

Anaize Borges Henriques
Cecilia Maria Rizzini
Fernanda Reinert

Botânica II





Fundação

CECIERJ

Consórcio **cederj**

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

Botânica II

Volume 3 - Módulo 2

Anaize Borges Henriques
Cecília Maria Rizzini
Fernanda Reinert



SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ministério
da Educação



Apoio:



Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo
à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Rua Visconde de Niterói, 1364 – Mangueira – Rio de Janeiro, RJ – CEP 20943-001

Tel.: (21) 2334-1569 Fax: (21) 2568-0725

Presidente

Masako Oya Masuda

Vice-presidente

Mirian Crapez

Coordenação do Curso de Biologia

UENF - Milton Kanashiro

UFRJ - Ricardo Iglesias Rios

UERJ - Cibele Schwanke

Material Didático

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO

Anaíze Borges Henriques

Cecília Maria Rizzini

Fernanda Reinert

Eliana Schwartz Tavares (convidada)

Renata Bacellar (convidada)

COORDENAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL

Cristine Costa Barreto

DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL E REVISÃO

Anna Carolina da Matta Machado

Marcia Pinheiro

COORDENAÇÃO DE LINGUAGEM

Maria Angélica Alves

REVISÃO TÉCNICA

Marta Abdala

Departamento de Produção

EDITORA

Tereza Queiroz

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Jane Castellani

COPIDESQUE

Nilce Rangel Del Rio

REVISÃO TIPOGRÁFICA

Patrícia Paula

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Jorge Moura

PROGRAMAÇÃO VISUAL

Sanny Reis

Yozo Kono

ILUSTRAÇÃO

André Dahmer

Eduardo Bordoni

Jefferson Caçador

CAPA

Eduardo Bordoni

PRODUÇÃO GRÁFICA

Patricia Seabra

Copyright © 2005, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Nenhuma parte deste material poderá ser reproduzida, transmitida e gravada, por qualquer meio eletrônico, mecânico, por fotocópia e outros, sem a prévia autorização, por escrito, da Fundação.

H719b

Henriques, Anaíze Borges.

Botânica II. v. 3 / Anaíze Borges Henriques; Cecília Maria Rizzini; Fernanda Reinert. – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

224p.; 19 x 26,5 cm.

ISBN: 85-7648-041-7

1. Fisiologia vegetal. 2. Etileno. 3. Ácido abscísico. 4. Reprodução vegetal. 5. Biotecnologia vegetal. 6. Biodiversidade. I. Rizzini, Cecília Maria. II. Reinert, Fernanda. III. Título.

CDD: 581

2009/2

Referências Bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador
Sérgio Cabral Filho

Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia
Alexandre Cardoso

Universidades Consorciadas

**UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**
Reitor: Almy Junior Cordeiro de Carvalho

**UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO**
Reitor: Ricardo Vieiralves

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Reitor: Roberto de Souza Salles

**UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO**
Reitor: Aloísio Teixeira

**UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL
DO RIO DE JANEIRO**
Reitor: Ricardo Motta Miranda

**UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO**
Reitora: Malvina Tania Tuttman

SUMÁRIO

Aula 20 – Como as plantas crescem e o que regula o crescimento? _____	7
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 21 – O que são e quais são os hormônios de plantas? As auxinas: O primeiro hormônio _____	27
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 22 – As citocininas e giberelinas _____	47
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 23 – Etileno e Ácido Abscísico _____	61
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 24 – Dormência e germinação _____	79
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 25 – Dormência e germinação - Aula prática _____	95
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 26 – As plantas e a luz _____	101
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 27 – As plantas e a luz — Aula prática _____	125
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 28 – As plantas nos diferentes ambientes: será que as aparências enganam? _____	131
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 29 – Biotecnologia vegetal: as modernas tecnologias que se utilizam de seres fotossintetizantes _____	151
<i>Anaize Borges Henriques / Fernanda Reinert</i>	
Aula 30 – A conservação da biodiversidade _____	181
<i>Anaize Borges Henriques / Cecília Maria Rizzini</i>	
Aula 31 – A "dura vida" de uma planta _____	199
<i>Fernanda Reinert</i>	
Referências _____	221

Como as plantas crescem e o que regula o crescimento?

AULA

20

Meta da aula

Apresentar ao aluno os conceitos de crescimento e de desenvolvimento em plantas e o mecanismo de regulação desses processos.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Descrever como as células vegetais crescem.
- Correlacionar o crescimento celular com o crescimento do organismo.
- Dar exemplos dos mecanismos associados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas.

Pré-requisitos

Para melhor entendimento desta aula, você deverá conhecer a unidade estrutural básica do organismo que estudamos – a célula vegetal – assunto da Aula 5 de Botânica I e também os tecidos responsáveis pela produção de novas células – os meristemas – que discutimos na Aula 6 de Botânica I. Também é relevante lembrarmos o processo de formação das células do xilema, discutido na Aula 8 de Botânica I, por se tratar de um evento de diferenciação celular bastante importante, que será citado nesta aula.

INTRODUÇÃO

Durante o desenrolar das disciplinas de Botânica, discutimos uma série de fenômenos que são característicos dos vegetais, bem como a diversidade metabólica, morfológica e funcional que esses organismos possuem. Agora vamos nos ater aos padrões de crescimento e desenvolvimento que resultam no estabelecimento desses organismos e o garantem em um dado ambiente. Ora, você já sabe que os diferentes tipos de vegetais possuem alternância em seu ciclo de vida: uma fase em que não há produção de estruturas de reprodução, ou seja, de crescimento vegetativo, e uma fase reprodutiva, onde as estruturas aparecem. De certa forma, também os animais passam por essas duas fases durante a vida, que já conhecemos bem, até porque a vivenciamos e estudamos. Nossos corpos, após a maturação sexual, ficam completamente diferentes, e uma série de mecanismos hormonais distintos entram em funcionamento. Após o nascimento, nós já possuímos os sistemas que garantem o estabelecimento e também a maturação de nosso organismo, como o sistema neuro-imuno-endócrino, respiratório etc. Então, como o organismo do vegetal cresce e se desenvolve?

O QUE É CRESCIMENTO E O QUE É DESENVOLVIMENTO?

Quando você observa uma semente germinando, o embrião que está dentro dela vai formar uma pequena planta e depois uma grande árvore: ocorre, então, um aumento de tamanho. Ora, esse aumento no volume do corpo é resultado do aumento do tamanho das células e/ou do número de células, que implica ganho de massa. Essa é a definição mais comum de CRESCIMENTO: aumento de volume e ganho de massa. Mas esse mesmo aumento de volume corporal também é acompanhado por um aumento na complexidade do organismo; ou seja, os diferentes tipos celulares que estão presentes no corpo do indivíduo adulto são resultado de processos de especialização celular, que é chamado DIFERENCIAÇÃO. Assim, por exemplo, as células da epiderme, que têm a função de revestir o corpo da planta, são diferentes daquelas que fazem a condução de água no xilema, ou das que realizam a condução da seiva elaborada no floema, que por sua vez, são diferentes das células do estômato; assim sendo, funções fisiológicas diferentes são realizadas por células metabólica e morfológicamente diferentes.

Desenvolvimento = crescimento + diferenciação

Após a diferenciação, as células-filha aumentam muito de tamanho em relação a célula meristemática que lhes deu origem; ao contrário do que ocorre nas células maduras, as células-filha crescem graças à pressão gerada pela água e tornam-se altamente vacuolizada. Lembre-se de que a célula meristemática praticamente não tem vacúolo e, se o tem, ele é muito pequeno em relação à área total da célula. Esse processo de expansão da célula é o principal responsável pelo seu crescimento e também é denominado ALONGAMENTO CELULAR. Assim, podemos dizer que as células vegetais crescem por alongamento.



Alongamento celular: a expressão original em inglês, *elongation*, está relacionada à capacidade da célula de aumentar de tamanho sem se dividir.

Quando o crescimento e a diferenciação ocorrem, temos o DESENVOLVIMENTO; ele é o resultado da diferenciação celular que forma os tecidos e órgãos do indivíduo e estabelece o crescimento, pelo aumento do tamanho e/ou do número dessas células. Como tais processos obviamente resultam na alteração da forma, o desenvolvimento também é conhecido como Morfogênese, palavra de origem grega que significa *morpho* = forma e *genesis* = origem. Mas lembre-se de que nos animais, grande parte do processo de diferenciação ocorre na fase embrionária, enquanto os vegetais deixam tecidos com grande capacidade de diferenciação em seus corpos adultos, que são os meristemas, que você já estudou na Aula 6 de Botânica I. Assim, os vegetais mantêm, durante seus ciclos de vida, a capacidade morfogênica, de formar continuamente novas estruturas em seu corpo.

Ao fazermos tal afirmação – de que as plantas possuem a capacidade de formar continuamente novas estruturas – podemos, erroneamente, imaginar que o crescimento e o desenvolvimento ocorreriam de maneira desordenada. E o que verificamos na Natureza? Cada espécie de planta tem um modo, um padrão de crescimento e desenvolvimento! Esse padrão é o resultado das informações genéticas que caracterizam a espécie e é fortemente afetado pelas condições ambientais. Em diversos momentos das disciplinas de Botânica nos reportamos ao caráter sésstil da planta, quer dizer à sua incapacidade de deslocamento; assim, quando ocorrer uma limitação ambiental, a planta deverá ser capaz de se ajustar a essa nova condição para sobreviver, e, muitas vezes, ela o faz reduzindo o crescimento, como você verá na Aula 31.

Então, quais são os fatores responsáveis pela regulação do padrão de crescimento e desenvolvimento em plantas? Tanto em animais como em vegetais, o crescimento e o desenvolvimento devem ser controlados, e o são, por relações muito intrincadas entre fatores internos dos organismos e fatores externos do ambiente. Os fatores internos que controlam a morfogênese são os hormônios, que você irá estudar nas aulas subsequentes (Aulas 21 a 23). Guarde sua curiosidade até lá e vamos agora discutir quais os padrões que as plantas usam para crescer e depois, então, passaremos aos tipos de hormônios de plantas que regulam esses padrões e suas principais funções fisiológicas.



As plantas possuem uma característica em seu padrão de crescimento que os animais não possuem: durante a vida, o corpo do indivíduo ainda possui estruturas potencialmente embrionárias – os meristemas de raiz e de parte aérea, responsáveis pela formação dos tecidos e órgãos que o compõem. Assim, nos vegetais, o crescimento e, especialmente, a diferenciação de novas estruturas ocorrem ao longo da vida. Já nos animais, a maioria dos eventos de diferenciação celular ocorre na fase embrionária e reprodutiva e seus corpos adultos são mantidos, preferencialmente, por crescimento das células.

Antes de passarmos ao próximo tópico, faça a atividade a seguir:

ATIVIDADE



1. Marque verdadeiro (v) ou falso (f) nas afirmativas abaixo:

- () o crescimento resulta exclusivamente do aumento do número de células;
- () após a diferenciação, as células adquirem características distintas daquelas que lhes deram origem;
- () os processos de crescimento e diferenciação celular não ocorrem juntos; primeiro a célula cresce e depois se diferencia.

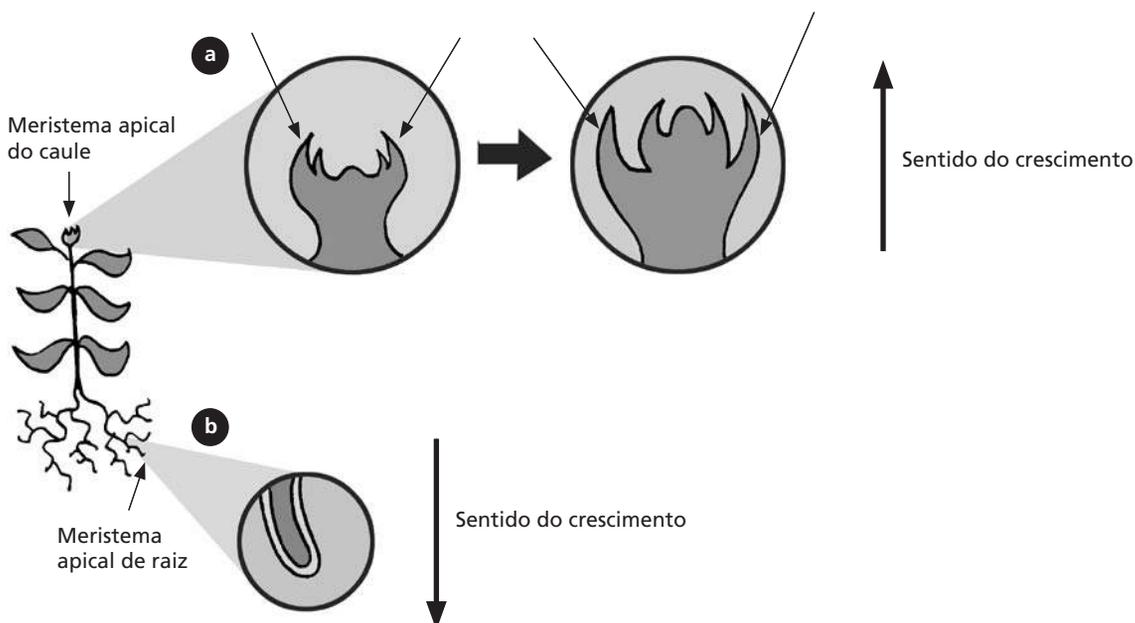
RESPOSTA

Vamos então conferir suas respostas: somente a opção b é correta, visto que as células-filha são diferentes das células-mãe, no processo de diferenciação. No caso da opção a faltou incluir o alongamento celular, que possibilita o crescimento da célula sem que necessariamente ocorra a divisão celular, o que também auxilia no ganho de massa. Já a opção c é uma afirmativa muito radical, pois a concorrência desses processos em conjunto é conhecida por desenvolvimento; além disso, nas células meristemáticas, ocorre exatamente o oposto: após a divisão, células-filha diferentes, que posteriormente irão crescer. Caso você tenha se confundido em algumas das opções, não se preocupe, releia o item anterior ou contate o tutor.

