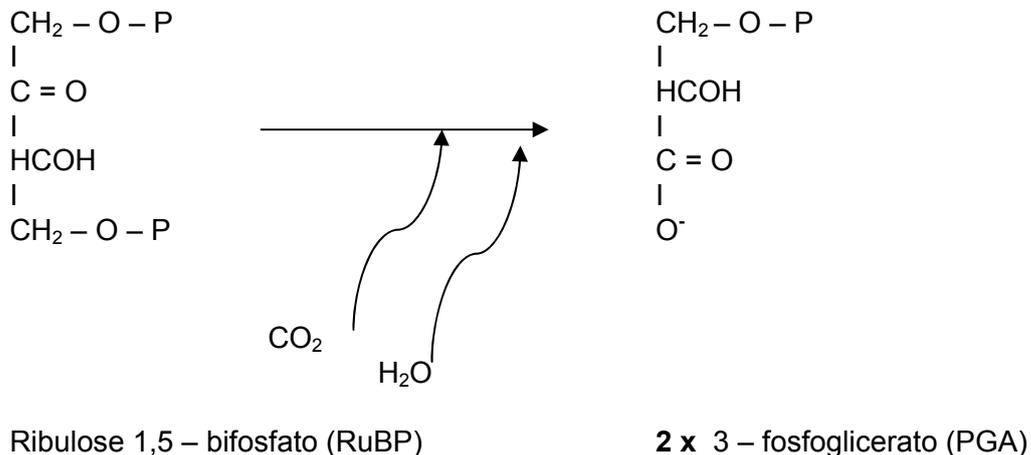
O  $\text{CO}_2$  atmosférico penetra na folha através dos poros estomáticos, onde por difusão irá chegar aos tecidos fotossintéticos da folha (parênquima clorofiliano – paliçádico e lacunoso). No mesofilo é difundido até chegar aos cloroplastos das células do parênquima clorofiliano.

O ciclo Calvin ou ciclo de fixação de carbono ocorre no estroma, onde se encontram todas as enzimas envolvidas no processo (Figura 17).

Didaticamente a fixação de carbono é dividida em três etapas:

- **Carboxilação**
- **Redução**
- **Regeneração**

Na **carboxilação**, inicialmente ocorre a reação de fixação de  $\text{CO}_2$ . A enzima envolvida nesse processo é a rubisco (RuBP - 1,5-ribulose bifosfato carboxilase), ocorre em grandes concentrações na matriz do cloroplasto, sendo possivelmente a enzima mais abundante na natureza. Nesta etapa, ocorre a incorporação do  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  a rubisco (RuBP) para formar uma molécula de 3-PGA (3-fosfoglicerato).



Na segunda etapa ocorre a **redução** do 3-fosfoglicerato em gliceraldeído 3-fosfato (PGAL). São necessárias duas reações para que ocorra a redução e utilizadas uma molécula de ATP e uma de NADPH.

Lembrando que na carboxilação foram formadas 2 moléculas de 3 -fosfoglicerato (Reação 1), ao iniciar a etapa de redução teremos duas moléculas de 3 -fosfoglicerato para serem reduzidas (Figura 18). Dessa maneira, serão gastos 2 x ATP e 2 x NADPH para cada molécula de  $\text{CO}_2$  assimilada.

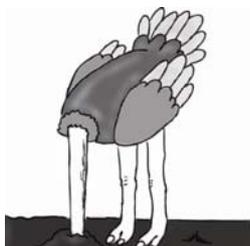
A partir daí, o 3-fosfoglicerato pode seguir dois caminhos:

a. A molécula de 3-fosfogliceraldeído pode ser transportada para fora do cloroplasto para fazer parte de membranas ou de compostos energéticos os quais iram formar glicose.

b. Iniciar a fase de regeneração a qual implica numa fase complexa onde açúcares são fosforilados com três, quatro, cinco, seis e sete carbonos. Para tanto são necessárias dez reações enzimáticas. Até a reconstituição de uma nova Rubisco. Nesse momento será necessário também o gasto de um ATP e poderá dar início novamente ao ciclo para assimilação de mais uma molécula de  $\text{CO}_2$ .

Para se formar uma molécula totalmente nova de 3-fosfogliceraldeído são necessárias três moléculas de carbono fixadas, ou seja, três voltas no ciclo de Calvin, o que requer nove ATPs e seis de NADPH.

**:: FIQUE POR DENTRO!! ::**



Como vimos, a fotossíntese pode ser dividida em duas fases: uma luminosa, onde é absorvida a energia necessária para a etapa seguinte, e outra a química, onde acontece a fixação do CO<sub>2</sub>. Em muitos livros do ensino fundamental e médio, essas fases são intituladas como clara e escura. Porém estes termos levam ao aluno a imaginar que uma fase ocorre na luz e a outra no escuro, o que não é verdadeiro porque, para que aconteça a química é necessário os produtos da fase luminosa (ATP e NADPH). Assim ambas as fases acontecem durante o período luminoso, o dia.

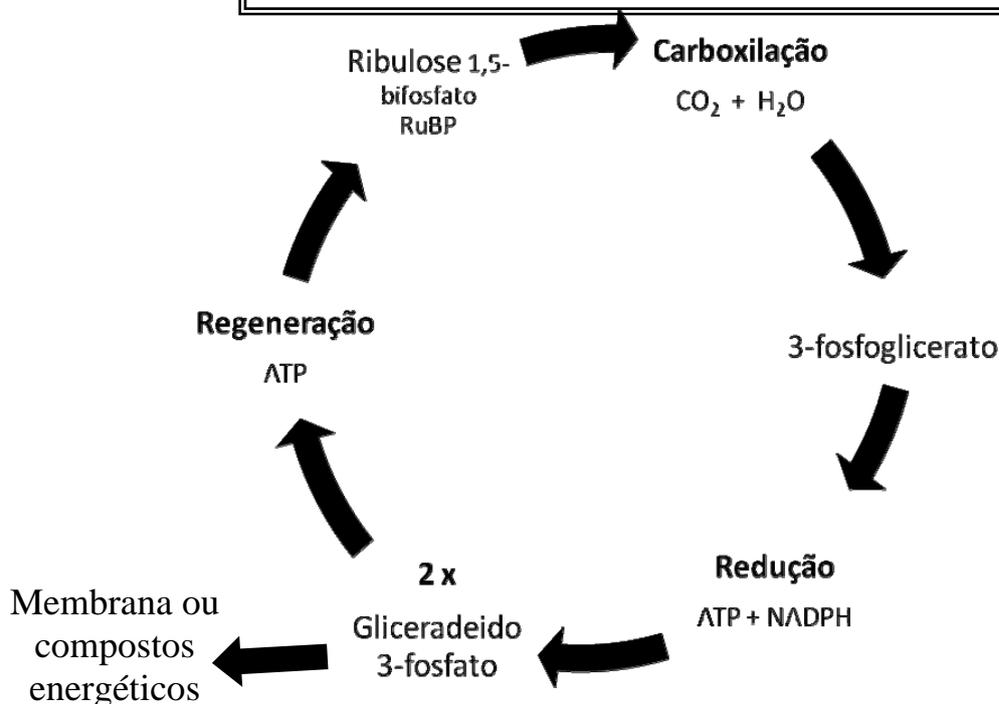


Figura 17. Etapas do Ciclo de Calvin.

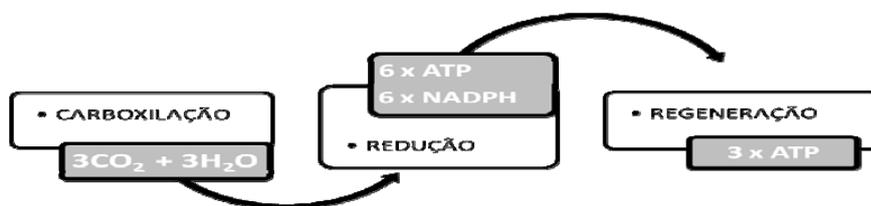


Figura 18. Balanço dos produtos necessários pra fixação de três moléculas de CO<sub>2</sub>.

**3.1 FOTORRESPIRAÇÃO**

A enzima Rubisco cataliza reações de carboxilação. Quando presente em altas concentrações de CO<sub>2</sub>, sua eficiência chega próximo aos 90%. Em condições em que a taxa de

O<sub>2</sub>, esta elevada, o oxigênio passa a competir pelo sítio ativo da Rubisco. Esta competição é possível porque a enzima tem afinidade por CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>.

A reação entre a rubisco e o oxigênio tem como produto o fosfoglicolato, esta substância não pode ser metabolizada facilmente. A recuperação da Rubisco envolve três organelas citoplasmática (cloroplastos, peroxissomos e mitocôndrias). Nessa rota metabólica são consumidos O<sub>2</sub>, e liberados CO<sub>2</sub>, por isso é conhecida como fotorrespiração.

#### 4. MECANISMO C<sub>4</sub> E CAM DE FIXAÇÃO DO CARBONO

O ciclo anteriormente descrito é característico de plantas conhecidas como C<sub>3</sub>, devido ao primeiro composto formado possuir três carbonos (3 – fosfoglicerato). Porém foram descobertas plantas cujo primeiro produto era de quatro carbonos (oxalacetato), denominadas C<sub>4</sub>.

#### :: FIQUE DE OLHO!! ::



##### RELEMBRANDO

Existem diferenças na anatomia das folhas entre as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. Esta última possui uma bainha ao redor dos feixes vasculares, conhecida como bainha de Kranz. Além de um mesofilo sem divisão entre paliçádico e lacunoso.

Ver CB virtual 3 - Anatomia Vegetal.

As plantas C<sub>4</sub> diferem das demais, porque a captação de CO<sub>2</sub> é realizada pela enzima PEP (fosfoenolpirúvico carboxilase) ao invés da rubisco. A diferença está não somente na enzima, mas também no local de captação do CO<sub>2</sub>. Esta absorção ocorre no citosol das células do mesofilo. Nas plantas C<sub>3</sub> como visto anteriormente, essa captação ocorre diretamente nos cloroplastos de todas as células do mesofilo (Figura 19).

Na carboxilação, inicialmente é formado o ácido oxalacético ou oxalacetato, o qual poderá ser transformado em ácido aspártico (por transaminação) ou em ácido málico (com oxidação de NADPH), dependendo do grupo vegetal. Algumas espécies forma aspartato outras malato. A seguir, nas células da bainha, o malato ou aspartato, sofrem descarboxilação. Para as diferentes espécies de plantas C<sub>4</sub> existem três possíveis mecanismos, de acordo com a enzima que catalisa a reação. Todas as vias produzem NADPH e piruvato, além, é claro, de liberarem o CO<sub>2</sub> para o ciclo de Calvin, nos cloroplastos das células da bainha. O CO<sub>2</sub> liberado será incorporado ao ciclo e seguirá todas as etapas, descritas anteriormente para as plantas C<sub>3</sub>.

Por último ocorre a regeneração da PEP e o piruvato liberado retornam às células do mesofilo com a utilização de ATP e Pi.

Neste processo é interessante como a permeabilidade do malato ou aspartato permite a passagem destes para dentro do cloroplasto mas o retorno não é possível, assim a concentração destes produtos pode ser bastante elevada no interior da organela.

A saída do malato ou aspartato, não acontece, somente o ácido pirúvico ou piruvado é permeável as células da bainha, o que facilita seu rápido retorno as células do mesofilo para captação de mais CO<sub>2</sub>.

Levando em consideração somente as moléculas de ATP, a fixação do CO<sub>2</sub> nas plantas C<sub>4</sub> tem um maior custo energético quando comparado com as C<sub>3</sub>. Porém a alta concentração de CO<sub>2</sub> nas células da bainha reduz a fotorrespiração. Esta forma de entrega do CO<sub>2</sub> nas C<sub>4</sub> acaba

sendo vantajosa porque, ao elevar a concentração de  $\text{CO}_2$ , evita a ligação da Rubisco com o oxigênio. A eficiência chega a ser três vezes maior que a  $\text{C}_3$ .

A alta atividade da PEP nas plantas  $\text{C}_4$  permite reduzir a abertura estomática, e assim diminuir a perda de água o que, como visto na unidade anterior, é de grande importância. Assim essas plantas acabam fixando o  $\text{CO}_2$  mais eficientemente, em altas temperaturas.