AS CÉLULAS MERISTEMÁTICAS E A MANUTENÇÃO DO PADRÃO DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS

Na Aula 6 de Botânica I, você já estudou os diferentes tipos de meristemas que as plantas possuem. Você já sabe que o meristema apical, por exemplo, é composto por células com vacúolo muito pequeno ou ausente, protoplasma denso, paredes finas, isodiamétricas; por tudo isso são chamadas indiferenciadas. Já o meristema de raiz forma o sistema radicular (**Figura 20.1**). Essas regiões meristemáticas são capazes de se automanterem e de se auto-regenerarem e também de formar o corpo da planta. Assim as células meristemáticas se dividem e produzem os tipos celulares já diferenciados; e essas células, após formadas, irão se alongar ou crescer sem se dividir.

- a** A atividade meristemática faz com que as novas células sejam colocadas abaixo da região do meristema fundamental e, assim, a parte aérea cresce em altura. Novos primórdios foliares são constantemente produzidos e, à medida que a parte aérea sobe, as novas folhas originadas a partir dele vão sendo liberadas.

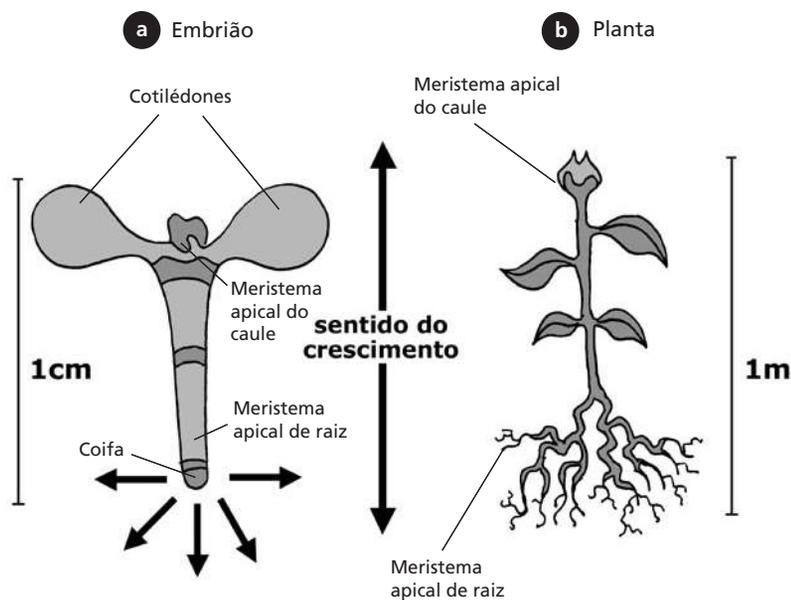


- b** O mesmo ocorre com o meristema de ápice de raiz, em sentido inverso. As novas células produzidas pelo meristema são colocadas acima dele e a estrutura cresce para baixo.

Figura 20.1: O meristema apical do caule e o meristema apical da raiz e a formação do corpo da planta. (a) O meristema apical do caule coloca novas células abaixo dele, fazendo com que a parte aérea cresça para cima; (b) já no meristema apical da raiz as novas células são produzidas acima da região meristemática, e a raiz cresce para baixo.

Assim, você também já sabe que alguns tipos de meristemas são formados já no embrião e, por isso, são chamados meristemas primários, como o meristema do ápice da parte aérea e o meristema da raiz. Mas de onde vem o embrião? Você também já estudou a fusão das células sexuais, que forma o zigoto, que é unicelular e que irá se dividir originando o embrião propriamente dito. Este processo, denominado embriogênese, representa o início do desenvolvimento vegetativo da planta.

Repare que, nas plantas, a embriogênese não forma necessariamente todos os tecidos e órgãos do indivíduo adulto, como na maioria dos animais. Por exemplo, e você já conhece, são os meristemas secundários: câmbio vascular e felogênio, muitas vezes também denominados meristemas laterais, assim como os florais e os intercalares. Mas o que se origina do processo embriogênico e que se mantém durante toda a vida da planta? O eixo de crescimento e desenvolvimento baseado em dois ápices, o de parte aérea e o da raiz, assim como o padrão de crescimento em raio, ou radial, ou ainda, de dentro para fora, dos tecidos presentes no caule e na raiz. Assim, a planta consegue crescer em altura e em espessura!



O embrião (a) já possui os dois núcleos meristemáticos – de raiz e de parte aérea – garantindo o padrão de crescimento que irá se estabelecer na planta. Tanto a raiz como a parte aérea crescem também em espessura.

Figura 20.2: Eixo de crescimento e desenvolvimento da planta e sua origem embriônica. (a) Embrião; (b) planta.

Mas, então, graças aos meristemas pode parecer que as plantas teriam a capacidade de crescer indefinidamente. Isso não constitui uma verdade absoluta, mas também não é uma mentira deslavada, já que são os meristemas que garantem o crescimento durante todo o ciclo de vida da planta, que, em alguns casos, é muito maior que o nosso! Para a nossa espécie, indivíduos com mais de um século de idade são raros, ou seja, têm frequência muito baixa na população. Esta, porém, pode ser a idade média de muitos tipos de árvores! Outra questão interessante é a duração do período de atividade reprodutiva: no nosso caso, esse período é distinto entre machos e fêmeas, tendendo ao declínio à medida que o organismo envelhece. Alguns tipos de bambu podem viver por mais de trinta anos somente por propagação vegetativa e, após estabelecerem a fase de reprodução sexuada, morrem.

Repare que as partes da planta têm um padrão de crescimento muito bem definido, ou seja, determinado. São capazes de crescer até um certo ponto e depois param, como as folhas, as flores e os frutos. Por outro lado, o caule e o sistema radicular, graças à atividade de seus meristemas, crescem indefinidamente e seu padrão de crescimento é dito indeterminado. Esses padrões são o resultado da expressão da informação genética contida em cada espécie e que possibilita a utilização dessas estruturas para a separação das espécies, quer dizer, constituem caracteres taxonômicos muito importantes.

Esse padrão de determinação é também refletido no padrão geral de crescimento de diferentes espécies: alguns tipos de plantas, especialmente as invasoras e algumas plantas que cultivamos para nossa alimentação, florescem, frutificam e morrem. Como produzem frutos apenas uma vez, são denominadas Monocárpicas, do grego, *Mono*, único e *carpo*, fruto. Já as espécies Policárpicas, como a raiz grega indica – poli, muitos, são capazes de florescer e frutificar mais de uma vez. As árvores estão incluídas nessa categoria, que também recebe a denominação de perenes.

Em última instância, todo o crescimento e o desenvolvimento são garantidos pelas células que compõem os diferentes tecidos e órgãos do vegetal. Quando a parte aérea se inclina em direção à luz, ou quando o sistema radicular cresce em direção ao solo ou em direção a uma fonte de água, isso ocorre porque houve um aumento no número ou no tamanho das células que a compõe. Quando as células aumentam de tamanho sem se dividir, diz-se que estão alongando, ou seja, se esticando.

Algumas vezes, o crescimento é visualmente impressionante! Basta lembrar o tamanho de um ovário, ou de uma jaca, melancia ou abóbora. Agora, pense nos frutos já maduros... Tais processos são muito bem regulados pelos hormônios, como discutiremos nas aulas posteriores!

Os padrões de crescimento e desenvolvimento são iguais em animais e plantas?

Você deve estar pensando que, como eucarioto superior, esses fenômenos em plantas devem ser muito similares aos que ocorrem nos animais, ou seja, a célula cresce por ganho de massa, por aumento de tamanho e/ou de número e se diferencia, adquirindo padrões morfoestruturais diferentes da que lhe deu origem. A principal diferença, como já discutimos anteriormente, é que, nos animais, a maior parte dos eventos de diferenciação celular ocorre na fase embrionária, e poucos são tipos celulares capazes de manter esta capacidade de diferenciação no indivíduo adulto, como, por exemplo, as células da medula do sangue. Assim, nos animais, o estabelecimento do organismo é garantido por uma predominância de eventos associados ao crescimento das células já diferenciadas, em tamanho e/ou número. Os vegetais mantêm em seus corpos adultos grupos de células capazes de gerar outras células, os meristemas, mas somente nas plantas as células já adultas, já diferenciadas, podem, sob certas condições, formar células diferentes, inclusive novas regiões meristemáticas!

Um exemplo que você certamente conhece ocorre quando tiramos mudas de uma planta (**Figura 20.3**). O que acontece? Você retira um ramo da planta-mãe e o coloca em água ou na terra; e desse ramo você obtém uma planta completa, certo? Ora, o ramo não tinha raiz, já que você cortou um pedaço da parte aérea e, para a muda vingar, deverá formar um novo sistema radicular. E de onde essa nova raiz surgiu? Ou havia um meristema de raiz dormente já pré-formado, ou uma nova região de meristema de raiz foi formada, a partir das células já diferenciadas do caule do ramo. No primeiro caso, o meristema já estava lá, mas no segundo, não: uma célula ou um grupo de células do parênquima responde ao desbalanço hormonal que é ocasionado pelo corte, mudando seu padrão de diferenciação e transformando-se em uma célula meristemática que irá, então, formar a nova raiz! (**Figura 20.3**).

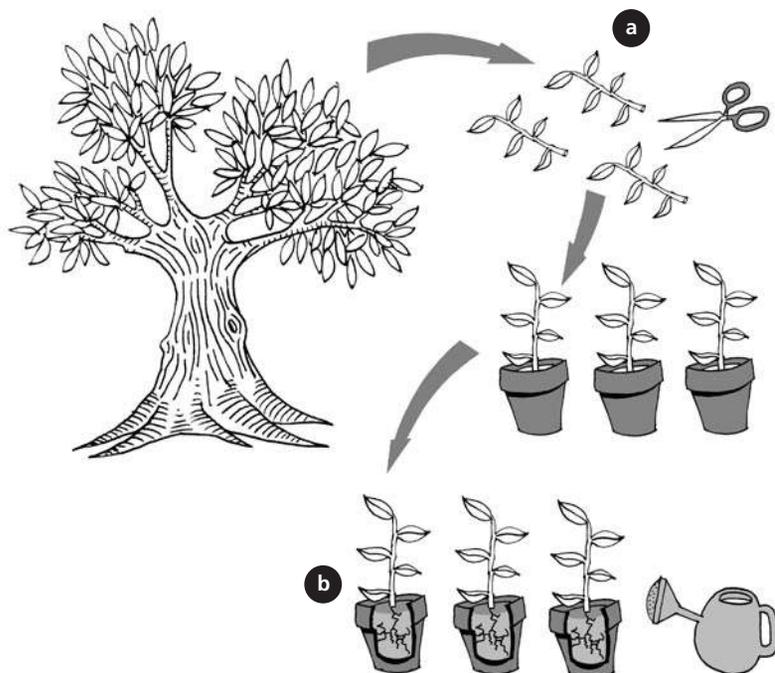


Figura 20.3: A produção de mudas de plantas: uma estratégia de clonagem. Em (a) foram retirados vários ramos da planta, que não possuem sistema radicular. Após serem transplantados para um substrato qualquer, (b) como solo ou vermiculita, os ramos enraizam e começam a crescer. As plantas são geneticamente idênticas à planta de onde foram retirados os ramos.

Repare que, neste exemplo, a nova muda é originada por reprodução vegetativa e é geneticamente idêntica à planta que lhe deu origem, ou seja, é um clone verdadeiro! Você certamente já ouviu falar de clonagem, mas talvez não tenha ainda associado que a clonagem em plantas é um processo tão antigo e relativamente fácil!



A palavra clone é originada do grego *Klon*, que significa broto. Assim, a clonagem é a capacidade de formar novos brotos ou cópias e quando dizemos que um indivíduo é clone de outro, é porque ele é geneticamente idêntico ao que lhe deu origem. O termo pode também ser usado para linhagem de células, descendentes da mesma célula-mãe. Já o termo clonagem molecular ou clonagem de genes se refere ao isolamento e multiplicação dentro de bactérias, de um gene, ou parte dele, que foi retirado de um determinado organismo e colocado dentro da bactéria. A bactéria se divide muito; assim, o gene em questão – que está dentro dela – também é copiado.