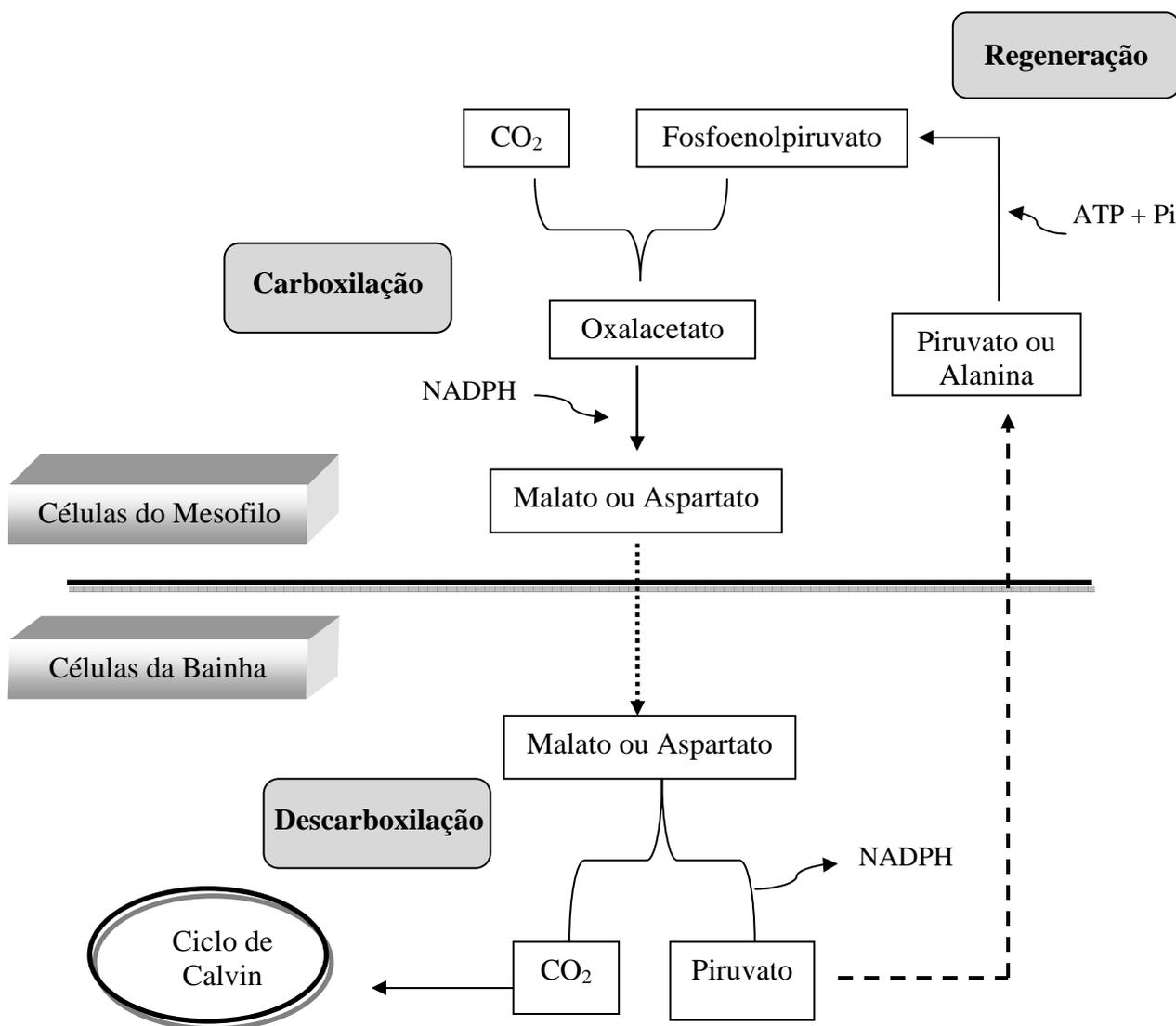


Figura 19. Etapas de absorção de  $\text{CO}_2$  nas plantas  $\text{C}_4$ .

O mecanismo das plantas  $\text{C}_4$  pode ser encontrado em diferentes famílias de angiospermas, entre elas Gramíneas, Cyperaceae, etc. Plantas como o milho, a cana-de-açúcar são exemplos de  $\text{C}_4$ .

Um segundo mecanismo de fixação de  $\text{CO}_2$  é o metabolismo ácido das crassuláceas, conhecido com CAM ou MAC, embora não seja restrito apenas a família Crassulaceae, pois já foi encontrado em cactáceas, euforbiáceas, bromeliáceas, além de algumas Pteridófitas e uma espécie de Gimnospermas.

A forma de captação de  $\text{CO}_2$  é semelhante a  $\text{C}_4$ , porém difere temporalmente. No início o  $\text{CO}_2$  é capturado pela PEP e o malato formado é estocado no vacúolo. Somente durante o dia o malato é então transferido para os cloroplastos para ser finalmente fixado no ciclo de Calvin. Na

estocagem no vacúolo, contra um gradiente de concentração, somente é possível com o gasto de energia (Figura 20).

Nas CAM a carboxilação é noturna, fazendo com que os estômatos encontrem-se abertos no período noturno. A descarboxilação acontece durante o dia, usando o CO<sub>2</sub> captado na noite anterior. Esse mecanismo reduz consideravelmente a perda de água pelo vegetal. Fazendo com que ocorra uma grande economia, já que no período noturno as temperaturas são mais amenas e a transpiração é menor.

No período noturno as concentrações de CO<sub>2</sub> no ambiente são elevadas o que acaba garantido uma maior eficiência na captação deste. Neste período quase todos os organismos estão emitindo CO<sub>2</sub>, pois se encontram em ambiente sem luz.

As plantas CAM podem optar pelo mecanismo C<sub>3</sub> ou CAM, de acordo com as condições ambientais, o que ao longo da evolução deve ter sido vantajoso para estes vegetais na adaptação aos diferentes habitats. E sempre que os valores hídricos do solo são favoráveis ocorre o retorno para o mecanismo C<sub>3</sub>.

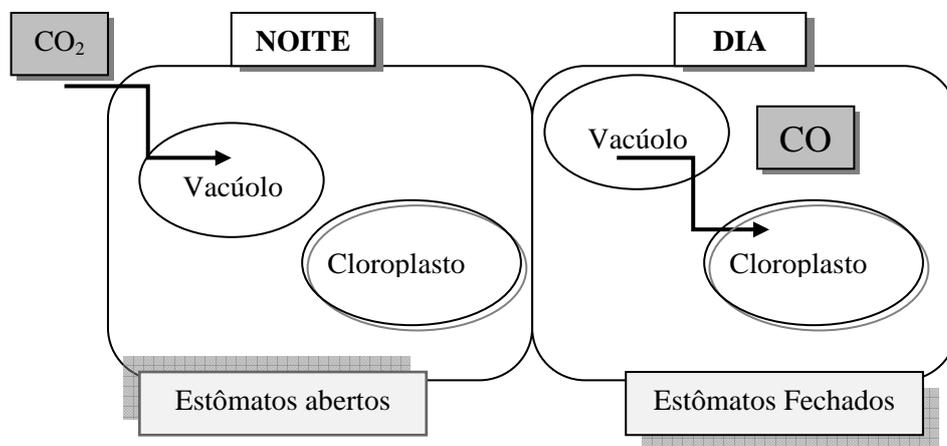


Figura 20. Diagramação da absorção de CO<sub>2</sub> em plantas CAM. Uma variação temporal em relação ao mecanismo das C<sub>3</sub>.

| PRINCIPAIS DIFERENÇAS            |                                   |                                   |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Grupo                            | C <sub>3</sub>                    | C <sub>4</sub>                    | CAM                               |
| Enzima                           | Rubisco                           | PEP, Rubisco                      | PEP, Rubisco                      |
| Absorção de CO <sub>2</sub>      | cloroplastos                      | mesofilo                          | mesofilo                          |
| Fotorrespiração                  | alta                              | baixa                             | baixa                             |
| Ciclo de Calvin                  | mesofilo                          | Bainha de Kranz                   | mesofilo                          |
| Estômatos                        | Abertos – dia<br>Fechados - noite | Abertos – dia<br>Fechados - noite | Abertos – noite<br>Fechados - dia |
| Armazenamento de CO <sub>2</sub> | -                                 | -                                 | vacúolo                           |

## 5. FATORES AMBIENTAIS E A FOTOSSÍNTESE

Vários fatores ambientais influenciam na fotossíntese, entre eles a luz, a temperatura, a concentração de  $\text{CO}_2$  e a água.

Como verificamos anteriormente, os fótons de luz proporcionam a energia necessária para captar o  $\text{CO}_2$ : é que à medida que se aumenta a taxa luminosa, ocorre um aumento linear na absorção. Porém, esta reação estará limitada à quantidade de água, que poderá ser perdida durante a abertura estomática. De maneira semelhante, mesmo existindo água em abundância no solo, a taxa fotossintética estará limitada à luminosidade e às concentrações de  $\text{CO}_2$ .

Com relação ao aumento de temperatura, ocorre um aumento nos produtos fotossintéticos, porém devemos lembrar que a transformação de energia luminosa em química envolve um grande número de enzimas, as quais podem sofrer desnaturação em temperaturas elevadas.

Um aumento de concentração de  $\text{CO}_2$  poderá ser aproveitado quando a luminosidade for favorável, elevando as taxas fotossintéticas. O contrário também é verdadeiro, ou seja, concentrações baixas limitam as taxa dos produtos. A difusão do  $\text{CO}_2$  é essencial na fotossíntese, assim a distribuição nos tecidos do interior das folhas também acaba sendo um fator importante, no melhor aproveitamento do  $\text{CO}_2$ .

O aumento na concentração de  $\text{CO}_2$  dentro da célula pode elevar os processos até o que chamamos de ponto de compensação, ou seja, os valores de  $\text{CO}_2$  consumidos na fotossíntese é maior que o liberado na respiração vegetal. Nesse ponto o vegetal estará retirando o  $\text{CO}_2$  da atmosfera e enriquecendo com  $\text{O}_2$  o ambiente. Condições assim são encontradas em ambientes com plantas em crescimento mais acelerado, como por exemplo, numa floresta jovem.

Em ambientes onde a maioria dos organismos fotossintetizantes é adulta a taxa fotossintética é proporcionalmente menor, pois parte do oxigênio liberado é consumido pela própria planta na respiração celular.

### :: ARREGAÇANDO AS MANGAS!! ::



Roteiro de aula prática:

[http://www.fcav.unesp.br/download/deptos/biologia/durvalina/TEXTO\\_04\\_FOTOSSINTESE\\_EXERCICIO\\_DE\\_PIGMENTOS\\_VEGETAIS\\_PRATICA\\_2004.pdf](http://www.fcav.unesp.br/download/deptos/biologia/durvalina/TEXTO_04_FOTOSSINTESE_EXERCICIO_DE_PIGMENTOS_VEGETAIS_PRATICA_2004.pdf)

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



**IMPORTANTE NÃO ESQUECER!**

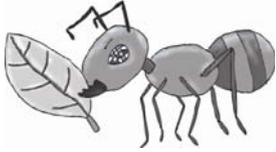
Localização da fase luminosa e química da fotossíntese.

Quais as etapas da fase química.

Principais diferenças entre plantas  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  e CAM.

Como fatores ambientais influenciam na fotossíntese.

**:: HORA DE TRABALHAR!!! ::**



**EXERCÍCIOS**

1. A fase química pode ser dividida em três etapas, cite-as e os respectivos produtos iniciais e finais de cada etapa.
2. Diferencie anatomicamente e bioquimicamente uma planta  $C_3$  de uma planta  $C_4$ .

**BANCO DE IMAGENS**

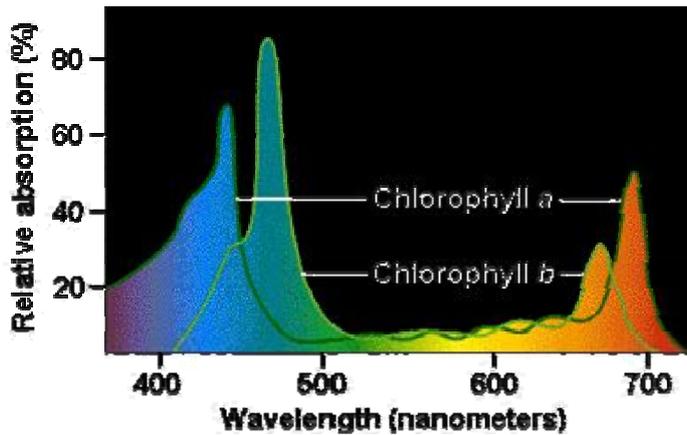


Figura 14: Espectro de absorção da Clorofila a e b.

Fonte:

[http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/FOTOSSINTESE1\\_arquivos/image013.gif](http://docentes.esalq.usp.br/luagallo/FOTOSSINTESE1_arquivos/image013.gif)

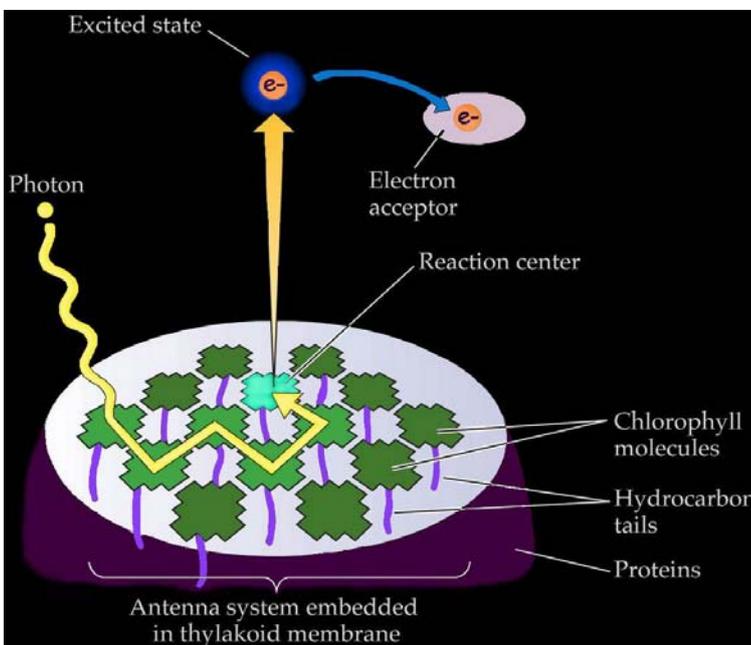


Figura 15: Complexo antena presente na membrana dos tilacóides. Observar a absorção de um fóton e a transferência desta excitação para as moléculas de clorofilas vizinhas, até ser conduzida ao centro de reação. E finalmente transferida para um aceitador.

Fonte:

<http://photos1.blogger.com/blogger/4566/894/1600/antenna-rc-el.jpg>

## UNIDADE 3

### CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO VEGETAL

A planta é um organismo multicelular capaz de realizar diversas atividades metabólicas. Para tanto, é formada por um conjunto de células que possuem uma organização adequada para garantir a sobrevivência do organismo como um todo. E essa complexidade é originada a partir de uma célula inicial, o zigoto, a qual irá crescer e se desenvolver até chegar ao organismo multicelular.

O que ocorre a partir do zigoto é a síntese contínua de moléculas, tornando as células mais complexas, processo chamado de diferenciação celular. A partir do crescimento e da diferenciação celular formam-se os tecidos e órgãos estudados na Anatomia Vegetal.

Uma semente se transforma em uma planta capaz de produzir sementes através do desenvolvimento (crescimento + diferenciação). O crescimento aqui referido significa aumento de tamanho, caracterizado por aumento de volume e número de células.

Podemos separar didaticamente as etapas do desenvolvimento em: divisão crescimento e diferenciação celular. A diversidade de maneiras pelas quais as células realizam as três etapas nos explica a formação dos diversos tecidos.

A região do vegetal responsável pelo crescimento é chamada de meristema, onde ocorrem as divisões celulares. A maioria das estruturas pode ter crescimento contínuo durante toda a vida do vegetal, embora mais lentamente na fase adulta. Ocorrendo, porém a formação de um ramo reprodutivo, este terá crescimento determinado.

#### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEMBRANDO

Meristemas apicais e laterais. Ver CB virtual 3 - Anatomia Vegetal.

O desenvolvimento dos vegetais depende da comunicação entre todas as células de maneira organizada e regulada. Sinais químicos são muito eficientes nestas comunicações no corpo vegetal, e são conhecidos como fitormônios ou hormônios vegetais.

## 1. HORMÔNIOS VEGETAIS

Hormônios vegetais são compostos orgânicos de ocorrência natural, produzidos no vegetal. Pequenas concentrações promovem, inibem ou modificam processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Os fitormônios exercem um papel determinando, funcionando como sinais químicos, altamente específicos nas células. Nos vegetais, diferentemente dos animais, os hormônios podem atuar no próprio local de síntese.

Atualmente podem-se sintetizar alguns hormônios artificialmente. Nesse caso são conhecidos como reguladores de crescimento, embora possuam a mesma estrutura.

Existem cinco grupos principais de hormônios vegetais: as auxinas, as citocininas, as giberelinas, o ácido abscísico e o etileno. Recentemente foi descoberto que, independente do grupo as respostas hormonais podem ser influenciadas por fatores como: a espécie vegetal, a fase do desenvolvimento (do órgão ou indivíduo), a concentração, por fatores ambientais e pela sensibilidade, ou seja, a capacidade de assimilação do sinal (Figura 21). Embora cada grupo promova respostas diferenciadas, como veremos a seguir, as etapas de atuação serão:

1. Proteínas receptoras recebem o sinal (geralmente localizadas na membrana celular);
2. Amplificação do sinal (estimula uma mudança metabólica onde pode-se observar a vários processos).
3. Efeito na atividade gênica (com a ativação ou inativação de alguns genes).

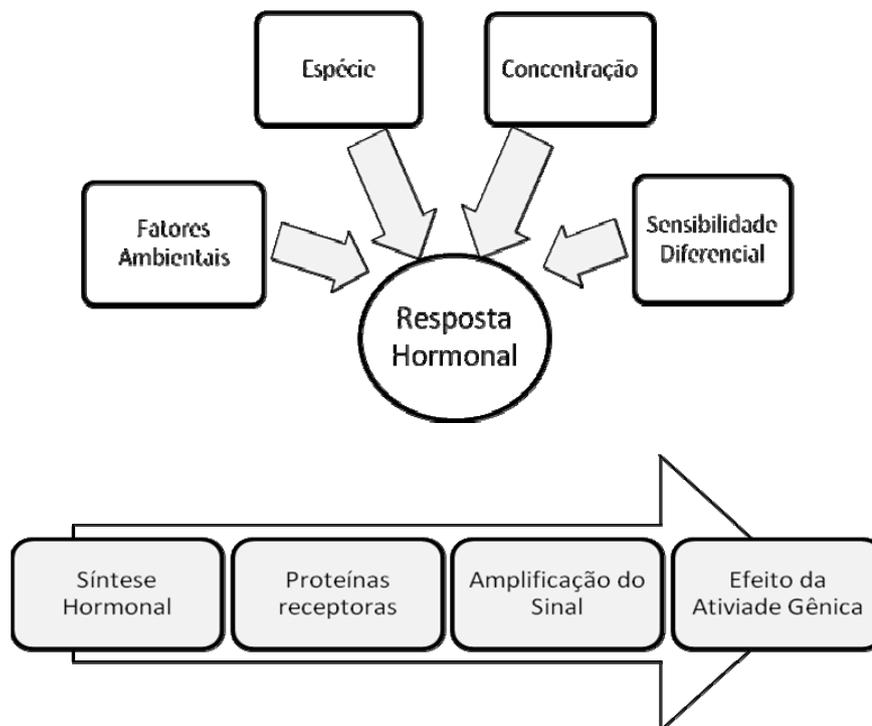


Figura 21. Fatores envolvidos na resposta hormonal e etapas de assimilação da resposta.

## 1.1. AUXINAS

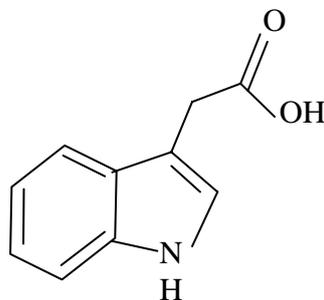
O primeiro hormônio a ser caracterizado é a auxina, a qual possui papel de destaque, tanto pela sua condição histórica da ordem de descobrimento como pela sua função na biotecnologia vegetal.

As auxinas são hormônios vegetais produzidos principalmente nas regiões apicais que, transportados para outros locais da planta, participam do seu crescimento e diferenciação.

Darwin, em 1880, foi o precursor da descoberta das auxinas, quando estudou o fototropismo em coleótilos de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). Somente em 1926 a auxina, responsável pelo fototropismo, foi isolada por Went dos ápices de coleótilos de aveia colocados sobre pequenos cubos de ágar. Após algumas horas esses cubos adquiriram a propriedade de estimular a curvatura de coleótilos decapitados quando colocados unilateralmente, no escuro. Went também observou que a curvatura desses coleótilos era proporcional à quantidade de auxina presente nos cubos de ágar, estabelecendo em teste biológico de ampla utilização. A

primeira auxina isolada foi o ácido indolilacético (AIA), a mais importante que ocorre nas plantas, responsável por numerosos processos biológicos em vegetais.

Já foram descritos vários tipos de auxinas, sendo as mais comuns: AIA – ácido indol-3-acético, PAA - ácido fenilacético, IBA- ácido indolbutírico (Figura 22).



**Figura 22. Estrutura química do ácido indolilacético.**

**Síntese** - O ácido indolilacético é sintetizado a partir do triptofano, tendo três vias e sendo a via mais importante como principais compostos intermediários o ácido 3-indolilpirúvico e o 3-indolilacetaldeído.

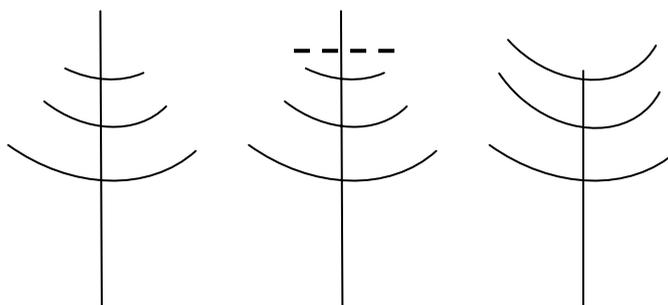
**Local de síntese** - meristemas apicais, folhas jovens, frutos e sementes em desenvolvimento, embora especula-se que todos os tecidos sejam capazes de sintetizar AIA.

**Degradação** - Assim como na síntese existe mais de uma via de degradação. As auxinas são inativadas por enzimas do tipo oxidases (AIA-oxidase e peroxidases), pelo processo de foto-oxidação, além de combinação com ácido aspártico.

**Transporte** – unidirecional ou polar, de maneira lenta e com gasto energético. Através das células de parênquima associado ao sistema vascular. Recentemente foi observado o transporte através do floema de maneira não polar.

#### **Principais efeitos proporcionados pelas auxinas:**

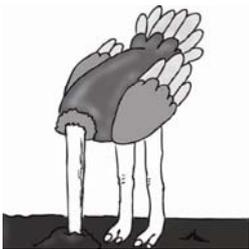
- Dominância apical – inibição do crescimento das gemas laterais pela influencia do gema apical. Quando o ápice apical de um vegetal é retirado, facilmente observamos o melhor desenvolvimento dos ramos laterais. Popularmente este princípio já é conhecido e comumente usado para realizar podas (Figura 23).



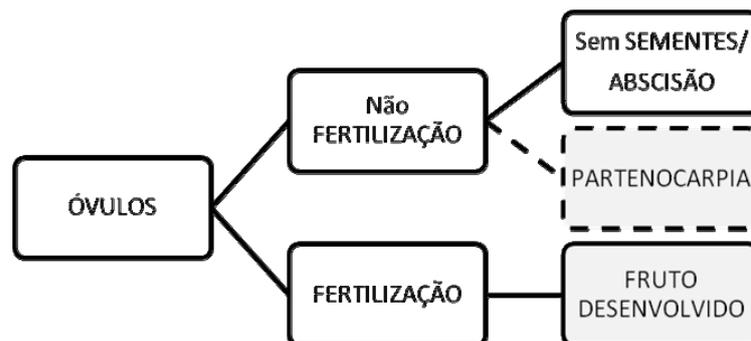
**Figura 23 Desenvolvimento dos ramos antes e depois da retirada do ápice apical. Observar a influencia no crescimento dos ramos laterais antes e depois da retirada do ápice.**

- Alongamento celular – é devido principalmente ao aumento na capacidade de extensão da parede celular, através da indução de transporte de íons para a parede ( $H^+$  e ATPase).
- Diferenciação do tecido vascular.
- Atividade cambial
- Indução de raízes adventícias e laterais – estimula a divisão nas células do periciclo, no qual se origina as raízes laterais.
  - Inibição do crescimento das raízes – embora no caso das raízes laterais e adventícias ocorra a indução, após esta etapa níveis de auxina elevados acabam inibido o crescimento das raízes.
  - Desenvolvimento do fruto / partenocarpia. A partenocarpia é a formação de frutos sem que ocorra a fecundação dos óvulos, portanto sem sementes (Figura 24 – Banco de Imagens e 25). Exemplos de frutos partenocárpico: a banana, tomates sem sementes, pepinos, etc
  - Respostas trópicas (fototropismo, gravitropismo e tigmotropismo os quais serão estudados na unidade seguinte)
    - Estimulação da síntese de etileno (outro hormônio vegetal), esta relação entre a concentração de etileno e auxina, acaba mantendo o órgão ligado a planta. .
    - Evita a abscisão.

**:: FIQUE POR DENTRO!! ::**



Abscisão foliar – queda das folhas, frutos e flores ou outra parte do vegetal, após a formação de uma zona de abscisão.

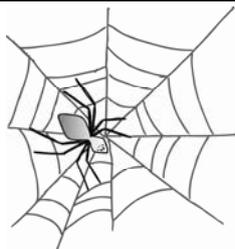


**Figura 25. Mecanismo com a presença de auxina em cinza.**

As auxinas podem ser sintetizadas artificialmente e são bastante utilizadas comercialmente na agricultura. Os primeiros usos foram na década de 50 no século passado para horticultura.

Comercialmente podem ser usadas também como herbicidas. A 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) para controle de plantas invasoras. Este herbicida foi bastante usado durante a guerra do Vietnã para provocar a queda das folhas nas árvores das florestas, popularmente conhecido com agente laranja. Embora extremamente tóxico por sua ação mutagênica ainda continua sendo usada irregularmente em nosso país (Figura 26 – Banco de Imagens).

**:: TA NA WEB!!! ::**



Embora bastante polêmico existem várias fotos ilustrando o uso do agente laranja., facilmente aplicado com auxílio de aviões.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Agente\\_laranja](http://pt.wikipedia.org/wiki/Agente_laranja)

## 1. 2. CITOCININAS

Essa classe hormonal apresenta uma relação estreita com a biotecnologia de plantas, desde de sua descoberta até sua aplicabilidade atualmente. Na década de 40, no século passado, foi observado que o endosperma líquido contém um potente fator de crescimento, o qual agia acelerando o desenvolvimento de embriões, na verdade se tratava de citocina, presente em grande quantidade.

Na década seguinte foi isolada uma substância envolvida no processo a cinetina, com origem artificial. Em um vegetal foi isolada uma citocinina apenas nos anos 70, a zeatina, presente nas sementes de milho. Atualmente são encontradas desde das Angiospermas até as Pteridófitas.

**Síntese** - Compostos derivados de uma base purina (adenina), com substitutos no número 6. Podem atuar livres e sofrer inativação por conjugação e/ou oxidação (Figura 27).

**Local de síntese** – nas raízes, embriões em desenvolvimento, folhas jovens, frutos. Também são sintetizados por nematóides, bactérias e insetos quando associados a vegetais.

**Degradação** – realizada pela enzima citocinina-oxidase e são transformados em nucleotídeos.

**Transporte** - é realizado através do xilema, indo no sentido raiz parte aérea da planta, também sido encontrado citocininas em células do floema, durante a translocação de assimilados de folhas senescentes, para as jovens.