Mas, com os animais, a retirada de uma parte de seu corpo – um órgão ou um grupo de células – não é garantia de que um novo corpo venha a ser formado! Em suma, as células vegetais, mesmo adultas, conseguem alterar seu padrão de diferenciação! E qual a importância disso? As células são metabólicas e estruturalmente diferentes; assim, são capazes de realizar funções distintas; logo, determinadas seqüências gênicas estão

ligadas e outras, desligadas, o que garante sua funcionalidade. Logo, para que a célula vegetal assuma um novo padrão de diferenciação, é necessário ocorrer uma drástica alteração do padrão de expressão de seus genes! Olhe agora para suas mãos: as células da epiderme de nosso corpo são diferentes da célula da mucosa da boca, que, por sua vez, é diferente das células do folículo piloso e assim sucessivamente; mas todas possuem o mesmo genoma e o que as torna diferentes são os genes que estão sendo expressos e os que estão reprimidos! O controle da expressão gênica garante a manutenção do padrão de diferenciação celular e, conseqüentemente, a viabilidade do organismo. Quando em um ser humano esse controle é comprometido, a saúde também o é, como no caso de diversos tipos de câncer. Assim, as plantas conseguem reverter seu padrão de diferenciação sem, necessariamente, comprometer o bom funcionamento do organismo, e o fazem modificando o padrão de expressão dos genes. Esse fenômeno vem sendo investigado por diversos cientistas, que tentam descobrir como as plantas são capazes de alterar seu padrão de diferenciação, direcionado-o à formação de novas estruturas e até de um novo indivíduo.

Graças a essa facilidade de clonagem que os vegetais possuem em relação aos animais, foi possível criar uma série de procedimentos técnicos que permitem a manutenção de plantas em laboratório, sob condições controladas de cultura, que discutiremos com detalhes na Aula 29. Um desses procedimentos permitiu a obtenção de uma planta inteira, a partir de uma única célula de folha isolada! Dessa forma, podemos dizer que as células vegetais podem reverter o seu padrão de diferenciação, voltar a se dividir, mesmo depois de completamente estabelecida, e até formar um novo indivíduo; ou seja, elas retêm a informação genética necessária para o desenvolvimento de uma planta inteira. Essa característica é denominada TOTIPOTÊNCIA ou potência plena.

Mas será que todas as células do corpo do vegetal são totipotentes? Lembre-se de que a informação genética está contida no núcleo; então, as células que não possuem núcleo não serão totipotentes, como os traqueídeos, os elementos de vaso do xilema, e os elementos de tubo crivado do floema. Também não são totipotentes as células com parede secundária, que não podem mais se dividir.



Totipotência significa potência plena. Essa potência é baseada na alteração da expressão gênica da célula que pode assim se reverter a um estágio embrionário e formar um indivíduo completo.

CRESCER E MORRER: O CONTROLE DO DESENVOLVIMENTO E A SENESCÊNCIA

Passamos boa parte desta aula discutindo a importância do crescimento para o estabelecimento do organismo vegetal em um dado ambiente e vinculamos esse crescimento ao ganho de massa. Até aqui nenhuma novidade: mas agora associamos o termo morte ao desenvolvimento. Inicialmente, você pode estar pensando que tal associação não é correta, já que à morte está imbuída a idéia de falência, fim ou terminação. E de que forma o desenvolvimento poderia incluir o fenômeno de falecimento? Pense um pouco antes de prosseguir.

Vamos verificar o que ocorre: dissemos que alguns órgãos têm crescimento determinado, como as folhas, flores e frutos. Após certo período eles morrem, mas no caso das espécies Policárpicas, isso não acontece com a planta. Logo, esse é um dos processos do desenvolvimento normal dessas plantas, regulado pelo seu genoma, que recebe o nome de Senescência, ou seja, o processo fisiológico que culminam com a morte celular e, conseqüentemente, com a morte do órgão.

E qual é a vantagem para a planta? Afinal, ela gasta energia para produzir a estrutura e depois vai perdê-la! No caso das flores e frutos isso fica evidente: eles estão associados à fase de reprodução sexuada, que por si só consome muita energia, mas também garante a propagação da espécie. A flor deve atrair os polinizadores, enquanto o fruto deve dispersar as sementes. Mas, e as folhas? Elas constituem os locais de produção de energia, embora essa capacidade dependa da quantidade de luz que chega até elas. Como o meristema apical produz constantemente novas folhas, as mais velhas vão ficando cada vez mais sombreadas pelas mais novas, o que diminui nelas as taxas de fotossíntese. Além disso, você já sabe que o processo fotossintético envolve diversas reações de oxidação e redução, e também produz radicais que, ao longo do tempo, podem causar danos à estrutura da célula. Também em animais a produção de espécies reativas de oxigênio, como a que ocorre na fotólise da água na fotossíntese, está associada ao envelhecimento da célula. Assim, as plantas, ao produzirem novas unidades de captação da energia, que são as folhas, garantem a constância das taxas de fotossíntese.

E para evitar desperdícios, o estabelecimento de processo de senescência também propicia à planta o aproveitamento de recursos alocados no órgão que está senescendo para o restante da planta.

Esse processo você já conhece e certamente já observou: as folhas mais velhas secam antes de morrer e mudam de cor. Ora, a senescência desencadeia uma série de mecanismos degradativos: de ácidos nucleicos, proteínas e carboidratos, que vão produzir nucleosídeos, aminoácidos e pequenos açúcares. Essas moléculas são, então, translocadas, via floema, junto com a água que está saindo das folhas, e serão utilizadas para a construção de novas células. Dessa forma, a senescência possibilita o aproveitamento de diversos componentes estruturais!

Mas como os processos associados ao desenvolvimento do vegetal seguem um padrão, a senescência também possui um padrão de regulação gênica bastante característico. O resultado de tal regulação é o núcleo se tornar uma das últimas organelas a ser degradada, exatamente pela necessidade de controle do processo, o que inclui a síntese de diversas enzimas de degradação dos componentes celulares. Já o cloroplasto constitui a primeira das organelas a ser atingida. Esse padrão é facilmente explicado: estamos tratando de um processo degradativo ou catabólico; logo, deve ocorrer um favorecimento das rotas de degradação, comandado pelo núcleo, em detrimento das rotas de síntese!

Mas, então, será que o processo de senescência só ocorre nos órgãos de crescimento determinado? Certamente que não: nós discutiremos na Aula 23 a ação do etileno, o principal hormônio regulador desse processo. Mas muito antes desta aula, certamente você já foi apresentado a outros processos senescentes, sem que essa denominação tenha sido utilizada: por exemplo, quando discutimos a formação do sistema vascular, na Aula 8 de Botânica I, aprendemos que as células de condução, os traqueídes ou os elementos de vaso perdem seus protoplasmas. Ora, se dissemos que os protoplasmas foram perdidos é porque no início de sua formação eles existiam! O elemento de condução é uma célula morta. Este processo de senescência ocorre em um tipo celular, e não em um órgão ou na planta inteira, daí dizermos que está ocorrendo um processo de senescência em nível celular, ou morte celular programada. Em animais, esse padrão é estudado há muito mais tempo do que em plantas, e atualmente é descrito como apoptose.

Não se trata simplesmente de uma questão semântica: se afirmamos que em plantas existe um programa de morte celular é porque também deve existir morte celular sem que um programa preestabelecido já esteja instalado. De fato, quando partes da planta são submetidas a lesões

físicas, a venenos ou a ataques de patógenos, faz-se necessária, então, a instalação de ações de contenção do dano, que não estavam programadas! É o que acontece, por exemplo, quando a planta se encontra sob o ataque de um agente agressor biológico, ou um patógeno.

Vamos supor que um organismo patogênico consiga entrar numa folha: uma bactéria ou um vírus. Tais organismos não conseguirão se deslocar dentro da planta por seus próprios meios: eles dependerão dos sistemas de transporte de água e sais minerais – do xilema – e/ou do sistema de transporte de açúcares – o floema, ou também dos plasmodesmos, que conectam o protoplasma de uma célula a outra. Ao entrar no local de infecção, a célula responde com a produção de diversos compostos tóxicos, principalmente fenóis, e, então, morre. Muitos desses compostos fenólicos são capazes de matar o microorganismo. Mas caso isso não aconteça, quando a célula morre, a comunicação com o restante do corpo é interrompida assim como o deslocamento do agente patogênico. Surgem, então, áreas circulares, denominadas áreas de lesão necrótica (Figura 20.4).

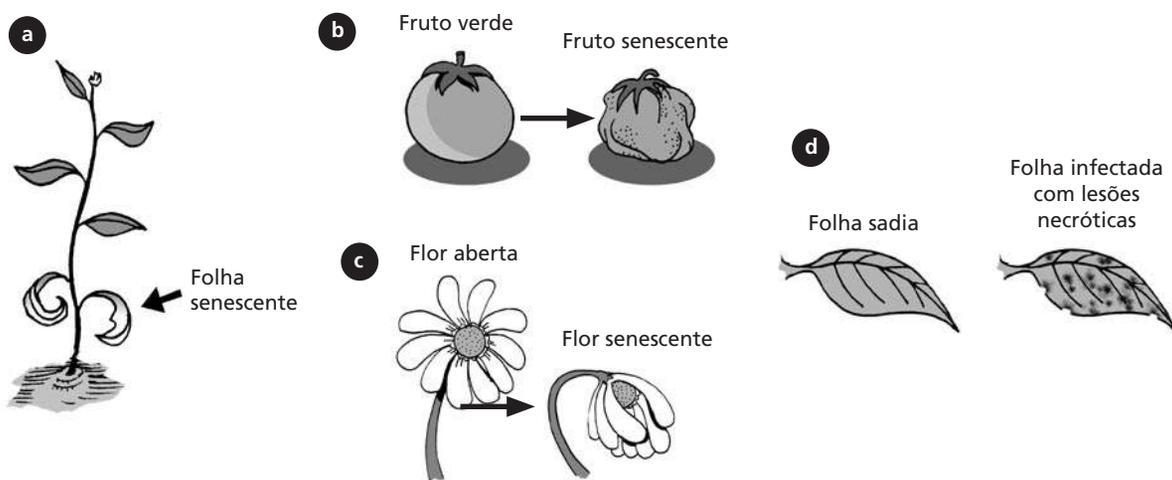


Figura 20.4: Exemplos da senescência em plantas.

A senescência em plantas pode, dessa forma, ser considerada como mais um dos processos que garantem seu desenvolvimento normal em um determinado ambiente, mas também auxiliam a planta na superação de situações adversas! Nas próximas três aulas iremos discutir a ação dos responsáveis pelo controle interno dos padrões de desenvolvimento em plantas. Mas, antes, vamos rever o que discutimos até aqui na Atividade 2.



ATIVIDADE

2. Correlacione o fenômeno com a sua descrição:

1. Crescimento
2. Diferenciação
3. Alongamento celular
4. Totipotência
5. Senescência

- () A célula já diferenciada aumenta de tamanho sem se dividir.
() É a capacidade de regenerar uma planta inteira a partir de uma única célula.
() Neste processo, as células-filha não são iguais às células-mãe.
() Resulta no ganho de massa do organismo, seja por divisão celular ou alongamento.
() É um dos processos do padrão de desenvolvimento de plantas que resulta na morte de células, tecidos ou órgãos.

RESPOSTA

(3); (4); (2); (1); (5).

RESPOSTA COMENTADA

A primeira afirmativa, que um determinado tipo celular está aumentando de tamanho sem se dividir, exclui todas as possibilidades citadas, pois esse processo só ocorre quando a célula está crescendo em tamanho ou está alongando. Já a segunda sentença relaciona-se à totipotência, ou seja, à plena capacidade de uma única célula vegetal formar um novo indivíduo.

A afirmativa de que as células-filha são diferentes da célula-mãe indica que ocorreu um processo que as tornou diferentes, denominado diferenciação celular. Já a assertiva de que no organismo ocorreu ganho de massa por divisão celular ou por alongamento indica o estabelecimento do processo de crescimento da estrutura.

A última frase está relacionada ao fenômeno de senescência, pois a tais processos estão relacionados os fenômenos de morte celular que se encontram associados ao desenvolvimento dos vegetais.

COMO AVALIAR O CRESCIMENTO DE PLANTAS?

Como discutimos anteriormente, o crescimento é resultado do ganho de massa, que ocorre em decorrência do aumento do número e/ou do tamanho da célula, e, assim, o corpo do organismo cresce. Logo, podemos avaliar o padrão de crescimento pela medida de vários parâmetros, como: aumento de tamanho em altura ou em largura,

aumento do número de células ou do tamanho das células ou, ainda, pelo aumento de peso. Normalmente, as avaliações baseadas na contagem do número de células são utilizadas para os estudos de crescimento de organismos unicelulares, como *Chlamydomonas*, que são as algas verdes, que estudamos na Aula 5 de Botânica I. Para organismos pluricelulares, são mais indicadas as medidas de peso. E como o teor de água nas plantas pode variar durante o dia, é recomendada a utilização do peso seco. Graças a essas avaliações, podemos construir gráficos e tabelas que nos permitem estudar o padrão de crescimento de plantas em diversas condições (Figura 20.5).