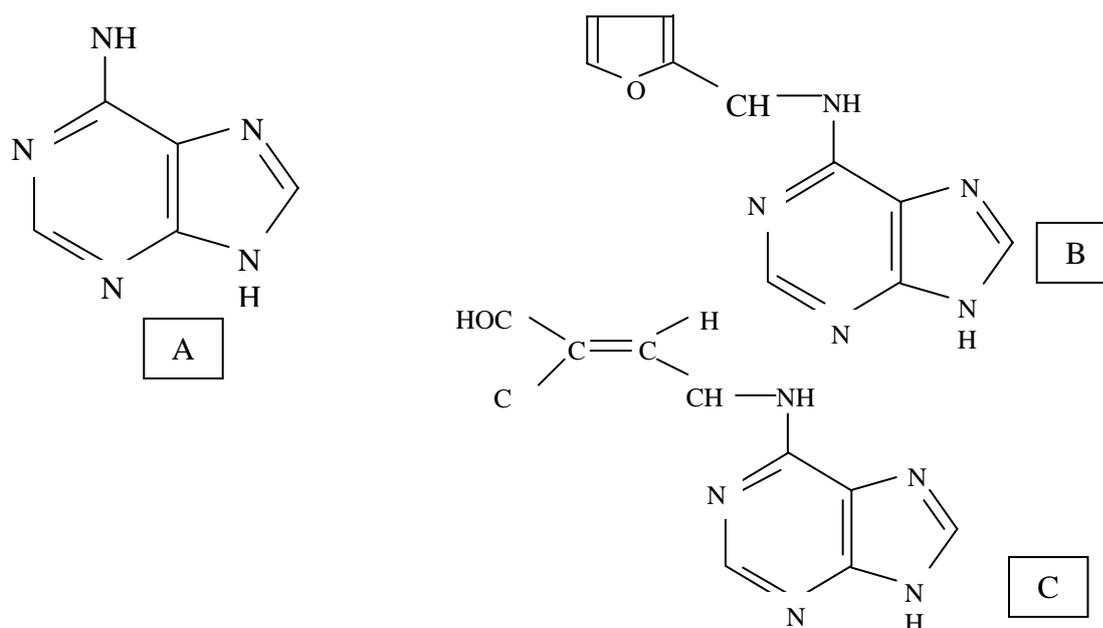


Figura 27. Estrutura química da adenina (a) e de duas citocininas: cinetina (b) e zeatina (c), observar a similaridade entre a base purina adenina.

### Principais efeitos proporcionados pelas citocininas:

- Divisão celular nas partes aéreas e na raiz. Na fase S para a S1 durante a mitose ocorre um pico de produção. A citocinina parece regular a expressão dos genes envolvidos na divisão celular (Figura 28 – Banco de Imagens).
- Quebra de dormência apical com estímulo no desenvolvimento de gemas laterais.
- Retardo da senescência.
- Movimento de nutrientes – influencia no movimento dos nutrientes para a folha de outras partes da planta
  - Desenvolvimento de cloroplastos e síntese de clorofila.
  - Expansão celular em folhas e cotilédoneas.
  - Regulam o crescimento de caules e raízes

#### 1. 2.1. CITOCININAS X AUXINA

Existe uma relação entre a concentração de auxina e citocinina que regula o crescimento de raízes ou partes aéreas. Quando auxina estiver em maior quantidade, promove o crescimento da raiz. Caso contrário, ou seja, a citocinina em maior concentração, promove o crescimento das partes aéreas (Figura 29). Lembrando que o local de síntese e a direção do transporte destes dois hormônios têm sentidos opostos.

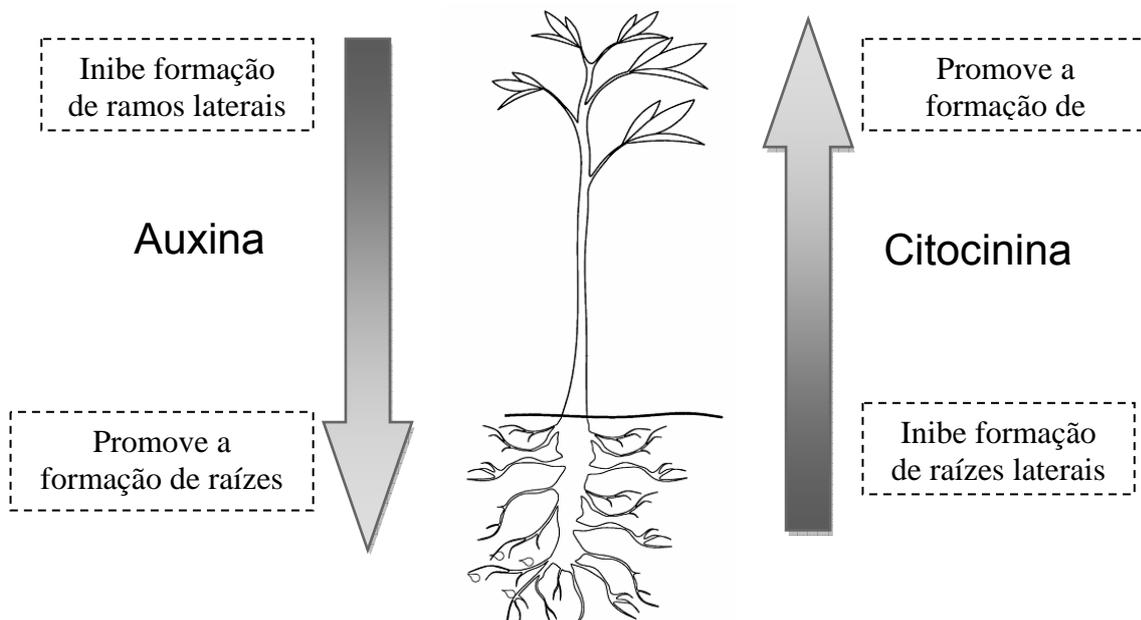
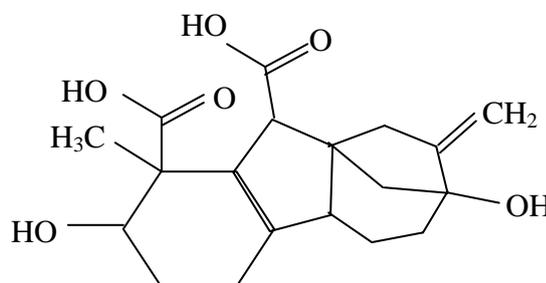


Figura 29. Relação esquemática dos efeitos da concentração de auxina e citocinina nos vegetais. Observar que a concentração diminui na medida em que se distancia do local de síntese.

#### 1.3. GIBERELINAS

As giberelinas foram o segundo hormônio a ser descoberto, no Japão (1930), em plantas de arroz doentes conhecidas como plantinhas loucas, pois cresciam excepcionalmente. Esta doença era causada por um fungo *Gibberella fujikuroi*.

Em 1950 foi isolada uma substância por cientistas britânicos e americanos que isolaram o ácido giberélico (Figura 30). Iniciaram os testes com esta molécula em uma grande variedade de plantas e observaram um crescimento destas, mesmo quando se tratavam de plantas anãs. A partir daí várias substâncias da mesma família química foram descobertas. E hoje já existem cerca de 130 diferentes tipos de giberelinas. Na maioria dos vegetais estão presentes mais de dez tipos diferentes.



**Figura 30. Estrutura química do Ácido giberélico (GA<sub>3</sub>).**

**Síntese** – as giberelinas são compostos dipentenos sintetizados a partir da Coenzima A, como por exemplo, o ácido giberélico. Existem três rotas para síntese das giberelinas. Independente de sua rota a formação está relacionada a fatores ambientais como o fotoperíodo e a temperatura.

**Local de síntese** – nos tecidos jovens do sistema caulinar e em sementes em desenvolvimento.

**Degradação** – a inativação ocorre especialmente em sementes, através de sua ligação (conjugação) com monossacarídeos.

**Transporte** – no floema nas formas conjugadas ou livres. Nas raízes pelo xilema.

#### **Principais efeitos proporcionados pelas giberelinas:**

- Quebra de dormência e promoção da germinação em algumas sementes. Algumas sementes podem apresentar um período de dormência antes da germinação. Este processo será estudado na próxima unidade. Porém as giberelinas são responsáveis pelo fim da dormência e início da germinação.
- Produção de  $\alpha$ -amilase na semente e mobilização de reserva. Esta enzima é responsável pela degradação das moléculas de amido.
- Hiperalongamento do caule, causando o crescimento acelerado, importante para sementes que germinam no escuro e vão em busca da luz (Figura 31).
- Frutificação
- Florescimento de plantas bienais.
- Desenvolvimento de frutos partenocápicos, em condições naturais, embora este hormônio seja utilizado também artificialmente.
- Determinação do sexo das flores, em plantas dióicas.



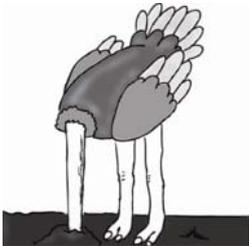
**Figura 31. Plantas tratadas com concentrações crescentes de giberelina. Observar o tamanho do caule nas plantas c e d.**

Fonte: [www.euita.upv.es/.../biologia/Temas/tema\\_14.htm](http://www.euita.upv.es/.../biologia/Temas/tema_14.htm)

As giberelinas, assim como as auxinas possuem aplicações comerciais. Um dos principais usos é no controle do cultivo de frutas e o aumento na produção de açúcar na cana-de-açúcar.

No caso das uvas, a giberelina proporciona um aumento no pedúnculo, o que acaba permitindo que as uvas tenham mais espaço para se desenvolverem (Figura 32 – Banco de Imagens). Além de produzirem frutos sem sementes.

### :: FIQUE POR DENTRO!! ::



#### FIQUE POR DENTRO

Plantas bienais é uma planta que requer dois períodos para completar seu ciclo de vida, ou seja, floresce e frutifica somente no segundo ano de vida.

Plantas anuais são plantas que completam seu ciclo de vida, ou seja, germinam, crescem, florescem e frutificam e morrem em um ano.

Existem ainda as plantas monocápticas que só apresentam um único ciclo reprodutivo em toda a vida, geralmente estas plantas morrem após a floração. Essas plantas podem viver muitos anos antes de florescer. Um exemplo bastante comum é o agave.

Policápticas são plantas que apresentam mais de um ciclo reprodutivo durante a vida.

### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### RELEMBRANDO

$\alpha$ -amilase é uma enzima responsável pela degradação do amido, uma das principais reservas presentes das sementes. Outros tipos de reservas são as proteínas e os lipídios, os quais são degradados por enzimas e rotas metabólicas diferentes.

## 1.4. ÁCIDO ABCSÍCICO

Conhecido como ABA, o ácido abscísico, foi descoberto na década de 60, e foi relacionado com o processo de abscisão, embora hoje se saiba que não possui um papel tão direto.

O ácido está presente em todas as plantas vasculares e é encontrado em todas as células vivas do corpo vegetal. Ocorre também em algas verdes, musgos, e fungos.

A estrutura química do ABA é formada por 15 carbonos semelhante à porção terminal de algumas moléculas de carotenóides. Existe apenas uma forma ativa natural (Figura 33).

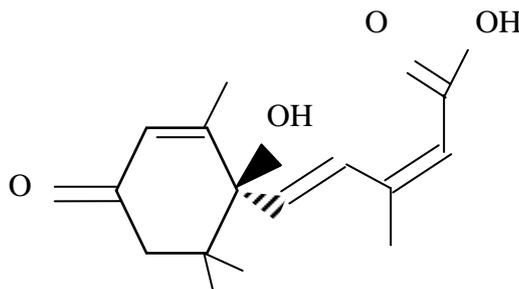


Figura 33. Estrutura química do ácido abscísico.

**Síntese** – existem duas vias de síntese:

- Direta – ácido mevalônico.
- Indireta – degradação de alguns carotenóides de 40 carbonos presentes nos plastídeos, por exemplo, as xantofilas.

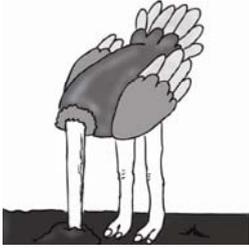
**Local de síntese** – nas folhas maduras, em resposta ao estresse hídrico.

**Degradação** – a inativação ocorre por conjugação ou por oxidação. Especialmente em sementes, através de sua ligação (conjugação) com monossacarídeos.

**Transporte** – No xilema e floema, mas é mais abundante nas células floemáticas.

**Principais efeitos proporcionados pelo ABA:**

- Proteção ao estresse hídrico – através do controle do mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos. Em condições de baixos potenciais hídricos o ABA promove o crescimento das raízes e inibe crescimento da parte aérea. Assim a planta pode ir em busca de mais água no solo.
  - Desenvolvimento de sementes – na etapa final da embriogênese de acúmulo de proteínas de reserva.
  - Inibição do crescimento vegetativo – em plantas de zonas temperadas durante o período de inverno.
  - Promove a tolerância a dessecação – através da promoção de síntese de proteínas.
  - Inibe a ação das giberelinas, e com isso promove o controle da quebra da dormência, embora como iremos estudar na unidade 4, este controle é realizado também por fatores ambientais.
  - Promove a germinação precoce ou viviparidade.

**:: FIQUE POR DENTRO!! ::**

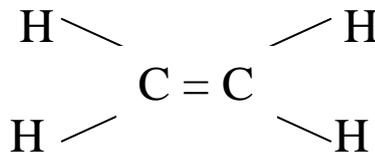
Viviparidade é a germinação precoce das sementes no fruto, quando ele ainda está ligado à planta mãe.

**1.5. ETILENO**

O etileno foi descoberto no século XIX, quando o gás era utilizado nas iluminações públicas. Na Alemanha, observou-se que o vazamento no gás de iluminação provocava a queda foliar.