Observe a Figura 20.5. Nela é possível observarmos a existência de fases distintas, com inclinações diferentes. A curva tem a forma de um S, e é denominada sigmóide. Esse tipo de curva é bastante característico em plantas. No caso desse exemplo, foi medida a altura da parte aérea produzida após a germinação das sementes de milho em solo. A curva não sai da origem (zero nos dois eixos); assim, é necessário que a semente germine para produzir a parte aérea que será medida, o que demora alguns dias. Após a germinação, a plântula recém-formada utiliza as reservas da semente para se estabelecer e não ocorre um ganho de massa muito significativo, pois está se preparando para o pleno crescimento. Após essa fase, a parte aérea da planta já começa a captar seus próprios recursos (água e sais, pelo sistema radicular, e a fixar carbono na fotossíntese). Nesse ponto, começa a ocorrer ganho de tamanho, de forma exponencial, em relação ao tempo decorrido, e a fase é denominada logarítmica. Posteriormente, a planta entra em uma fase de crescimento; linear, com aumento constante do crescimento por fim, entra na fase senescente.

A construção dessas curvas de crescimento é uma ótima ferramenta comparativa! O que acontecerá quando analisarmos o comportamento de plantas da mesma espécie colocadas para crescer em condições distintas? Por exemplo: um lote é colocado para crescer em areia úmida; o segundo lote recebe adubação constante. Como existe água disponível, o estabelecimento da planta que ocorre à custa da reserva da semente será igual, e, então, o início das duas curvas será também igual. Mas as fases subsequentes necessariamente não! Lembre-se de que a planta necessita de vários sais minerais para crescer; logo, o lote que estiver recebendo maiores quantidades de nutrientes crescerá mais e mais rápido do que o que está recebendo somente água. Assim, as curvas obtidas terão inclinações diferentes e quanto mais inclinadas e alargadas, menor a

velocidade de crescimento. Além disso, como a areia é muito pobre em nutrientes, as plantas nestas condições tenderão a entrar em senescência mais cedo. Vamos conferir o que discutimos, fazendo deste exemplo mais uma de nossas atividades, a de número 4.

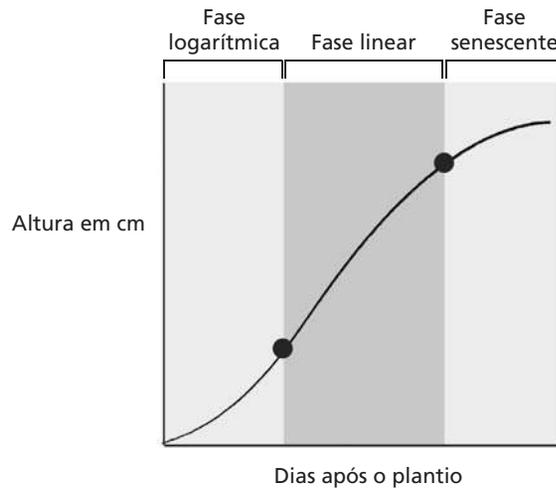


Figura 20.5: Avaliação do crescimento em plantas. A curva de crescimento de plantas de milho foi obtida pela medida da altura da parte aérea, após a germinação da semente.

ATIVIDADE



4. Você deve desenhar duas curvas de crescimento, correspondentes ao crescimento da parte aérea de um lote de plantas em areia e água e de um segundo lote, que também recebe constantemente uma solução nutritiva, contendo todos os elementos essenciais ao crescimento. Vamos utilizar como controle a curva que analisamos na **Figura 20.5**. Lembre-se de que o lote em areia vai crescer menos e mais devagar e também vai senescer mais cedo do que o lote de controle ou as plantas que receberam adubação. Assim, tanto a inclinação da curva quanto o tamanho das fases podem ser menores, e a fase senescente deverá começar mais cedo do que para os tratamentos restantes.

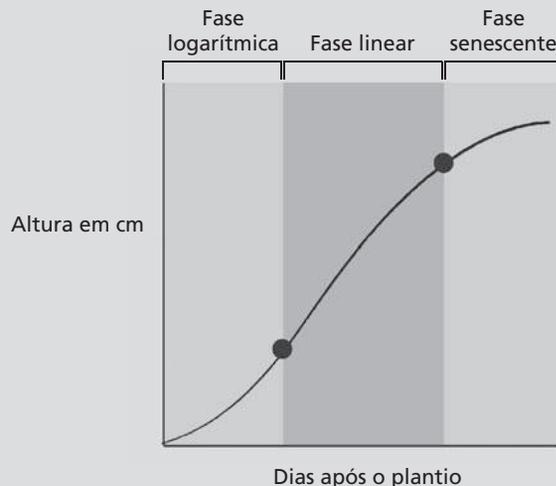


Figura 20.5

RESPOSTA COMENTADA

Se suas curvas começam juntas e depois apresentam ângulos de inclinação diferentes, parabéns, você entendeu que a capacidade germinativa das sementes foi semelhante entre os tratamentos! Esta etapa depende da água disponível, e em nenhum dos casos testados havia restrição no fornecimento. Caso você tenha alguma dúvida, volte ao texto antes de continuar a análise dos resultados.

Vamos, então, conferir o formato das curvas: as plantas em areia não dispõem de um fornecimento adequado de nutrientes, pois como dissemos, esse é um substrato muito pobre. Logo, a curva deverá ser menor do que o controle. Assim, tanto a inclinação da curva quanto o tamanho das fases podem ser menores, e a fase senescente deverá começar mais cedo do que a fase para os tratamentos restantes. Mais uma vez, caso seu desenho seja discordante, volte ao texto antes de prosseguir na análise.

E a comparação entre o controle e as plantas adubadas? Neste caso, duas possibilidades podem ser corretas: nós não conhecemos a composição do solo onde as plantas-controle estão, mas se considerarmos que ele é extremamente rico em nutrientes, as duas curvas serão semelhantes em inclinação e tamanho. Mas, ao aceitarmos a possibilidade de que a solução nutritiva, adicionada constantemente à areia, leva a planta a adquirir mais nutrientes, então deverá esse lote crescer mais e mais rápido que o controle. Assim sendo, a curva pode ser mais ampla, com inclinação maior do que o controle.

CONCLUSÃO

O aumento de massa ou crescimento é resultado do aumento no tamanho e/ou do número das células do corpo do indivíduo, enquanto o desenvolvimento está associado à ocorrência de crescimento e diferenciação celular. O padrão de desenvolvimento do corpo do vegetal também está relacionado ao estabelecimento do fenômeno de morte, que ocorre pela senescência de órgãos e de células.

RESUMO

O crescimento por alongamento das células e a diferenciação são cruciais para o perfeito estabelecimento do organismo do vegetal. Os padrões de desenvolvimento de plantas são distintos dos animais; os vegetais possuem estruturas potencialmente embrionárias em seus corpos adultos, o que não ocorre nos animais. Além do crescimento e diferenciação celular – que ocasionam ganho de massa –, os vegetais também apresentam processos associados à morte celular, denominado senescência. As células vegetais vivas, diferentemente dos animais, são totipotentes, ou seja, sob determinadas condições são capazes de formar um novo indivíduo.

ATIVIDADES FINAIS

1. Elabore um texto ressaltando as semelhanças e diferenças entre os padrões de desenvolvimento observados em plantas e animais.

2. Qual a importância da senescência para o vegetal?

3. Discuta a importância do fenômeno de totipotência para as plantas.

RESPOSTAS COMENTADAS

1. Seu texto necessariamente deve conter a principal diferença nesses padrões, que é a manutenção, no corpo do vegetal adulto, de estruturas potencialmente embrionárias, os meristemas. Além disso, as células vegetais vivas e com parede primária são totipotentes; sendo assim, são capazes de regenerar um indivíduo completo.

2. Se você respondeu que a senescência é uma das etapas do desenvolvimento normal da planta, associou corretamente esse fenômeno às estratégias utilizadas pelo vegetal, que garantem o seu estabelecimento no ambiente. Caso tenha citado exemplos do processo, como:

– que a queda de folhas velhas, substituídas constantemente pelas novas folhas, produzidas pela atividade do meristema apical, sejam alocadas no caule, a garantir a manutenção das taxas de fotossíntese e a translocação dos recursos para as folhas mais jovens; ou ainda,

– que as flores e frutos, que representam um gasto energético bastante significativo para a planta, devem ter um tempo de vida predeterminado, vinculado às características reprodutivas da espécie; então, você tornou sua resposta ainda mais completa.

3. Ao associar que a totipotência permite que células não meristemáticas possam assumir essa função, você atingiu satisfatoriamente o objetivo da questão. Se também citou que tal propriedade pode garantir que áreas do corpo da planta que sofrem qualquer lesão possam ser recuperadas, ultrapassou as expectativas e merece parabéns.

AUTO-AVALIAÇÃO

Caso tenha alguma dúvida relacionada a crescimento, diferenciação celular e senescência, por favor, releia os textos correspondentes ou entre em contato com seu tutor. Esses conceitos são fundamentais para a perfeita compreensão das aulas subseqüentes, em que abordaremos os aspectos relativos à regulação hormonal dos padrões de crescimento em plantas. Se você acertou a maioria das atividades, é porque está dominando satisfatoriamente o conteúdo desta aula. Parabéns; passe, então, para a aula seguinte. Até lá!

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, iremos discutir como o grupo auxina, primeiro hormônio vegetal descrito, regula a morfogênese das plantas.

O que são e quais são os hormônios de plantas? As auxinas: o primeiro hormônio

AULA

21

Metas da aula

Apresentar o mecanismo de ação hormonal e descrever os principais efeitos fisiológicos regulados por Auxinas.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Descrever os principais grupos de hormônios de plantas.
- Dar exemplos de fenômenos fisiológicos regulados por auxinas e seus efeitos no desenvolvimento do vegetal.

Pré-requisitos

Para melhor aproveitamento desta aula, você deverá rever na aula anterior (Aula 20 de Botânica II) os conceitos de crescimento, alongamento, divisão, diferenciação celular e senescência. Também é recomendável que reveja na Aula 22 de Botânica II a importância das H^+ ATPases nos mecanismo de absorção de íons associado à abertura e ao fechamento dos estômatos.

INTRODUÇÃO

Na aula anterior, discutimos como as plantas crescem e se desenvolvem, e deixamos para esta aula a apresentação dos principais responsáveis pela regulação dos padrões de crescimento e desenvolvimento de plantas: os hormônios. Iremos, então, relacionar os grupos de hormônios conhecidos de plantas e iniciar a discussão da regulação das principais funções fisiológicas com o primeiro grupo, as Auxinas.

Mas antes, vamos lembrar quais atributos devem ser considerados para que uma determinada substância seja classificada como um hormônio. De origem grega, essa palavra tem o radical *horman*, que significa “excitar”. Assim, poderíamos pensar que os hormônios seriam responsáveis pela estimulação do crescimento e do desenvolvimento. Mas alguns de seus grupos estão associados à redução do crescimento, principalmente em condições estressantes, como o Etileno e o Ácido Abscísico, que iremos discutir na Aula 23. Mesmo quando ocorre uma inibição do crescimento, há também uma alteração do padrão de desenvolvimento. Este é o principal atributo para que uma determinada substância seja considerada hormônio, ou seja, regular o desenvolvimento! Então, o termo “excitar” estaria principalmente relacionado à estimulação que irá desencadear uma resposta fisiológica, e que está associada a uma mudança.

Mas já foi discutido anteriormente que as plantas se utilizam de diversos fatores para crescer e se desenvolver, tais como luz, temperatura, água, sais minerais, CO₂. Trata-se de fatores externos e que variam conforme o ambiente em que a planta está. Estes fatores externos chegam até a planta, que deve ter mecanismos para transformar tais sinais em sinais químicos, que podem ser entendidos pela célula. Os principais fatores internos de regulação são os hormônios vegetais ou fitormônios, substâncias químicas produzidas pela planta em resposta a um determinado sinal, interno ou externo, que irão atuar na divisão, no alongamento e na diferenciação celular.

Assim, como nos animais, os hormônios de plantas são substâncias orgânicas que não têm função nutricional direta, embora regulem o crescimento e o desenvolvimento, em concentrações relativamente baixas, em torno de 1µM, mediando a comunicação intracelular. A definição mais comum de hormônio é que ele é produzido em um local para ser transportado até às células, aos tecidos ou aos órgãos em que irão atuar – as chamadas células-alvo. Veremos ainda que, para os vegetais, isso nem sempre acontece. Mas, é certo que aos hormônios é atribuída a regulação de respostas bastante específicas, como o alongamento,

a divisão e a diferenciação celular, respostas estas que podem resultar na floração, na frutificação e na queda de folhas – incluindo o amadurecimento e a senescência dos frutos, entre outros tipos de respostas fisiológicas.