Demorou muito para ser considerado um hormônio. Isto porque se trata de um gás. Somente após a invenção da cromatografia gasosa pode ser realmente caracterizado como hormônio. É encontrado naturalmente em todos os vegetais, podendo ser sintetizado em qualquer local, variando a taxa de acordo com o tecido e o período do desenvolvimento. Por exemplo, regiões nodais e meristemáticas possuem taxas mais elevadas de produção do que a região do caule.

O etileno é um gás com estrutura química bastante simples, composta de dois carbonos, ligados por uma ligação e quatro átomos de hidrogênio (Figura 34).



**Figura 34. Estrutura química do etileno.**

**Síntese** – é sintetizado através de um aminoácido metionina, a rota é desencadeada por estresse ou auxina. Existem duas vias de síntese:

**Local de síntese** – na maioria dos tecidos em resposta ao estresse hídrico e nos em senescência..

**Degradação** – a inativação ocorre por conjugação ou por oxidação. Especialmente em sementes, através de sua ligação (conjugação) com monossacarídeos.

**Transporte** – ocorre por difusão por se tratar de um gás.

**Principais efeitos proporcionados pelo etileno:**

- Estimula o crescimento em plântulas
- Promove o amadurecimento de frutos. Esta propriedade pode ser facilmente observada quando colocamos laranjas próximas a bananas, pois as laranjas produzem etileno e o mesmo promove a aceleração no amadurecimento das bananas.
- Epinastia das folhas (Figura 35)
- Plantas estioladas
- Quebra de dormência em sementes.
- Formação das raízes e pêlos radiculares.
- Alongamento do caule em espécies aquáticas submersas.

- Defesa de patógenos
- Aumento na taxa de senescência foliar. A promoção da queda foliar devido às concentrações de etileno, está relacionada também aos níveis de auxinas nas folhas.

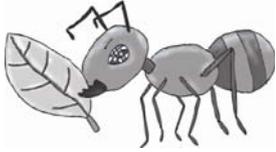


Figura 35. Comparação entre plantas sem tratamento e tratadas com etileno, observar epinastia no segundo vaso.

Fonte: [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/images/Figuras\\_tema14/Figura14\\_23.jpg](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/images/Figuras_tema14/Figura14_23.jpg)

| Hormônio               | Local de Síntese                                       | Estímulo   |
|------------------------|--|--|
| <b>Auxina</b>          | Meristema apical caulinar, sementes em desenvolvimento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento celular</li> <li>• Alongamento dos caules</li> <li>• Formação das raízes</li> <li>• Desenvolvimentos de frutos</li> <li>• Retardam a queda dos frutos</li> <li>• Regulam as respostas trópicas</li> </ul> |
| <b>Citocinina</b>      | Âpice das raízes                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Divisão celular</li> <li>• Desenvolvimento das gemas laterais</li> <li>• Germinação das sementes</li> </ul>   |
| <b>Etileno</b>         | Tecidos em estresse                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amadurecimento de frutos</li> <li>• Abscisão das folhas e frutos</li> </ul>   |
| <b>Ácido abscísico</b> | Folhas maduras, sementes                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fechamento dos estômatos</li> <li>• Abscisão</li> </ul>   |
| <b>Giberelinas</b>     | Tecidos jovens do caule, sementes em desenvolvimento.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento dos caules</li> <li>• Floração em algumas espécies</li> <li>• Desenvolvimento dos frutos</li> <li>• Germinação de sementes</li> </ul>   |

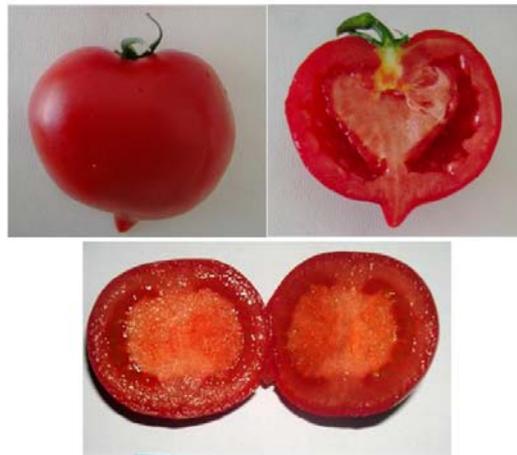
**:: HORA DE TRABALHAR!!! ::**



**EXERCÍCIOS**

1. Escolha dois grupos de hormônios vegetais e responda:
  - a. transporte
  - b. local de síntese
  - c. três efeitos para cada grupo
2. Descreva a relação entre a auxina e a citocinina.

**BANCO DE IMAGENS**



**Figura 24. Partenocarpia no tomate resultante da ação das auxinas.**  
[http://www.ricercaitaliana.it/stdoc/primopiano/pomodoro\\_rev2.jpg](http://www.ricercaitaliana.it/stdoc/primopiano/pomodoro_rev2.jpg)



**Figura 26. Possível ação do uso de agente laranja em área florestal no Mato Grosso.**  
[http://www.oeco.com.br/images/stories/rits/popups/desfolhantes\\_perto\\_gr.jpg](http://www.oeco.com.br/images/stories/rits/popups/desfolhantes_perto_gr.jpg)

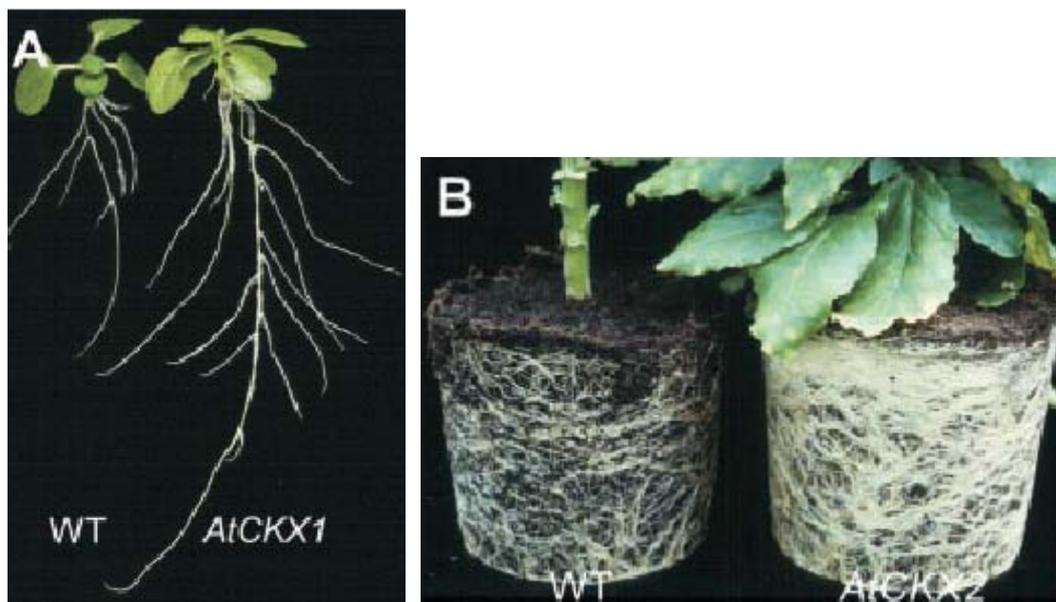


Figura 28. Ação da citocinina promovendo o crescimento das raízes, resultados comparativos entre plantas não tratadas e submetidas a tratamento com citocininas.  
Fonte: <http://www.pnas.org/content/98/18/10487.full>

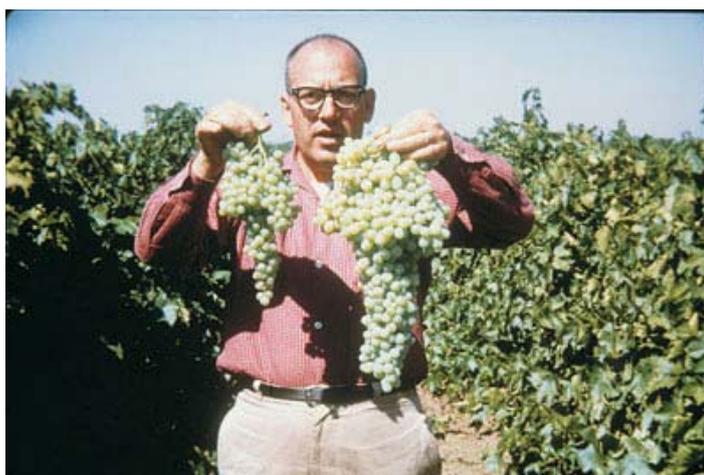


Figure 32. Comparação entre cachos de uvas Thompson's sem e com aplicação de giberelinas. Observar um aumento no tamanho do cacho. (© Sylvan Wittwer/Visuals Unlimited.)  
Fonte: [http://4e.plantphys.net/images/ch20/wt2002b\\_s.jpg](http://4e.plantphys.net/images/ch20/wt2002b_s.jpg)

## UNIDADE 4

### REPOSTAS A ESTÍMULOS PELOS VEGETAIS E GERMINAÇÃO

#### 1. RESPOSTAS A ESTÍMULOS

##### 1.1 MOVIMENTOS EM PLANTAS

As plantas possuem movimento, embora não possam se locomover. A movimentação é pequena e restrita a órgãos como: a raiz, os ramos ou as folhas, e tem como objetivo facilitar a adaptação ao ambiente, conseguida principalmente através de modificações no crescimento.

As respostas podem ser divididas em dois tipos, de acordo com a orientação:

**Tropismo** - quando a resposta é orientada através da direção do estímulo, podendo segui-lo ou ir em direção contrária.

**Nastismo** – a resposta não é orientada através da direção do estímulo.

As respostas podem ocorrer também de forma associada, ou seja, násticas e trópicas ao mesmo tempo.

#### :: FIQUE DE OLHO!! ::



Os estímulos produzidos nos vegetais possuem as seguintes características:

- Mecanismos similares de uma planta com frequência causam respostas diferentes.
- Mecanismos diferentes podem produzir respostas similares e organismos diferentes.

O processo se inicia com a percepção do estímulo, por receptores, provocando uma posterior resposta, através de alterações metabólicas. Independente das características podemos dividir em três etapas as respostas aos estímulos nos vegetais.

**Percepção** – inicialmente ocorre a detecção do estímulo externo, a qual pode ser realizada por um pigmento ou por variações no turgor, por exemplo.

**Transdução** – o estímulo precisa agora ser interpretado, para o órgão como um todo. Neste momento são utilizados sinalizadores químicos, por exemplo, alguns hormônios estudados na unidade anterior. A rapidez na resposta está relacionada com o mecanismo acionado dentro das células.

**Resposta** – esta etapa é caracterizada pela visualização da resposta traduzida externamente, como mudança na direção do crescimento do caule, em busca da luz (Figura 36)

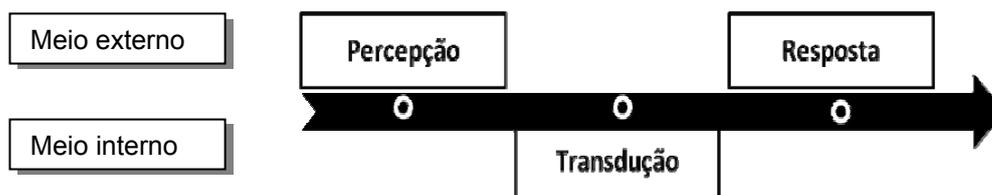


Figura 36. Etapas das respostas nos vegetais.

### 1.1.1.TROPISMO

O tropismo, como definido anteriormente, é uma resposta a um estímulo, mas a direção desta resposta pode ser a favor deste – tropismo positivo ou na direção contrária – tropismo negativo.

Existem diversos tipos de tropismo, dentre os quais encontramos o fototropismo, gravitropismo, tigmotropismo, quimiotropismo. Cada um possui características próprias, conforme tabela abaixo.

| Tropismo              | Efeito  |
|-----------------------|---|
| <b>Fototropismo</b>   | Crescimento direcionado pela luz pode ser positivo ou negativo.                 |
| <b>Gravitropismo</b>  | Crescimento direcionado pela força gravitacional pode ser positivo ou negativo. |
| <b>Tigmotropismo</b>  | Crescimento diferencial orientado pelo contato físico.                          |
| <b>Quimiotropismo</b> | Crescimento diferencial em relação ao gradiente de alguma substância química.   |

Os primeiros estudos sobre tropismo foram realizados por Charles Darwin (1880), observando a orientação do crescimento dos coleóptile de alface em direção a luz. Ele observou que ao retirar ou cobrir a extremidade o processo não mais acontecia. Darwin não conseguiu explicá-lo totalmente.

Posteriormente vários pesquisadores, entre eles Went e Jensen, repetiram os experimentos de Darwin e conseguiram descobrir que ao direcionar a fonte de luz, ocorre um movimento lateral da auxina em direção ao lado sombreado, onde estimula o alongamento da celular.

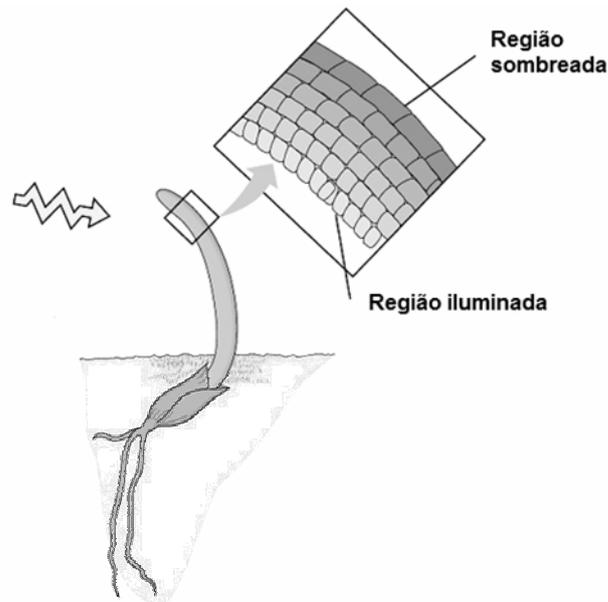
Desta maneira se sabe que a iluminação unilateral induz a redistribuição de auxina endógena nas proximidades do ápice. As células do lado sombreado seriam estimuladas ao crescimento. Essa resposta é conhecida como **fototropismo**. Geralmente as partes aéreas dos vegetais tem fototropismo positivo e as raízes fototropismo negativo.