Outra característica peculiar dos hormônios está relacionada à capacidade das células em percebê-los. Tais células, denominadas células-alvo são capazes de desencadear a resposta fisiológica, pela presença de proteínas receptoras específicas. A aptidão dessas células-alvo faz com que um mesmo hormônio possa causar diferentes efeitos fisiológicos, dependendo do local em que estiver atuando – células-alvo diferentes em tecidos e órgãos distintos –, e da concentração do hormônio e do estágio de desenvolvimento de um mesmo tecido!

Em comum, porém os grupos de hormônios, sejam eles de animais ou de vegetais, levam a uma resposta ao atuarem na regulação de um determinado fenômeno fisiológico. E o que vem a ser esta resposta, pensando na célula que irá desencadeá-la? Pense um pouco no que a célula terá de fazer para dar conta da resposta fisiológica. Lembre-se de que irá ocorrer uma alteração do padrão de desenvolvimento. Pensou? Então vamos conferir: a célula terá de sintetizar novos componentes, estruturais ou não, e assim a resposta celular irá implicar estimulação ou repressão de rotas bioquímicas diversas, e em última instância, alteração do padrão de expressão de seus genes! No corpo do organismo, o que torna as células diferentes são os genes que se encontram expressos e os que estão reprimidos. Então, os hormônios estão envolvidos na alteração da expressão gênica das células! (**Figura 21.1**)

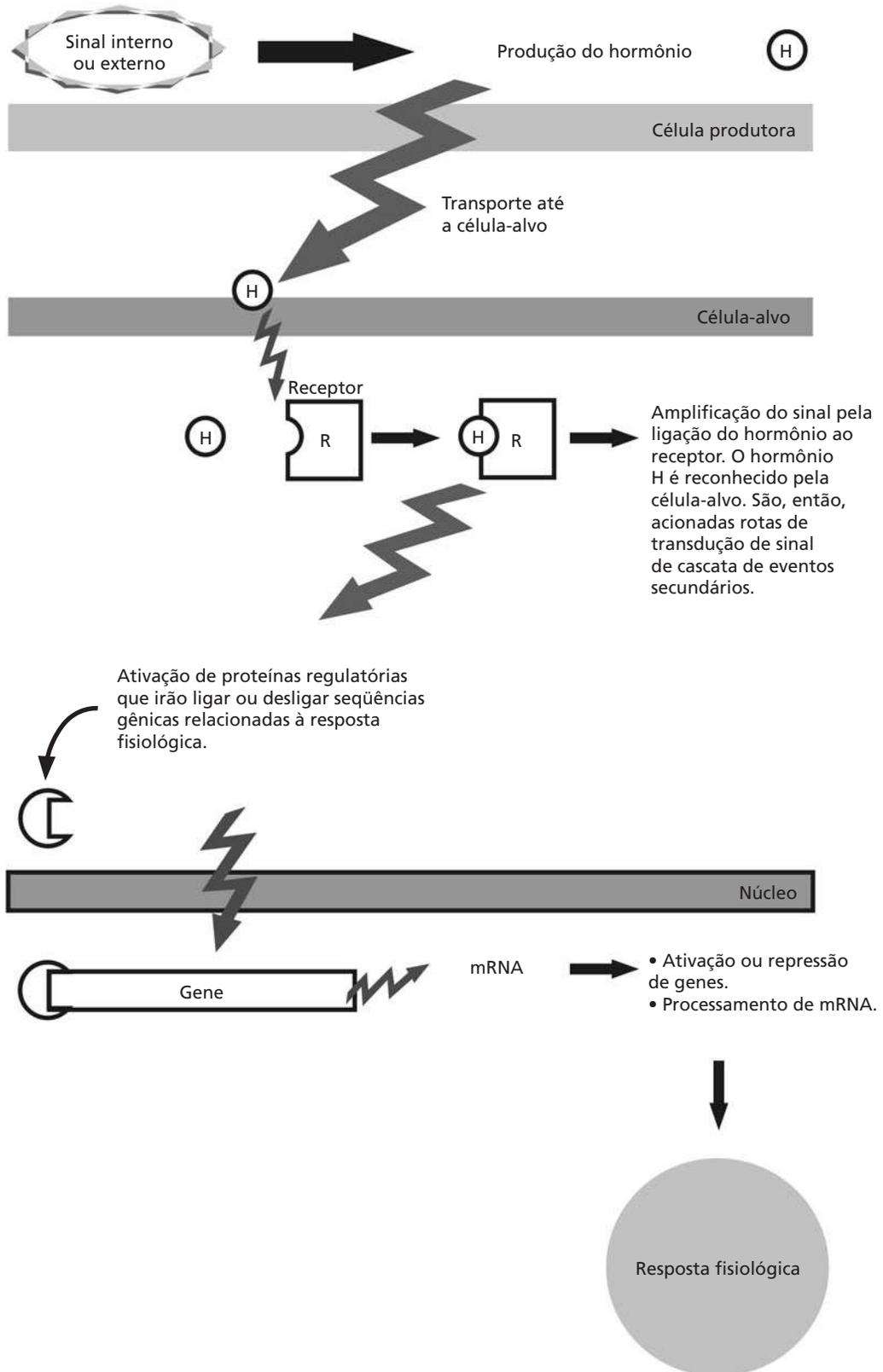


Figura 21.1: Mecanismo básico de ação dos hormônios.



ATIVIDADE

1. Você isolou uma substância em uma determinada planta e desconfia tratar-se de um novo grupo de hormônio vegetal. Como deve proceder, ou seja, que parâmetros você deve avaliar e considerar para que essa nova substância seja considerada um hormônio? Cite, pelo menos, três tipos de abordagens.

Você deve verificar se:

1. a substância tem função regulatória em algum processo fisiológico e não serve apenas para a nutrição da planta;
2. as concentrações baixas da substância são capazes de induzir a resposta;
3. a substância se liga a alguma proteína, que poderia ser o seu receptor;
4. após a aplicação da substância, ocorrem alterações no padrão de crescimento e desenvolvimento das plantas;
5. a presença da substância é capaz de induzir a alteração da expressão gênica da célula, ou seja, se alguns genes são reprimidos ou estimulados, o que leva à produção de proteínas diferentes.

RESPOSTA COMENTADA

*Você deverá ser capaz de provar que a substância em questão é, de fato, um hormônio e, logo, deve comporta-se como tal – uma dica é utilizar o esquema da **Figura 21.1**. Assim, poderá verificar se ela é capaz de induzir uma resposta fisiológica qualquer, e se essa resposta é acompanhada de uma alteração no padrão das proteínas que a célula produz; ou seja, se é capaz de induzir uma alteração no padrão de expressão gênica. Nesse caso, você pode analisar as proteínas que estão sendo produzidas, ou os genes que estão sendo reprimidos ou estimulados, além dos RNA mensageiros. Também pode ser analisada a capacidade de ligação da substância com uma proteína da célula, que poderia funcionar como receptor. Uma outra possibilidade incluiria a confirmação de que a substância não é utilizada como substrato nutricional e de que atua em pequenas quantidades, em células específicas. Se você não considerou pelo menos três destas possibilidades, releia o item correspondente ou entre em contato com o seu tutor, caso persistam dúvidas.*

Agora que já discutimos o que são hormônios, vamos então conhecer os principais grupos de hormônios de plantas, ou seja:

Auxinas.

Citocininas.

Giberelinas.

Etileno e Ácido Abscísico.

Repare que o nome dos três primeiros grupos está no plural e os dois últimos, no singular. Isto ocorre exatamente porque os três primeiros representam agrupamentos de substâncias com atividades em comum, e os dois últimos, por representarem apenas uma substância.

Você também pode encontrar citações de hormônios vegetais como reguladores de crescimento. Hormônios vegetais são substâncias sintetizadas pelos vegetais que, em baixas concentrações, causam respostas fisiológicas, enquanto os reguladores de crescimento são substâncias sintéticas, produzidas em laboratório, que atuam do mesmo modo que um hormônio.

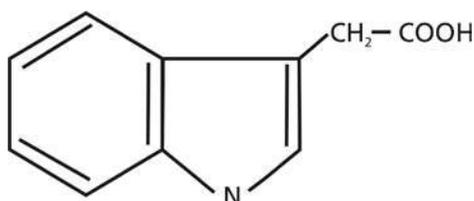
Vamos agora iniciar pelas Auxinas nossa discussão de cada um dos grupos. Nas aulas posteriores, serão discutidas as Citocininas, as Giberelinas (Aula 22), o Etileno e o Ácido Abscísico (Aula 23).

AUXINAS: O PRIMEIRO HORMÔNIO DESCRITO EM PLANTAS

Por mais que o caráter sésil das plantas seja sempre destacado, os primeiros estudos científicos desse grupo de hormônios estavam centralizados nos movimentos que as plantas são capazes de realizar – tropismo, principalmente em direção à luz – chamado fototropismo (este tópico será discutido na Aula 29). Este talvez seja um fenômeno fisiológico que você já cansou de ver e até de fazer! Basta colocar uma planta sob iluminação em apenas um de seus lados (como, por exemplo, com a folhagem próxima a uma lâmpada ou a uma janela). O que acontece depois? A planta toda se curva em direção à fonte de luz! O primeiro cientista a estudar este fenômeno foi Charles Darwin, em 1880, que até publicou um compêndio relatando suas experiências com plantas. Ele utilizou uma monocotiledônea, *Phalaris canariensis*, que, pelo nome, você pode imaginar o que seja: o alpiste. O que Darwin fez foi iluminar os coleóptilos em apenas um de seus lados, e eles se curvavam em direção à luz.

O que deve, então, acontecer com a planta para que ela consiga se curvar? Se você respondeu que o lado sombreado irá crescer mais do que o lado iluminado está correto, pois o ápice da planta é capaz de perceber o estímulo luminoso e transmitir esta informação para os tecidos e células abaixo dele, aumentando o crescimento em apenas um dos lados da estrutura.

Como o crescimento é maior em um lado do que em outro, é também chamado crescimento diferencial. Naquela época, Darwin não tinha condições técnicas de dizer qual substância era responsável pelo fenômeno nem como ela atuava, mas mencionou que alguma “influência” era transportada do ápice para a região de crescimento. Somente anos mais tarde, na década de 1930 do século passado, foi possível isolar a substância em questão, um ácido orgânico chamado Ácido Indol Acético, a primeira das auxinas descrita, a mais estudada e, por isso, considerada o principal tipo encontrado em plantas (Figura 21. 2).



Ácido indol acético

Figura 21.2: Estrutura química do ácido indol acético, a primeira auxina descoberta.



ATIVIDADE

2. Quando o ápice de uma planta é iluminado em um de seus lados, ela se curva, graças ao crescimento diferencial do lado sombreado, que cresce mais. No entanto, ao afirmarmos que um lado cresce mais do que o outro, o que queremos dizer? Vamos às opções:
- um lado cresce mais porque as células se dividem mais;
 - um lado cresce mais porque as células crescem mais em altura, sem se dividir, ou seja, elas se alongam.

RESPOSTA COMENTADA

*Se você escolheu a opção **a** é porque não considerou a possibilidade de que o alongamento da célula por si só ocasione maior crescimento. Mas recorde-se de que, na aula passada, discutimos que o crescimento pode ser resultado tanto do aumento do número das células como de seu tamanho, que nada mais é do que o alongamento celular. Além disso, como a resposta de curvatura é muito rápida, é menos complicado para as células alongar do que se dividir, o que implica divisão do núcleo, formação de nova parede celular etc.*

Outra conclusão que pode ser tirada desse experimento é que as auxinas são produzidas no ápice e descem até os tecidos em que irão atuar. Como o transporte ocorre do ápice em direção à base da planta, ele é chamado basípeto. A principal região de produção de auxinas é o Meristema apical, seguido das folhas jovens, das flores e dos frutos em desenvolvimento, que ainda estão crescendo e também possuem tecidos meristemáticos. Outra característica bastante interessante das Auxinas é que seu transporte ocorre de um pólo a outro da planta, em uma direção e é considerado polar.

Assim, o alongamento é tido, por muitos autores, como o principal efeito celular das Auxinas. Mas por que somente um dos lados responde ao estímulo luminoso com o alongamento celular e o lado iluminado praticamente não sofre qualquer alteração? Primeiro pensou-se que as auxinas eram degradadas pela ação da luz; mas atualmente é sabido que ocorre uma redistribuição lateral da auxina que sai do lado iluminado e vai para o lado sombreado, que então se alonga. Esse transporte lateral é mediado por carreadores específicos, que têm sua atividade modulada pela luz.

E como as Auxinas regulam esse alongamento? Para alongar, a célula deverá ceder à pressão interna que a água armazenada em seus vacúolos exerce sobre a parede. Mas nós sabemos que a célula vegetal é revestida por uma estrutura altamente resistente – a parede celular –, capaz de resistir a essa pressão. Então, se a parede for levemente desestabilizada, passará a oferecer menos resistência à pressão hidrostática interna, que então irá empurrar os componentes celulares, fazendo com que a célula aumente de tamanho sem se dividir (**Figura 21.3**).