A resposta fototrópica é desencadeada pela luz azul. Estudos indicam que esta percepção deve ser sentida principalmente pelo pigmento flavina, sensível a comprimentos de onda entre 400 e 500 nm.

Outro tropismo muito comum no crescimento vegetal é o **gravitropismo**, estimulado pela ação da gravidade, responsável pelo direcionamento do crescimento das raízes na maioria das plantas. Se uma plântula for colocada horizontalmente, sua raiz crescerá para baixo e a parte aérea para cima.

Semelhante ao fototropismo, o gravitropismo pode ser positivo ou negativo. Porém aqui a parte aérea cresce contrária ao estímulo, assim é gravitropismo negativo e a raiz positiva (Figura 37).

A raiz é mais sensível a auxina. O aumento na sua concentração no lado inferior acaba inibindo a expansão das células, resultando na curvatura para baixo, porque as células do lado de cima se expandem mais rapidamente que as do lado de baixo. Além do gradiente de auxina, no gravitropismo aparentemente o  $\text{Ca}^+$  também está envolvido na resposta trópica.



**Figura 37. Crescimento direcionado pela luz, em cinza o gradiente de auxina distribuído nas células do coleóptile.**

Na maioria dos livros didáticos de ensino médio, o gravitropismo é tratado como sinônimo de geotropismo. Porém, este último está relacionado às questões de solo, ou seja, são estímulos dados por partículas de solo que influenciam o crescimento da raiz.

O **tigmotropismo** é resultante do estímulo dado pelo contato do vegetal com um objeto sólido. São comuns em plantas que possuem gavinhas, como as cucurbitáceas, por exemplo o jerimum. As raízes ou gavinhas destas plantas conseguem se enrolar nos mais variados suportes. A resposta parece ser dada de forma que o lado que entra em contato com o objeto, para seu crescimento, e lado oposto continua a crescer.

O **quimiotropismo** é o crescimento em relação a um estímulo químico. Um exemplo bastante importante é o crescimento do tubo polínico em direção ao óvulo nas flores. Substâncias como glicoproteínas e lipoproteínas direcionam este crescimento (Figura 38 – Banco de Imagens). Quimicamente o mecanismo ainda não foi totalmente descrito, mas se sabe que íons de  $K^+$  estão envolvidos diretamente no processo.

Outro exemplo é o crescimento das raízes em direção a água que alguns autores descrevem como hidrotropismo.

Movimentos trópicos são fáceis de ser observados através de experimentos simples, além de facilmente visíveis na natureza, por isso são bastante explorados no ensino de botânica de modo geral.

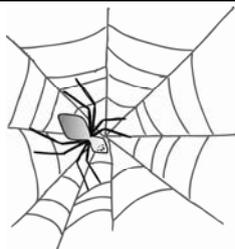
## :: ARREGAÇANDO AS MANGAS!! ::



### NA PRÁTICA

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7979>

**:: TA NA WEB!!! ::**



Movimento nos vegetais

<http://plantsinmotion.bio.indiana.edu/plantmotion/starthere.html>

[http://www.youtube.com/watch?v=zctM\\_TWg5Ik&feature=fvw](http://www.youtube.com/watch?v=zctM_TWg5Ik&feature=fvw)

### 1.1.2 NASTISMO

Neste tipo de movimento a direção do estímulo não interfere na resposta. A direção é dada pelas características anatômicas e morfológicas do vegetal que recebe o estímulo. Tais alterações podem ser definitivas ou reversíveis. Dois grupos distintos de nastismo separados pela natureza do estímulo:

Separados pelo crescimento diferencial – epinastismo, hiponastismo e termonastismo  
 Variações de turgor – nictinastismo, hidronastismo e tigmomastismo

| Nastismo             | Efeito  |
|----------------------|---|
| <b>Epinastismo</b>   | Crescimento do órgão para baixo, independente do direcionamento da luz. |
| <b>Termonastismo</b> | Movimento induzido por temperatura.                                     |
| <b>Hidronastismo</b> | Enrolamento das folhas em resposta o estresse hídrico.                  |
| <b>Nictinastismo</b> | Resposta a variação de turgor provocando o fechamento das folhas.       |
| <b>Tigmomastismo</b> | Resposta a um estímulo mecânico.  |

O **epinastismo** é o crescimento de um órgão para baixo, geralmente observado nas extremidades de pecíolos e folhas. A curvatura é resultante do crescimento maior do lado superior que do inferior. A resposta é induzida por elevadas concentrações dos hormônios auxina ou etileno.

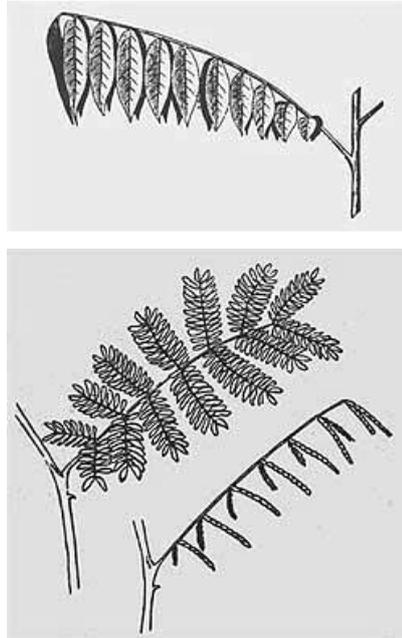
A epinastia pode ser revertida pelo **hiponastismo**, ou seja, o crescimento do órgão para cima, porém quem normalmente atua neste caso são as giberelinas.

O **termonastismo** é o movimento induzido por variações de temperaturas, resulta na alteração das duas superfícies do órgão e diferentemente da epinastia, é irreversível. Facilmente observado na abertura e fechamento de flores. Algumas espécies, porém respondem a outros estímulos externos como será abordado mais a frente.

**Hidronastismo** corresponde ao enrolamento das folhas à falta de água (estresse hídrico), muito comum em espécies de gramíneas. Existe uma relação entre a economia na perda de água por estas espécies ao realizar o fechamento das folhas.

O movimento é devido à variação no volume das células presentes na epiderme, conhecidas como buliformes. Estas ao perderem água acabam reduzindo o turgor, o que ocasiona o dobramento da folha.

O **nictinastismo** (*nyctos* – grego ‘fechamento’) é o movimento das folhas com relação à luz (Figura 39). Durante o dia assumem a posição horizontal facilitando a captação de luz e durante a noite a vertical. Ele tem sido um dos movimentos mais estudados nos vegetais desde a antiguidade. Além disso, comumente encontrado em espécie da nossa região como o feijão.



**Figura 39. Exemplos de nictinastimo em folhas**

Fonte: [http://www.abmt.org.br/trad\\_bio.pdf](http://www.abmt.org.br/trad_bio.pdf)

O mecanismo do nictinastismo somente foi descrito em 1980, e indica que este movimento é resultante do movimento reversível de turgor das células do pulvino, onde são encontradas as células extensoras responsáveis pela variação de pressão e conseqüentemente pelo movimento.

O movimento do **tigmonastismo** é o movimento nástico em resposta a estímulos mecânicos. Muitos de nós já tivemos oportunidade de tocar em uma espécie de leguminosa bastante comum conhecida como “sensitiva” (*Mimosa pudica* L.) a qual ao ser tocada as folhas rapidamente se fecham (Figura 40 – Banco de Imagens).

O fechamento das folhas parece ser uma forma de proteção contra ataque de herbívoros, porém a função adaptativa ainda não está totalmente esclarecida. O estímulo provoca uma reação de variação na concentração das células do pulvino, semelhante ao nictinastismo.

Existem dois possíveis mecanismos que tentam explicar a resposta tão rápida ao estímulo nestas espécies, um químico e outro elétrico. Porém ainda não totalmente esclarecidos.

## 1.2 RITMOS CIRCADIANOS

Todos os organismos presentes no planeta Terra estão submetidos a ciclos diários de dia e noite, os quais influenciam no comportamento desde a bactéria até seres humanos. Tais oscilações obedecem a intervalos regulares de aproximadamente 24 horas e são conhecidas

como ritmos circadianos (cerca de um dia). Exemplos de ciclos diários nos vegetais estão ligados a uma série de processos biológicos comuns, como a abertura das flores, movimentos foliares, fotossíntese, etc.

As oscilações endógenas se mantêm mesmo quando estes organismos são submetidos a condições ambientais diferentes, como por exemplo, submetidos a escuro contínuo, os ciclos persistem. Ficando clara a existência de um ritmo endógeno, uma espécie de relógio biológico.

Os estudos sobre os ritmos biológicos tiveram início bem cedo na história da humanidade, no século 40 a.C., com a descrição dos movimentos de *Tamarindus indicus* L., ao final do dia, posteriormente Candolle (1832), observa que o período de movimento foliar de *M. pudica* era consideravelmente menor que 24 horas.

Em 1979, Jean-Jacques notou que os movimentos da folha de feijão continuavam mesmo no escuro, conforme o experimento Figura 41. A continuidade demonstrou uma espécie de memória, na qual as plantas mantinham os movimentos. Esses movimentos se repetiam como em um ciclo.

Após vários estudos vêm sendo realizados, buscando o entendimento destas repetições, mas já estão caracterizados alguns termos comuns, aos vários ciclos biológicos nos vegetais.

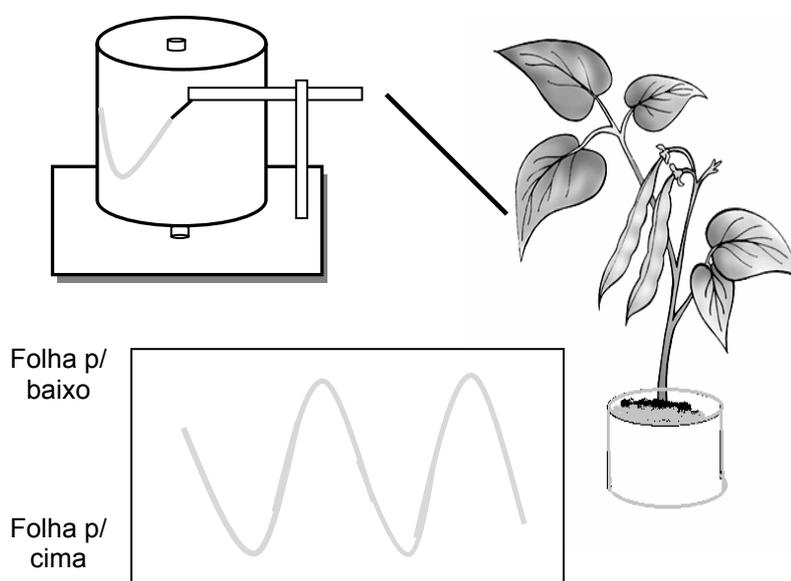
#### Características dos ritmos:

**Período** – é o tempo necessário para completar o ciclo, o tempo entre dois pontos comparáveis dentro do ciclo.

**Fase** – qualquer ponto que pode ser relacionado ao restante do ciclo.

**Amplitude** – a diferença entre os picos e os mínimos nos ciclos.

A amplitude de um ciclo pode variar, mas o período permanece sem alterações.



**Figura 41. Registro dos movimentos ritmos da folhas do feijão, submetida à ausência de iluminação.**

### 1.3 RESPOSTAS FOTOPERIÓDICAS

Além de sua importância para atividade fotossintética a luz também tem um papel determinante para o desenvolvimento morfogênético do vegetal. Ao longo do ano o comprimento do dia muda e algumas estações se caracterizam por dias mais longos e noites mais curtas, tais variações são sentidas por vários organismos. As plantas por não apresentarem deslocamento conseguem se adaptar as mudanças e em muitos casos se antecipam as variações ambientais de luz., ao logo das estações do ano. Tais mudanças são conhecidas como variações fotoperiódicas.

O **Fotoperiodismo** é a resposta biológica a uma modificação nas proporções de luz. Um dos principais efeitos do fotoperiodismo é o florescimento, ou seja, a mudança da fase vegetativa para a fase reprodutiva (Figura 42 – Banco de Imagens). O florescimento é uma alteração crítica no ciclo das plantas, crucial para a produção de frutos e sementes. O período de amadurecimento de frutos deve estar vinculado ao de dispersão das sementes.

As plantas conseguem perceber as mudanças no comprimento do dia e da noite, durante as estações do ano. Estas mudanças desencadeiam vários processos reprodutivos e vegetativos nas plantas. Algumas plantas só florescem em condições específicas de comprimento do dia, elas são ditas **fotoperiódicas**.

O pigmento receptor da luz responsável pela percepção na variação do comprimento do dia é o fitocromo, uma proteína de alto peso molecular. No vegetal ocorrem duas formas intercambiáveis (ativo e inativo).