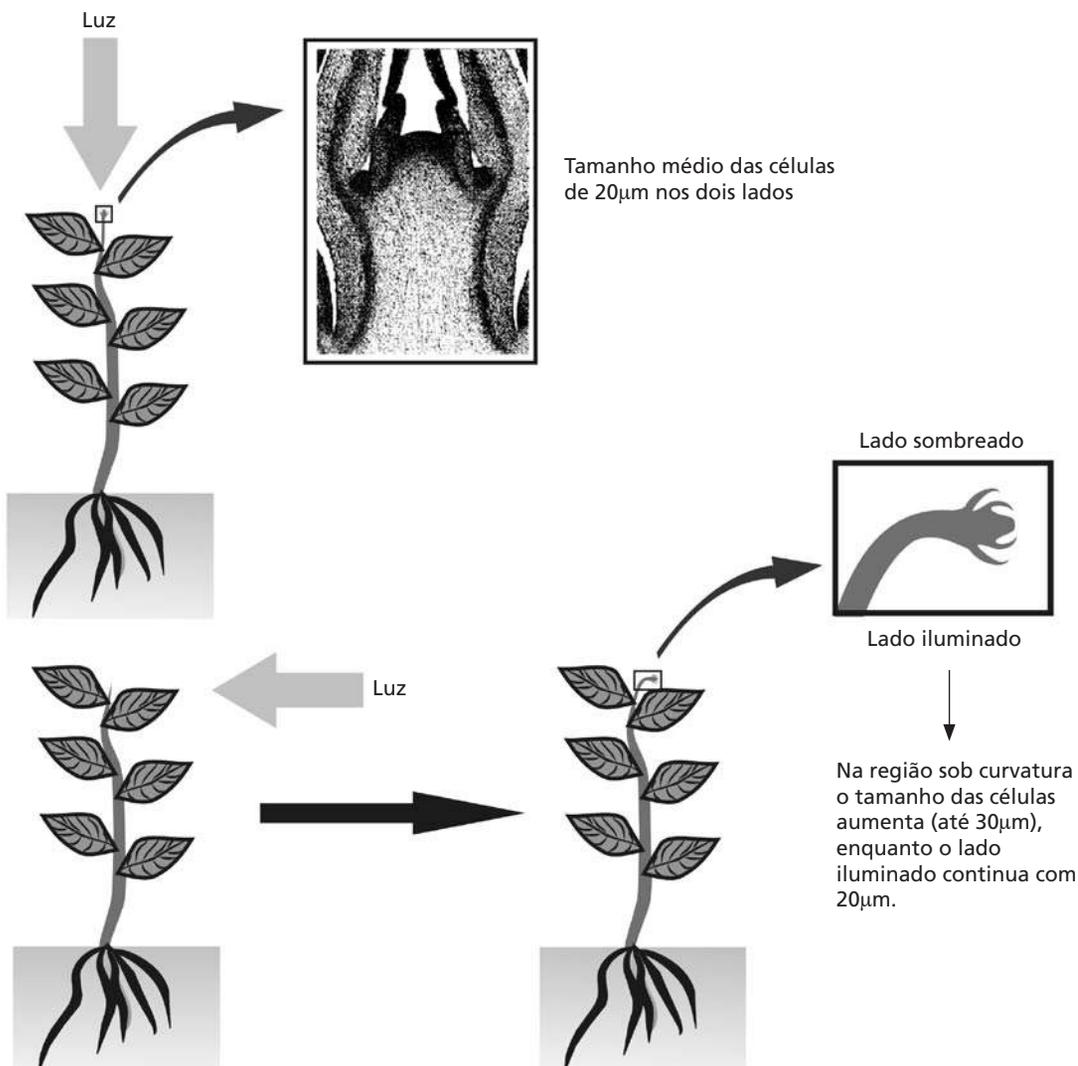


Figura 21.3: A célula vegetal e o alongamento celular que possibilita a curvatura em direção à luz.

Ao estudarem o alongamento, diversos cientistas indicavam que esse processo era acompanhado de uma acidificação do ambiente da parede celular. Ora, se ocorre acidificação, então a quantidade de prótons ou de H^+ no ambiente da parede aumenta em decorrência da chegada da auxina na célula. Discutimos anteriormente, na Aula 22 de Botânica I, que as plantas possuem ATPases específicas (a mais conhecida das Próton ATPases é a H^+ ATPase) que ao degradarem ATP liberam energia e jogam H^+ para fora da célula. Assim, a acidificação resultante da chegada de auxina acarreta o alongamento e a desestabilização da parede, mas também há um aumento de atividade de alguns grupos de enzimas

que têm capacidade de degradar a parede celular. Como essas enzimas atuam preferencialmente durante a expansão das células, elas são chamadas Expansinas.

Como tais eventos dependem da acidificação da parede celular, o processo também é conhecido como Teoria do Crescimento Ácido induzido por Auxinas (Figura 21.4). Recentemente, descobriu-se que as auxinas tanto aumentam a atividade das H^+ -ATPases presentes na membrana como também são capazes de novo de induzir novamente a síntese dessa enzima.

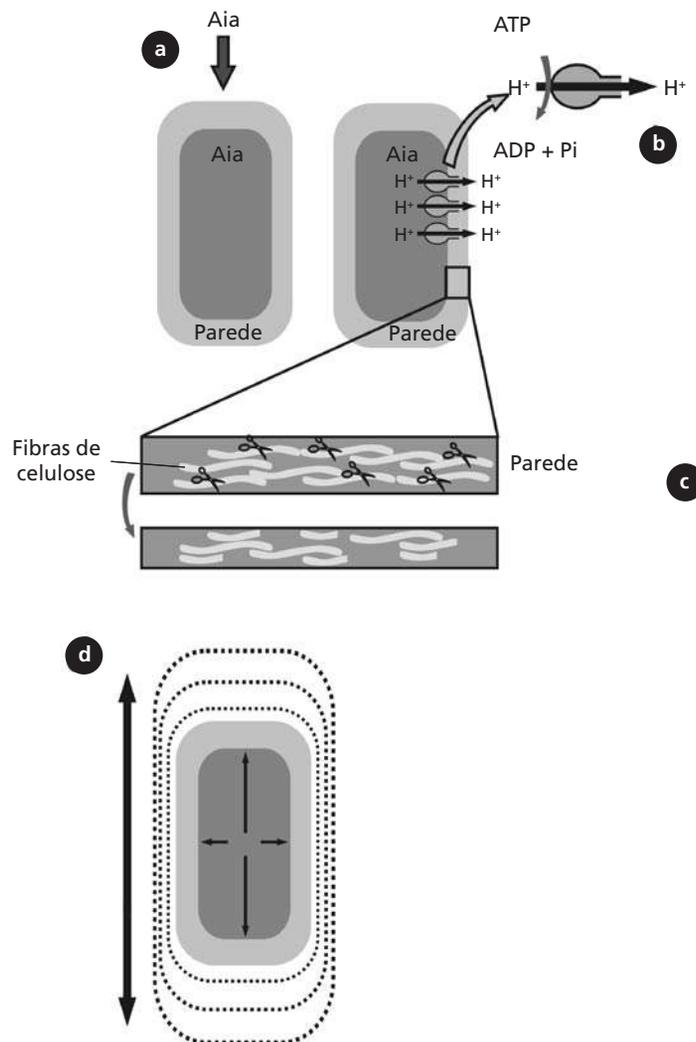


Figura 21.4: Acidificação da parede celular induzida por auxinas e o alongamento. (a) A auxina ácido indol acético, ou AIA chega à célula e entra. (b) Dentro da célula; o AIA ativa H^+ -ATPases de membrana, liberando H^+ no ambiente da parede celular. (c) A acidificação da parede celular e a ativação de suas enzimas de degradação (as expansinas, representadas pelas tesouras) induzidas por AIA, ocasionam a desestabilização estrutural da parede celular. (d) Como a parede celular íntegra é a principal responsável pela contenção das forças que atuam sobre a célula, após sua desestabilização a parede irá ceder à pressão exercida pela água sobre ela (pressão de turgor ou hidrostática) e, então, se alonga.

EFEITOS FISIOLÓGICOS DAS AUXINAS

Auxinas e seus efeitos nas células: alongamento celular e diferenciação

Com o que discutimos até agora já podemos afirmar que as Auxinas promovem o crescimento das regiões abaixo do meristema apical; ou seja, elas induzem o alongamento das células do caule fazendo com que o órgão aumente de tamanho. Mas esse padrão de resposta também acontece no sistema radicular! Então, podemos concluir que esse tipo de resposta ocorre inclusive na raiz. Assim sendo, o principal efeito da auxina é promover o crescimento de caules e raízes, através da estimulação do alongamento das novas células formadas pelos seus respectivos meristemas.

Mas as auxinas são capazes de induzir modificações nos padrões de diferenciação das células, atuando com outro grupo de hormônios: as Citocininas. Esses dois hormônios regulam a diferenciação vascular do floema e do xilema, que constituem os tecidos condutores da planta, e também estimulam a divisão celular no câmbio vascular de plantas lenhosas. Veja o quão importante, para a perfeita formação do corpo do indivíduo, a ação conjunta de auxinas e citocinas é!

Um outro efeito indutório de auxinas acontece na formação de raízes. Quando um agricultor retira estacas para multiplicar uma planta, ele normalmente corta ramos da parte aérea, como discutimos na aula anterior. Esse ramo precisa enraizar, para formar uma planta completa. Muitas vezes ele aplica no ramo uma preparação comercial, chamada mistura de enraizamento, que nada mais é do que uma auxina sintética, como o Ácido Naftaleno Acético, ou ANA ou ainda o Ácido Indol Butírico ou IBA, outro tipo de auxina, misturado a talco ou qualquer outro substrato inerte para facilitar a aplicação.

Auxinas e os movimentos em plantas

Iniciamos nossa discussão com a ação das auxinas sobre o Fototropismo, que será posteriormente abordado na Aula 29. Mas existem outras formas de movimento que também são importantes para as plantas e ajudam na sua orientação espacial: a percepção da gravidade, conhecida como Gravitropismo e a percepção da presença de obstáculos ou até do toque, denominado Tigmotropismo.

Repare que as raízes crescem para baixo – Gravitropismo positivo –, enquanto a parte aérea cresce em direção oposta – Gravitropismo negativo. O Tigmotropismo também pode ser observado em raízes e partes aéreas.

No caso das raízes durante o crescimento, o ápice encontra dentro do solo um obstáculo, como uma pedra, e então começa a crescer ao redor para superá-lo. Já na parte aérea, o tigmotropismo é facilmente observado em plantas como o maracujá, que emite gavinhas que se enrolam quando encontram um suporte qualquer, melhorando sua sustentação.

O Gravitropismo é uma resposta à gravidade, comum às raízes; ao se observar o sistema radicular da planta ou colocar uma semente para germinar verifica-se que as raízes tendem a crescer para baixo, mesmo que para isso tenham de se curvar ao saírem da semente ou quando encontram um obstáculo! Repare que a resposta é a mesma que ocorre na parte aérea que se curva em direção à luz, isto é, há um crescimento diferencial em um dos lados da raiz! E onde está localizado o centro de percepção da gravidade? Na região do ápice da raiz, conhecida como coifa, como já estudou na Aula 6 de Botânica I. Mas a forma de regulação desse processo pelas auxinas ainda está sendo elucidada.

Auxinas e o controle da forma da parte aérea: a Dominância Apical

Você já sabe que a forma do corpo de um organismo é determinada por fatores genéticos, que controlam o padrão de crescimento, como discutimos na aula passada. Para os vegetais, esse padrão inclui a presença de estruturas potencialmente embrionárias no corpo da planta, como os meristemas. Assim, a parte aérea tem, além do meristema apical, diversas gemas laterais, capazes de formar novas partes aéreas. Mas repare que, para a maioria das plantas que conhecemos, somente o meristema apical está crescendo, enquanto as gemas laterais permanecem sem crescer! Esse efeito inibitório que o meristema apical tem sobre as gemas laterais é conhecido por Dominância Apical. Tal fenômeno é a razão de efetuarmos podas em algumas plantas! O que o jardineiro pretende quando remove os ápices da planta que está sendo podada? Que a parte aérea da planta fique maior, ou “encha”, ou seja, que novos brotos apareçam!

E como essa inibição pela Dominância Apical ocorre?