O fitocromo absorve radiação dentro das faixas do vermelho (500 a 660nm de comprimento de onda) e vermelho distante (600 a 700nm de comprimento de onda), assumindo alternadamente duas estruturas distintas simbolizadas por **P<sub>660</sub>** e **P<sub>730</sub>**. Durante o dia, o fitocromo se converte de P<sub>660</sub> a P<sub>730</sub>, se acumulando nesta forma. À noite, na ausência de luz, ele reverte o processo e se acumula na forma de P<sub>660</sub>, conforme o esquema abaixo (Figura 43):

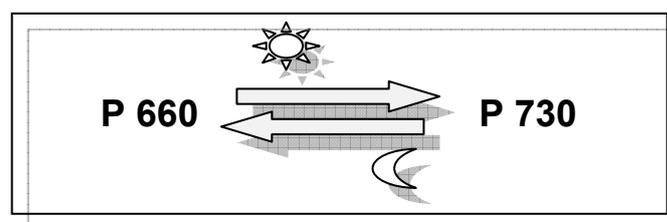


Figura 43. Esquema de conversão do fitocromo. ☀ Dia ; ☾ Noite.

Em dias curtos a forma P<sub>660</sub> se acumula por um longo tempo, induzindo as plantas de dias curtos a florescerem, e o acúmulo de P<sub>730</sub> também vai ser responsável pelo mesmo mecanismo nas plantas de dias longos.

As plantas podem ser então classificadas de acordo com a sua resposta fotoperiódica como:

**Plantas de dias curtos (PDC)** – florescem apenas em dias curtos ou têm florescimento acelerado em dias curtos.

**Plantas de dias longos (PDL)** - florescem apenas em dias longos ou têm florescimento acelerado em dias longos.

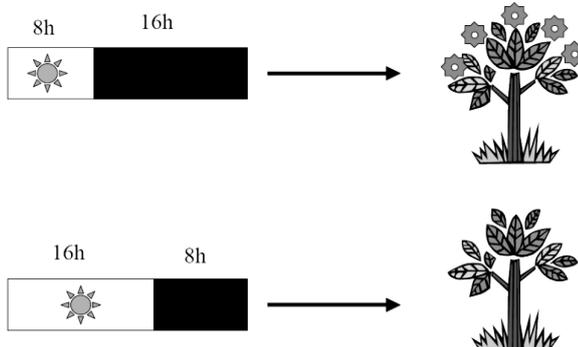
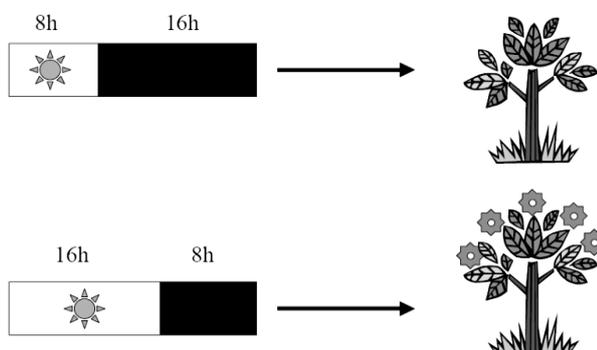
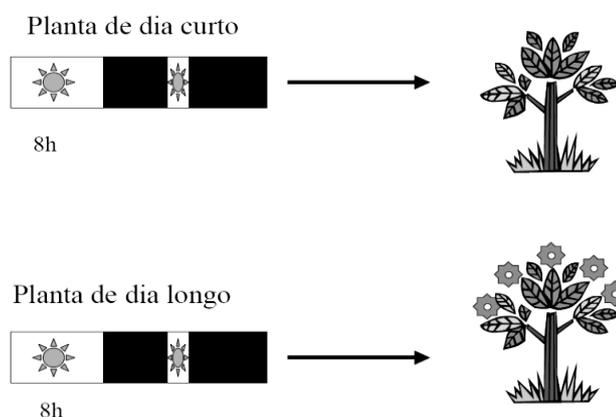
**Plantas de dias neutros (PDN)** – florescem em qualquer condição fotoperiódica.

**Observação:**

Dias longos são caracterizados por apresentarem um período de escuro máximo 8 horas.

Dias curtos apresentam períodos de luz solar no máximo de oito horas.

Um detalhe importante é que o período de escuro é determinante para algumas espécies, e desencadeia a floração. Quando plantas de dias curtos e longos são submetidas a condições fotoperiódicas diferentes ambas floresceram: PDC quando submetidas a períodos maiores de luz, florescem; as PDL quando submetidas a um período de longo, de maneira descontínua, florescem. E finalmente quando plantas de dias curtas são submetidas à quantidade de luz indicada, mas o período de escuro é quebrado, a floração não ocorreu (Figura 44).

**PLANTAS DE DIAS CURTOS****PLANTAS DE DIAS LONGOS****INTERRUPÇÃO DO PERÍODO DE ESCURO:**

**Figura 44. Controle da floração induzido pelo escuro.**

O fitocromo está envolvido em outras respostas do vegetal, entre elas a germinação, processo que será descrito mais a frente. Em plântulas o alongamento rápido do caule e a coloração esbranquiçada, somente mudaram quando captar a luz, para formação dos plastídios este estímulo é captado pelo fitocromo.

Estudos também indicam uma relação entre as formas de fitocromo e o acúmulo de amido, em algumas plantas. Esta estocagem pode ser resultante de adaptação, pois o período de floração demanda uma grande quantidade energética.

### 1.4.1 VERNALIZAÇÃO

A vernalização é a indução ou aceleração da floração por temperatura baixa. Em geral, as plantas de inverno anuais são vernalizadas, ou seja, exposta ao frio, como plântulas, enquanto as plantas bianuais são após a primeira estação de crescimento.

Para várias espécies a vernalização pode estar associada ao fotoperiodismo, e somente com estes dois fatores a floração ocorre.

## 2. GERMINAÇÃO

### 2.1 DESENVOLVIMENTO DA SEMENTE

A semente compreende uma unidade reprodutiva que tem um grande potencial fisiológico e genético para a formação de um novo vegetal. Na disciplina Biologia e Sistemática de Plantas Vasculares foram caracterizadas as partes da semente (cbv 3 – Capítulo 3).

Iremos apenas recordar as características do ciclo reprodutivo das angiospermas para entender o desenvolvimento da semente.

A flor compreende a estrutura reprodutiva das angiospermas. A unidade masculina está formada pelo estame e este é constituído de antera, conectivo e filete. Nas anteras há a produção de grãos de pólen que contém o gameta masculino (Figura 45). Inicialmente ocorre a meiose das células mãe dos micrósporos ( $2n$ ), formando os micrósporos ( $n$ ). Posteriormente estes micrósporos sofrem mitose dando origem aos grãos de pólen.

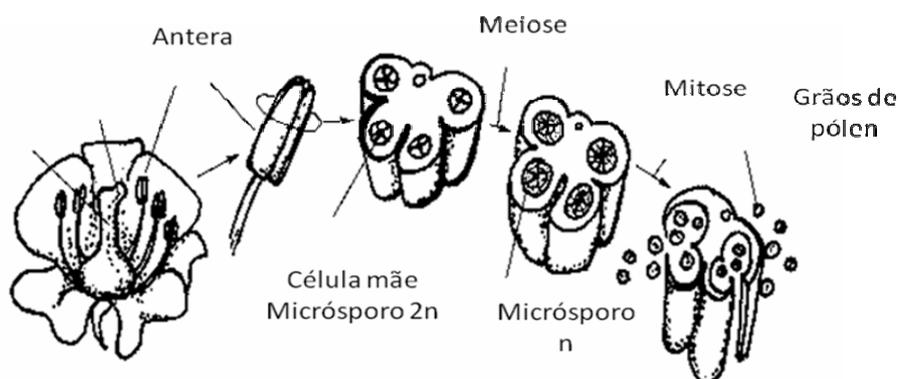


Figura 45. Formação dos grãos de pólen.

A estrutura feminina é chamada de gineceu e está representada pelo estigma, estilete e ovário. É no ovário que estão os óvulos que irão conter o gameta feminino ou saco embrionário.

Na seqüência as células mãe do megáporo ( $2n$ ), sofre meiose e origina quatro células. Porém somente uma é funcional (Figura 46). A seguir, na célula do megásporo ( $n$ ), ocorrerão três mitoses consecutivas (1-2-4-8), porém sem a citocinese, ou seja a separação das células. Assim teremos uma célula com oito núcleos. Três núcleos irão migrar para a micrópila, três para extremidade oposta e dois irão permanecer na região central.

As paredes celulares serão formadas e agora teremos sete células e oito núcleos, pois as do centro permanecem  $2n$  (Figura 46b). Na extremidade oposta à micrópila se formam as antípodas. Na região da micrópila se formam a oosfera (geralmente no meio) e as sinérgides. Ao centro pode-se visualizar os núcleos polares.

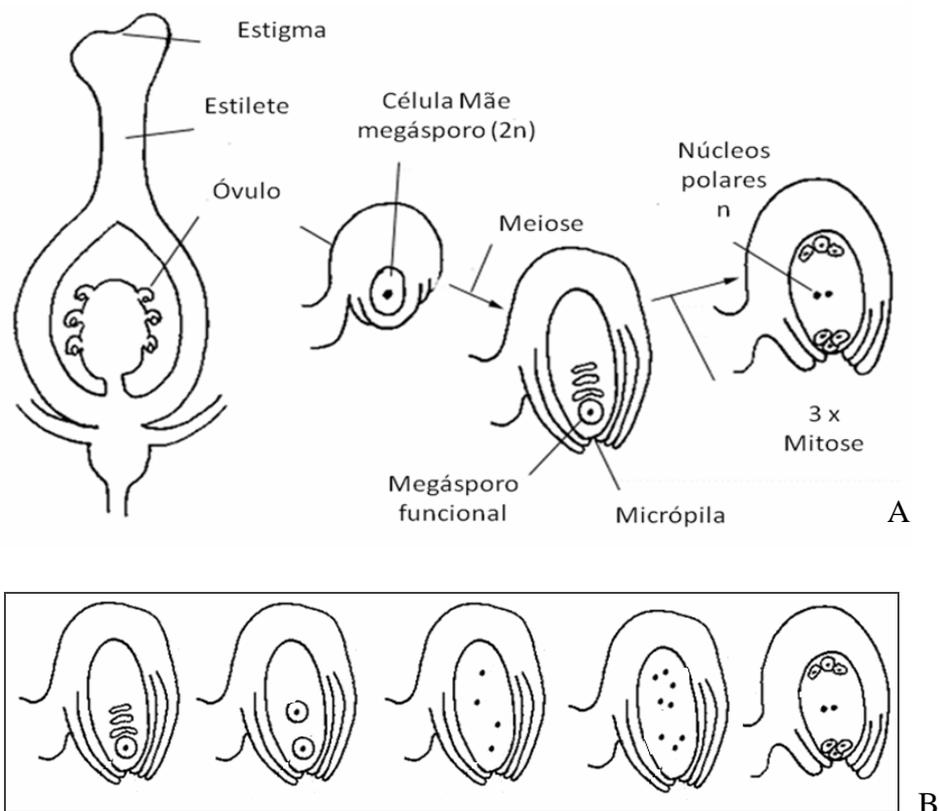


Figura 46. A. Formação do saco embrionário. B. Detalhe das mitoses.

Quando os grãos de pólen chegam até o estigma, há a formação de tubos polínicos que levam o gameta masculino até o óvulo, havendo a fecundação deste com o gameta feminino. Descrevemos esta etapa quando estudamos quimiotropismo.

O grão de pólen germina no estigma, ocorre uma divisão e são formados dois núcleos espermáticos ( $n$ ). O primeiro núcleo ( $n$ ) penetra no saco embrionário através da micrópila e **fecunda** a oosfera ( $n$ ), em seguida o outro ( $n$ ) irá **fecundar** os núcleos polares ( $2n$ ). Ocorre portanto uma dupla fecundação uma da oosfera e outra dos núcleos polares. No saco embrionário irão desenvolver a semente formada pelo embrião (oosfera + núcleo espermático =  $2n$ ) e pelo endosperma (núcleos polares + espermáticos =  $3n$ ).

**:: FIQUE DE OLHO!! ::****RELEMBRANDO**

Ciclo de vida das angiospermas cb Virtual 2 – Biologia e Sistemática de Plantas Vasculares.

Observar também características das sementes.

O endosperma ou albume é um tecido que acumula reservas nutritivas que irão nutrir o embrião até posteriormente à sua germinação. Em algumas sementes, como no feijão, por exemplo, o endosperma está representado nos cotilédones.

Após a fecundação ocorre o desenvolvimento da semente que geralmente é dividido em três fases: a histodiferenciação, a maturação e a dessecação.

**Histodiferenciação ou embriogênese** – é caracterizada pela formação de novos tecidos que irão formar o embrião. Nessa fase acontece intensa síntese de DNA e uma elevada taxa divisão celular. Ao final ocorre um aumento de matéria fresca da semente.

A finalização da primeira fase é identificada com a suspensão da síntese de DNA e da atividade mitótica de divisão.

**Maturação** – nesta fase acontece o aumento no volume, devido à expansão celular e a deposição de reservas. Tais reservas podem ser proteínas, carboidratos e/ou lipídios. O aumento no volume é dado também pela captação de água.

**Dessecação** – é caracterizada pela redução no metabolismo e do teor de água da semente. A matéria seca substitui a água nas células.

Algumas espécies podem apresentar sementes que não desenvolvem a etapa de dessecação. Após a maturação, ainda na planta-mãe, a semente é dispersa e germina rapidamente, mantendo o seu teor hídrico elevado.

**:: FIQUE DE OLHO!! ::**

Sementes quiescentes são sementes que ao encontrar condições ambientais ideais germinam.

Sementes dormentes são sementes que embora se encontrem em condições ambientais ideais não germinam.

**2.2 PROCESSO DE GERMINAÇÃO**

As sementes germinam quando as condições são favoráveis para o crescimento e elas não apresentam dormência. A primeira exigência é disponibilidade de água.