Vamos descobrir esse enigma juntos, com o auxílio da **Figura 21.5**. Já sabemos que o principal sítio de produção de auxinas é o meristema apical, e que as auxinas são transportadas do ápice para a base da planta. Nós também sabemos que a ação do hormônio depende da sensibilidade da célula e que tal sensibilidade é variável. Conseguiu descobrir o enigma? Se você pensou em um efeito de concentração, acertou! As gemas mais próximas ao ápice estão submetidas a concentrações de auxinas maiores do que aquelas que estão mais perto da base da planta, e, portanto, mais afastadas do principal centro de produção de auxinas! Quando o ápice é retirado, a concentração cai bruscamente e a inibição é removida, até que um novo broto cresça e assuma a função de principal, estabelecendo nova dominância! Este também é mais um exemplo de ação conjunta de auxinas e citocininas: se, em vez da remoção do ápice, for aplicada uma citocinina na gema, esta começa a crescer, pois a citocinina é capaz de remover a inibição, já que é o hormônio que regula a diferenciação da parte aérea, como veremos na próxima aula.

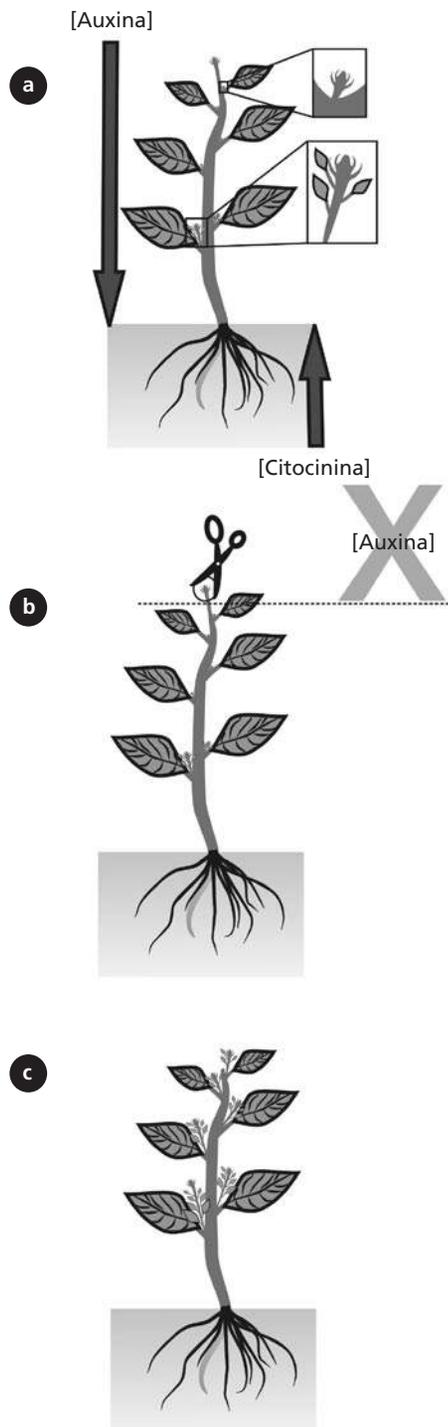


Figura 21.5: A poda e a remoção da dominância apical. (a) A auxina é produzida pelo meristema apical da parte aérea e é translocada para a parte de baixo da planta. Já a citocinina é produzida nos meristemas apicais das raízes e é distribuída para o restante da planta. (b) Com a remoção do ápice, a concentração de auxina nas gemas mais próximas ao meristema apical cai bruscamente, e as gemas começam a crescer. (c) A gema que estava mais próxima do meristema que foi removido se desenvolve e assume a função de meristema apical.

Auxinas: o mau uso do conhecimento

Ainda com relação ao efeito de concentração, e baseado na máxima que adverte que “a diferença entre o remédio e o veneno está na dose”, podemos citar a utilização de herbicidas baseados em auxinas sintéticas, como o Ácido-2,4-diclorofenoxiacético, ou 2,4D, também conhecido como agente laranja. Essa auxina sintética teve seu uso proibido como herbicida por causa de sua atividade mutagênica, mas foi por muito tempo utilizada controlando o crescimento de ervas daninhas em campos de cultivo, especialmente de monocotiledôneas, que são menos sensíveis a essa auxina do que às dicotiledôneas invasoras.

Assim, a aplicação de grandes quantidades nos campos impedia o crescimento de dicotiledôneas indesejáveis, sem afetar o desenvolvimento de monocotiledôneas, como o milho, embora compromettesse seriamente o ambiente. Além disso, o 2,4D foi muito utilizado na Guerra do Vietnã como desfolhante de grandes áreas de florestas, que os vietcongues usavam como esconderijo e de onde atacavam o exército americano. A aplicação era feita com a utilização de aviões, com altas concentrações de 2,4D, para induzir a queda das folhas das árvores e permitir, assim, a passagem das tropas sem o risco de emboscadas. O problema é que os vietcongues e os soldados americanos expostos a altas concentrações de 2,4D desenvolveram tipos diversos de câncer. Esse é mais um exemplo de como o conhecimento científico mal empregado pode reverter em sérios malefícios ao homem e ao ambiente.

Auxinas e a Senescência

As folhas das plantas vivem por um certo período de tempo e são constantemente substituídas, graças à ação do meristema apical, e, junto com as flores e frutos, têm crescimento determinado. Então, as folhas velhas, ao terminarem a vida útil, morrem e se destacam do corpo da planta, assim como as flores e os frutos. Quando jovens, elas possuem camadas de células meristemáticas capazes de produzir auxinas, além das que recebem do resto da planta, e essa maior concentração de auxina inibe a senescência destes órgãos. À medida que o órgão vai envelhecendo, a concentração de auxinas vai diminuindo e a senescência vai, então, aumentando. Como o Etileno, é também conhecido como hormônio da senescência, mais uma vez temos um efeito de ação conjunta da Auxina com outro tipo de hormônio! Mas nós voltaremos a discutir esse processo na Aula 23.



A Senescência é compreendida como o processo que leva à morte de células, tecidos e órgãos de um organismo. Para as plantas, esse fenômeno é facilmente perceptível pela queda de folhas e flores durante os processos de maturação que vão evoluir até o apodrecimento dos frutos.

Auxinas e a Floração e Frutificação

Em algumas plantas, como Bromélias (abacaxi e gravatá), a aplicação exógena de auxinas promove fortemente a floração, e este fato é comercialmente importante para aumentar a produção de plantas que são vendidas com flor, ou para aumentar a produção de frutos. Alguns cientistas também verificaram que a perfeita formação do meristema floral, que dá origem à flor, é dependente da quantidade de Auxina que chega até ele. Ora, para que as estruturas florais se formem, são necessários diversos eventos de divisão e diferenciação celular; então, há necessidade de Auxina!

Depois da fecundação da flor, ocorre a frutificação; tanto a formação da flor como a regulação do crescimento do fruto são dependentes de auxina. Durante tais processos, parte da Auxina é liberada, inicialmente pelo crescimento do tubo polínico e posteriormente, pelas sementes que estão se formando. À medida que o estabelecimento do fruto vai se completando, também a auxina produzida pelas células do endosperma do fruto começa a ser utilizada.



ATIVIDADE

3. Observe a **Figura 21.6**. Uma raiz está crescendo dentro do solo, em linha reta, sem se inclinar e se depara com um obstáculo. Ela inicia a curvatura, para superar o obstáculo e o ângulo de inclinação começa a aumentar. Preencha a tabela, associando o tamanho das células da raiz, nos lados com e sem inclinação e justifique a sua resposta.

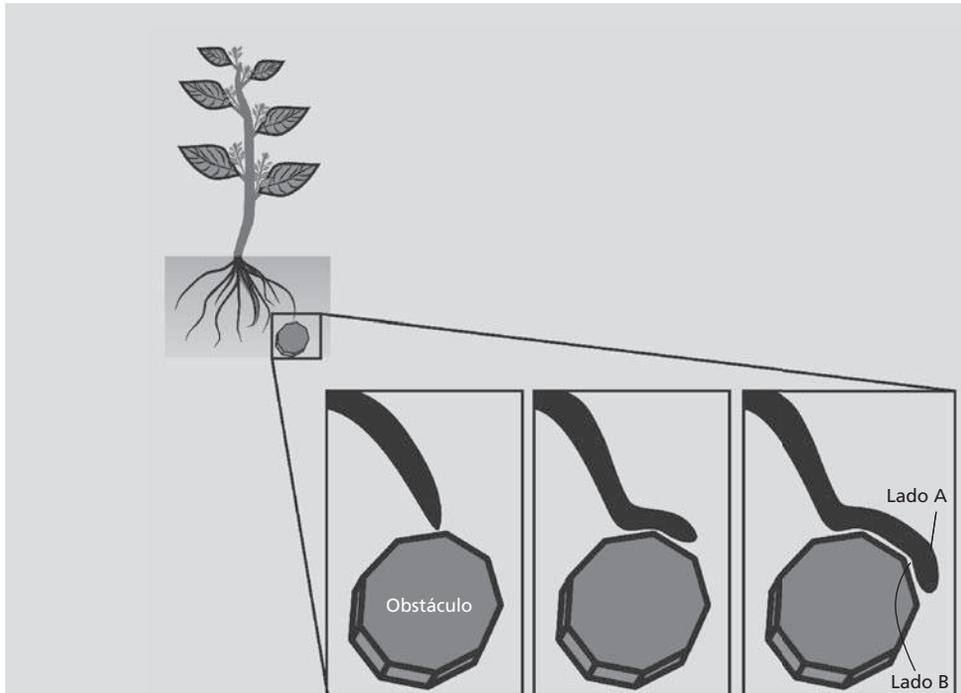


Figura 21.6: Curvatura em um segmento de raiz, ao se desviar de um obstáculo.

Tamanho médio da célula	Lado da célula
15 μ m	
20 μ m	

RESPOSTA COMENTADA

Vamos conferir os resultados: se você escolheu a célula menor como a do lado A, não considerou a hipótese de que é o alongamento que induz a curvatura. É o mesmo processo que ocorre na curvatura do ápice da parte aérea em resposta à iluminação! E assim, as células do lado A deverão ser maiores do que as do lado B!

4. A um grupo de células foi adicionada uma auxina e, posteriormente, foi observada que a taxa de alongamento das células aumentou. Quando a essas células foi adicionada auxina, juntamente com um potente inibidor do transporte eletrogênico de prótons, que inibe a atividade das proteínas que degradam ATP, a taxa de alongamento não mais aumentou. Qual é o envolvimento do ATP no alongamento induzido por auxinas?

O ATP serve como fonte de energia, garantindo o transporte do próton (H⁺) para fora da célula, no ambiente da parede celular, mesmo contra o gradiente de concentração. A atividade das ATPases de membrana, que degradam ATP, garante que o próton chegue até a parede celular e, assim, induza o alongamento.

RESPOSTA COMENTADA

Vamos conferir sua resposta: se você afirmou que o ATP é a moeda energética da célula e dessa forma auxilia no mecanismo de ação das auxinas, não está errado, mas um tanto incompleto, pois não indicou como esse ATP é usado durante o alongamento induzido por auxinas. Mas, se em sua resposta incluiu também a idéia de que esse ATP garante o funcionamento de vários processos celulares, como o transporte de prótons contra um gradiente de concentração, acertou totalmente. Essa é uma forma que a célula encontrou para que o alongamento induzido por auxinas ocorra independente da concentração externa de prótons! Pode também estar ocorrendo:

- 1 – uma redução da síntese de novas proteínas, que depende de ATP para ocorrer;*
- 2 – a síntese de novo da própria ATPase e*
- 3 – a síntese de enzimas que de degradação da parede celular.*

Mais uma vez, caso tenha cometido algum equívoco ou ainda reste alguma dúvida, reestude o Auxina – o primeiro hormônio descrito.

CONCLUSÃO

A promoção do crescimento induzida por auxina está relacionada à indução do alongamento das células, o que contribui para o crescimento da parte aérea e do sistema radicular. As auxinas também auxiliam nos processos de diferenciação celular, especialmente na indução do enraizamento e na diferenciação de tecidos vasculares. Dentre os fenômenos por elas regulados estão a dominância apical, o fototropismo, o geotropismo e o desenvolvimento de flores e frutos.

RESUMO

As Auxinas são consideradas fortes promotoras do crescimento, estimulando o alongamento celular tanto na parte aérea como na raiz, que resulta no crescimento desses órgãos. Além disso, regulam fenômenos diversos, como o Fototropismo e o Geotropismo, a Dominância Apical, o desenvolvimento de flores e frutos; assim como favorecem o enraizamento e a diferenciação de tecidos vasculares e retardam a senescência de folhas, flores e frutos.

ATIVIDADES FINAIS

1. Quais as propriedades que uma substância deve possuir para ser considerada um hormônio?

2. As auxinas regulam diversos fenômenos fisiológicos em plantas. Mesmo considerando que as respostas a tais fenômenos ocorrem primordialmente nas células, alguns tipos de efeitos fisiológicos se refletem na planta inteira. Assim, pergunta-se:

a) Quais processos poderiam ser considerados como de efeito na planta inteira?

b) Quais seriam os efeitos fisiológicos em nível celular?