A germinação tem início com a absorção de água pelas sementes. A seguir ocorre ativação metabólica e o crescimento do eixo embrionário. A absorção é conhecida como embebição. Inicialmente ocorre a entrada de água (fase I), depois existe um intervalo para que

ocorra ativação do metabolismo (fase II) e somente posteriormente a finalização da germinação com o crescimento (fase III) (Figura 47).

As transformações iniciadas com a embebição nas sementes e encerradas com a emissão da radícula caracterizam a nova etapa do ciclo a fase chamada de plântula. Para os fisiologistas nesta fase se encerra a germinação. Na fase III ocorre a mobilização de reservas que serão utilizadas para garantir o estabelecimento da plântula.

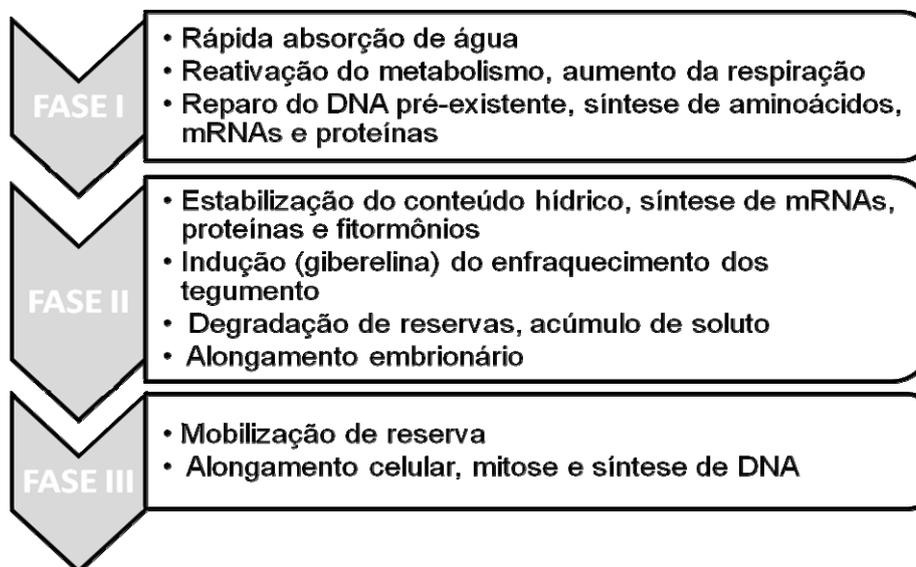


Figura 47. Seqüenciamento dos acontecimentos do processo de germinação.

### 2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA GERMINAÇÃO

O processo de germinação para o vegetal é responsável pela formação de uma nova planta. O sucesso está diretamente relacionado com a escolha do tempo ideal para o início do processo, no qual como já falamos após iniciar deve ser concluído para obter êxito. Com isso obter a garantia do completo desenvolvimento de todas as etapas anteriormente descritas é o primeiro desafio da nova planta.

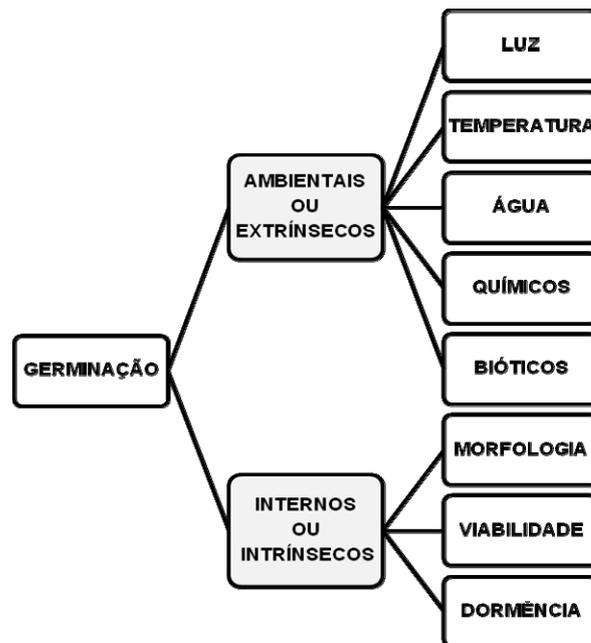
A germinabilidade das sementes, ou seja, a capacidade de germinar e velocidade de germinação (conhecida como vigor) são influenciadas por fatores ambientais. Ao longo da evolução a adaptação as variações ambientais estão presentes em todas as fases do ciclo de vida do vegetal, incluindo a germinação.

No ambiente estão presentes barreiras as quais podem dificultar ou impedir uma semente de germinar. Estas podem ser de origem biótica ou abiótica, e na maioria dos casos atuam de maneira simultânea.

Diversos fatores são responsáveis pelo êxito no processo germinativo, extrínsecos e intrínsecos ao vegetal (Figura 48). Os quais podem ser encontrados antes ou após a dispersão da semente.

**Fatores extrínsecos ou ambientais:** luz, temperatura, água, químico e biótico.

**Fatores intrínsecos ou internos:** morfologia, viabilidade e dormência.



**Figura 48. Fatores que influenciam na germinação de sementes.**

Os fatores extrínsecos podem influenciar na germinação quando a semente ainda se encontra na planta-mãe, ou seja, pré-dispersão, como a luz, temperatura e água. A luz em muitos ambientes é considerada como fator limitante para a distribuição dos vegetais, mesmo em ambientes tropicais onde é presente o ano todo. Sementes localizadas em camadas mais baixas do solo germinam quando expostas rapidamente a luz. Existem sementes que não germinam na presença de luz fotoblásticas positivas outras são fotoblásticas negativas e certas espécies são indiferentes.

Nas sementes a temperatura pode tanto induzir como quebrar a dormência. Em espécies de zonas temperadas, a temperatura é importante para promover a quebra de dormência. A maioria das espécies germinam entre 25°C e 35°C. No cerrado brasileiro, por exemplo, após o período de fogo várias espécies iniciam a germinação. O estímulo do fogo é dado de forma indireta, pois se entrar em contato direto a semente geralmente morre.

Características morfológicas das sementes e/ou frutos são importantes para a liberação da semente (Figura 49 e 50 — Banco de Imagens). Além da dispersão outros fatores ambientais também são determinantes como os fatores químicos. Várias espécies para impedir o estabelecimento de novas plantas próximas, liberam substâncias químicas que impedem a germinação de sementes. Tal mecanismo pode ser direcionado às próprias sementes ou a qualquer uma. Um bom exemplo é a algaroba, espécie comum em nosso estado.

As sementes sofrem influências dos organismos vivos, além do ambiente físico. Animais conseguem remover tegumentos, fungos liberam substâncias que aceleram a germinação, formigas transportam sementes para locais com condições mais favoráveis a germinação, etc. Questões bióticas e a germinação de sementes são bastante complexas e podem unir vários mecanismos relacionados evolutivamente.

As características morfológicas das sementes como: tamanho; consistências do tegumento são importantes na relação de vigor e estabelecimento de plântulas. A massa da semente, por exemplo, parece estar diretamente envolvida com a quantidade de reserva e quanto maior a quantidade de reserva, maiores as possibilidades sucesso germinativo.

A capacidade de manter-se viável, ou seja, de conseguir germinar quando as condições se tornarem adequadas, é importante no estabelecimento dos diversos grupos vegetais (pioneiras e tardias) nos ecossistemas.

As plantas assim como os animais investem bastante energia no processo reprodutivo, com objetivo de dispersar suas sementes o mais longe possível da planta-mãe. Para tanto é necessário que a escolha do momento da germinação esteja compatível com os vários fatores os quais possam influenciar.

A presença de um ou mais fatores discutidos anteriormente quando não adequados a germinação, acabam funcionando como bloqueadores da germinação. Porém as sementes possuem bloqueadores internos, os quais impedem a germinação, e tornam a semente temporariamente inviável. Este processo é reversível e a semente pode ser reconduzida a germinar em seguida.

A dormência pode ser dividida em dois tipos a primária e secundária. A primária já se encontra na semente após a maturação, ainda na planta-mãe. A secundária quando a semente já está no ambiente, geralmente após o contato com os fatores ambientais.

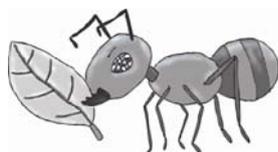
### :: FIQUE DE OLHO!! ::



#### IMPORTANTE NÃO ESQUECER!

Conceito germinação, ritmos circadianos, fotoperiodismo  
Diferenças entre nastismo e tropismo.  
Etapas germinação.  
Fatores envolvidos na germinação.

### :: HORA DE TRABALHAR!!! ::



#### EXERCÍCIOS

1. Caracterize plantas de dias curtos, longos e neutros, não se esqueça de falar das vantagens ecológicas desta diversidade de ritmos.
2. Diferencie tropismo e movimentos násticos, exemplifique cada um.
3. Considere as seguintes características de uma espécie tropical de Angiosperma:

Angiosperma:

- I. É capaz de completar seu ciclo vital numa estação de crescimento mais curta.
- II. O florescimento independe do fotoperíodo a que a planta fica submetida.
- III. A semente possui inibidores de germinação, de ação específica para outros tipos de sementes.

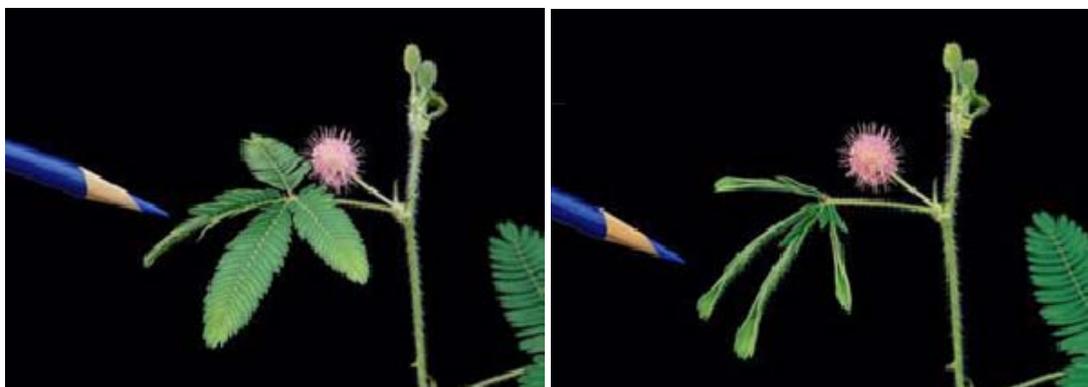
Se essa planta for introduzida numa região de clima temperado, não lhe seria(m) teoricamente desfavorável (desfavoráveis):

- |                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| a. apenas I.                       | b. apenas I e II. |
| c. apenas II e III                 | d. apenas I e III |
| e. as características I, II e III. |                   |

**BANCO DE IMAGENS**



**Figura 38. Quimiotropismo - crescimento tubos polínicos em direção ao óvulo.  
L. Alvino & ZGM Quirino**



**Figura 40. Mimosa pudica respondendo a estímulo mecânico.  
Fonte: <http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/aulas/Teoria-26.pdf>**



**Figura 40. Fenofases reprodutiva do Ipê amarelo, geralmente de forma sincrônica entre os indivíduos da mesma população.**

**Fonte: <http://causasefeitos.zip.net/images/ipe.jpg>**



**Figura 49. Semente dispersão pelo vento (anemocoria), observar a presença de alas.**  
**ZGMQuirino.**



**Figura 50. Fruto carnoso do mandacaru disperso por animais (zoocoria), observar a presença de polpa comestível.**

**ZGMQuirino.**

**REFERÊNCIAS**

- FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. Germinação – do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323p.
- KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2004. 452p.
- LACHER, W. Ecofisiologia Vegetal. Ed. Editora Rima. 2000.
- NULTSCH, W. Botânica geral. 10ª Ed. Editora Artmed. 489p. 2000.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHORN, S. E. Biologia Vegetal. 7ª Ed. Editora Guanabara Koogan. 2006.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Fisiologia vegetal. Trad. de V. G. Velázquez. Mexico: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994. 759p
- TAIZ, L. ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. Trad. Eliane Romano Santarém... [et al.] – 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

Caro aluno. O Cadernos CB Virtual 5 que você está recebendo agora, série produzida especialmente para dar suporte bibliográfico inicial a vocês estudantes do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas à Distância, dá aqui, continuidade aos estudos da flora através do conteúdo da Fisiologia Vegetal. Da mesma forma, em relação aos estudos da fauna com o conteúdo de Fisiologia humana e Animal Comparada. Somando aos estudos da flora e da fauna já iniciados anteriormente os conhecimentos de Ecologia Básica contidos no volume 3, lançamos agora um olhar sobre os problemas ambientais discutidos em Tópicos Atuais em Ecologia. Os conhecimentos adquiridos em Biologia e Fisiologia Celular juntamente com aqueles da Bioquímica Estrutural e Metabólica junto aos de Genética Molecular serão de enorme utilidade para que você possa acompanhar aqui o conteúdo de Princípios de Análise Genética. O conteúdo de Biologia de Microorganismos e também o de Parasitologia II servem de introdução ao conteúdo de Imunologia III aqui abordado. Finalmente, por tratar-se de um livro voltado para um curso de Licenciatura, os fundamentos do fazer pedagógico discutidos no volume 4, através do conteúdo da Didática, tem continuidade nos conteúdos de Metodologia e Instrumentação para o Ensino das Ciências Naturais e de Estágio Supervisionado I – Ensino de Ciências Naturais na Escola de Ensino Fundamental. Esperamos que este volume seja bastante útil e inspirador e você possa acompanhar bem o desenrolar deste semestre. Bons estudos.