RESPOSTAS COMENTADAS

1. Se você incluiu em sua resposta: o caráter regulatório de uma determinada função fisiológica em detrimento de sua utilização nutricional; a capacidade de ser reconhecido pelas células em que atuam, pela ligação a um receptor específico, ou às células-alvo; a diferença de sensibilidade que essas células apresentam em função do tipo, de idade, maturação fisiológica etc. e a capacidade de induzir uma alteração no padrão de expressão desses genes e que essa alteração é responsável pela resposta fisiológica, atingiu a proposição desta atividade com sucesso.

2. a) Se você citou a dominância apical, o fototropismo, o geotropismo, o desenvolvimento de flores e frutos, é porque entendeu que tais fenômenos refletem-se em alterações drásticas no padrão de desenvolvimento da planta. Se, além disso, incluiu o mecanismo ou a importância destes, complementou com brilhantismo sua resposta.

2. b) Se você considerou somente o alongamento celular como o principal processo regulado por auxinas em nível celular, sua resposta está parcialmente correta, porque não considerou que as auxinas, em conjunto com outros hormônios, atuam também na diferenciação celular. Mas, se você se lembrou disso, parabéns!

AUTO-AVALIAÇÃO

Estamos estudando, em uma seqüência de aulas (20 a 23), os efeitos dos hormônios de plantas sobre o desenvolvimento. Para que seu aproveitamento dentro desses tópicos seja total, é imprescindível que esteja entendendo muito bem a ação das auxinas, o primeiro dos hormônios das plantas, abordado nesta aula. Então, caso tenha alguma dúvida sobre a ação das auxinas no controle dos padrões de crescimento e desenvolvimento de plantas, retorne ao texto e/ou contate o tutor. Contudo, caso queira conhecer um pouco mais sobre as Auxinas, busque os textos indicados nas referências.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, iremos discriminar as respostas fisiológicas atribuídas a outros dois grupos de hormônios também considerados promotores do crescimento: as Citocininas e as Giberelinas.

As citocininas e giberelinas

Meta da aula

Apresentar os principais efeitos fisiológicos regulados por citocininas e giberelinas.

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Descrever os principais fenômenos fisiológicos regulados por citocininas e giberelinas.
- Dar exemplos de seus efeitos no desenvolvimento do vegetal.

Pré-requisitos

Para um melhor aproveitamento desta aula, você deverá rever nas aulas anteriores os conceitos de crescimento, alongamento, divisão, diferenciação celular e senescência (Aula 20 de Botânica II) e também os efeitos fisiológicos regulados por auxinas, como o alongamento celular, abordados na Aula 21.

INTRODUÇÃO

Na aula passada abordamos os efeitos fisiológicos das Auxinas e também verificamos que alguns deles ocorrem sob a regulação de mais de um grupo de hormônio. A opção de estudarmos estes efeitos pelo principal grupo de hormônio que o regula é uma forma didática de discutirmos diversos fenômenos fisiológicos, e de fato é a forma mais comum encontrada em vários livros-texto de Fisiologia. Mas no organismo do vegetal, em muitos casos, o que realmente ocorre é a ação coordenada de mais de um hormônio. Assim, nesta aula iremos discutir a ação de mais dois grupos de hormônios de plantas: as citocininas e as giberelinas.

CITOCININAS

As citocininas são assim denominadas graças ao principal fenômeno que regulam: a divisão celular ou citocinese. A descoberta deste grupo está intimamente associada com as diversas tentativas de vários cientistas de conseguirem induzir a divisão celular em experimentos controlados de cultura de tecidos, como também veremos na Aula 29. Já em 1913, um grande cientista austríaco, Haberlandt, descobriu que uma substância nos tecidos vasculares da planta era capaz de induzir a divisão celular.

Após este período iniciaram-se as tentativas de obtenção de plantas inteiras em cultura, mas quando um fragmento de tecido ou órgão era colocado para crescer em um meio de cultura, contendo todos os nutrientes essenciais à sua sobrevivência conhecidos naquela época, as células se mantinham vivas mas não se dividiam. Na década de 50 do século passado, alguns cientistas liderados por Skoog, construíram um bioensaio: pedaços do tecido vascular era colocado sobre a região da medula de tabaco, e assim conseguiam obter divisões celulares nas células da medula! Eles prosseguiram tentando e acrescentando várias outras substâncias ao meio de cultura, como o Ácido Indol Acético (AIA), uma auxina. Com a adição de auxina, as células da medula alongavam, mas não se dividiam. Eles prosseguiram até obter uma substância isolada do esperma de arenque — a cinetina, que era capaz de induzir a divisão celular e, mais ainda, a concentração adequada de cinetina e de auxina (AIA) era capaz de induzir a formação de uma planta inteira! Repare que a cinetina é uma citocinina sintética (**Figura 22.1**), pois a planta não é capaz de produzi-la. A Cinetina é, na verdade, um produto da quebra do DNA do esperma de arenque, e é uma amino purina.

Repare que estas experiências nos leva a uma conclusão bastante interessante: para a completa formação do corpo da planta é necessária a ação de auxinas e citocininas, tanto para que as células possam crescer (indução do alongamento e da divisão celular), mas também para a alteração do padrão de diferenciação das células! E de fato, a razão entre citocininas e auxinas é o principal elemento de regulação da morfogênese na cultura de tecidos de plantas. Lembre-se de que as células da medula de tabaco já tinham um padrão de determinação específico, que foi alterado, pois é necessário que uma célula ou um grupo de células reverta a um estágio meristemático, capaz de formar a nova planta! Esta ação coordenada destes dois hormônios é tão importante que torna os mutantes totais destes hormônios inviáveis em condições de crescimento não controlado. Tanto os mutantes parciais, que produzem menos hormônios do que os não mutantes, como os mutantes totais são considerados ferramentas fundamentais ao estudo dos efeitos dos hormônios de plantas.

Citocininas e a divisão celular

Para que uma célula vegetal se divida, deve ocorrer a divisão de seus componentes internos, que deve ser seguida da formação de uma nova parede celular (**Figura 22.2**), que irá separar as células-filha. Assim, a célula irá entrar em etapas diferentes do ciclo celular. As citocininas aceleram a transição da fase G2 para a mitose, em que ocorrerá a divisão do material genético. Diversos pesquisadores têm verificado que as citocininas induzem a síntese de proteínas específicas, inclusive das que controlam o ciclo celular. Lembre-se de que o controle do ciclo celular é fundamental, pois somente assim poderão ser controladas as taxas de divisão celular!

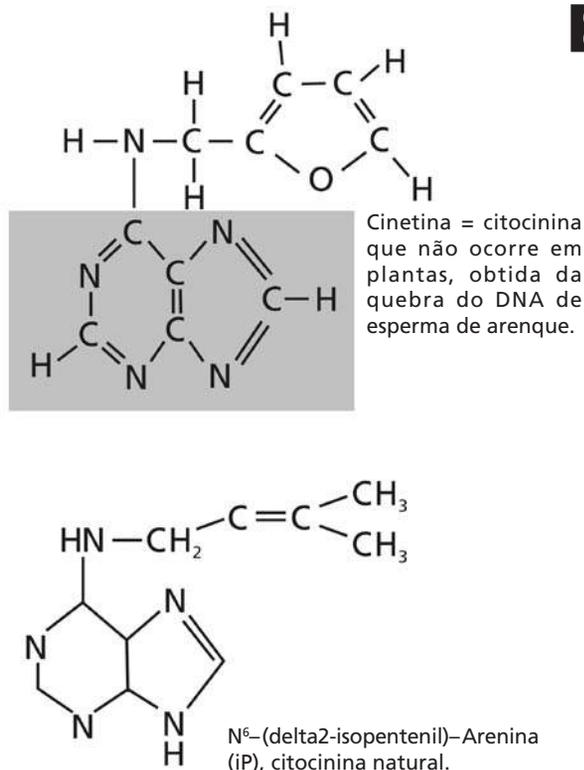
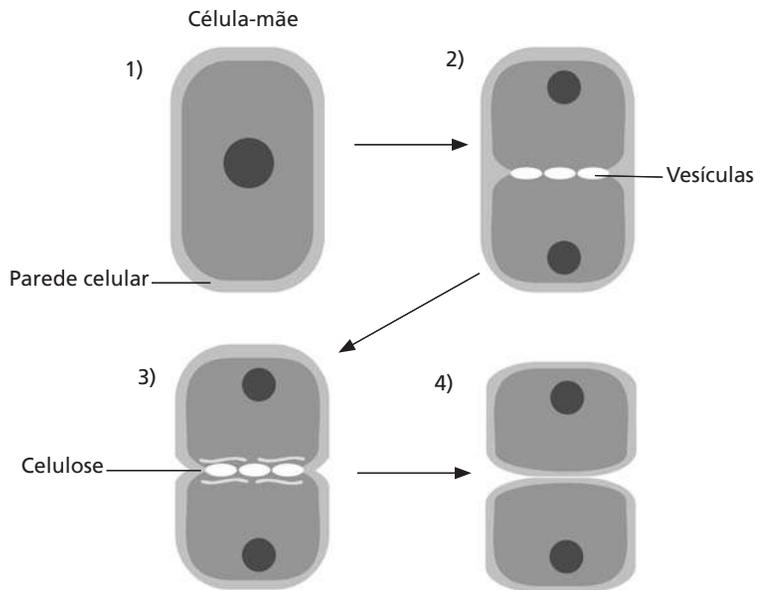


Figura 22.1. Estrutura química das citocininas.

Figura 22.2: A citocinese ou divisão celular e a formação da parede.

A célula-mãe (1) irá formar duas células-filha, que obviamente devem estar separadas pela parede celular. Para tanto, além da divisão do material genético, a célula deve, então desencadear a síntese de uma parede, no plano de divisão das duas novas células. No eixo de divisão, várias vesículas vão se agrupando (2), e irão secretar os componentes da nova parede, principalmente a celulose (3). O alinhamento destas vesículas é dependente de citocininas. Ao final do processo de divisão (4), as células-filhas estão completamente formadas, divididas por uma parede.



Citocininas e a reversão da Dominância Apical : o crescimento das raízes e da parte aérea

Na aula passada, discutimos o efeito das auxinas no controle da forma da parte aérea, no fenômeno conhecido por Dominância Apical. Sabemos, então, que este processo pode ser revertido pela remoção do ápice meristemático, ou pela aplicação exógena de citocininas. Mas repare bem: a aplicação exógena é uma estratégia que irá comprometer o que acontece normalmente na planta, que responde a um balanço entre a concentração destes dois hormônios. Quando citocininas forem aplicadas sobre uma gema, em uma concentração muito maior do que a ocorre no tecido, ocorre um desbalanço nesta relação, pois a concentração de auxina em relação à de citocininas fica menor, e, assim, a repressão ao crescimento da gema é removida!

O que você ainda não sabe é que as citocininas são produzidas principalmente nos meristemas apicais da raiz e transportadas via xilema, junto com a água e os sais minerais (embriões e frutos também produzem citocininas). Veja que regulação interessante: as auxinas produzidas no meristema apical induzem a formação de raízes e reprimem crescimento dos brotos laterais, enquanto as citocininas, produzidas nas raízes induzem a diferenciação e o crescimento de brotos e reprimem o crescimento da raiz! Outra questão interessante nesta relação entre auxinas e citocinas relaciona-se à sensibilidade das células a estes hormônios: em geral as

células do caule são menos sensíveis à auxina do que as da raiz, o inverso para as citocininas. Ou seja, os tecidos produtores de cada um dos tipos de hormônios estão submetidos a maiores concentrações. Isto explica a necessidade de concentrações diferentes ou de um balanço diferente entre os dois, para induzir respostas na raiz ou na parte aérea.

E por que o tamanho da raiz e da parte aérea é assim tão importante?

Lembre-se das funções e necessidades de cada uma destas partes e tente responder. Vamos então conferir : as raízes captam água e sais minerais, que são distribuídos para o restante da planta, enquanto a parte aérea fixa o carbono atmosférico na fotossíntese e libera vapor d'água e O₂ na transpiração estomática, garantido assim a subida da água dentro do xilema. Para a raiz crescer, depende do carbono produzido pela parte aérea. E esta para crescer dependerá de um maior aporte de água e sais fornecidos pelas raízes!

Citocininas e o Enverdecimento e a Expansão dos Cotilédones

Você já sabe que as plantas precisam da luz para a fotossíntese e também para o controle de sua morfogênese. Uma das etapas cruciais ao estabelecimento de uma plântula recém-germinada é a maturação dos cloroplastos, que inclui a perfeita formação do sistema de membranas interno e a síntese das proteínas e dos pigmentos fotossintéticos. Normalmente, os cotilédones e o embrião, ao receberem luz, convertem os etioplastos (ou plastídeos sem cor) em cloroplastos e esta conversão é dependente também de citocininas, que aumentam as taxas de síntese dos pigmentos acessórios, das proteínas e da clorofila.

Além disso, quando são aplicadas citocininas em cotilédones de várias espécies de dicotiledôneas, estes ficam maiores, pois alongam-se e se expandem mais ainda se colocados sob luz. Os mecanismos que as citocininas usam para aumentar a expansão dos cotilédones não são iguais aos observados com as auxinas, e ainda estão sendo estudados.



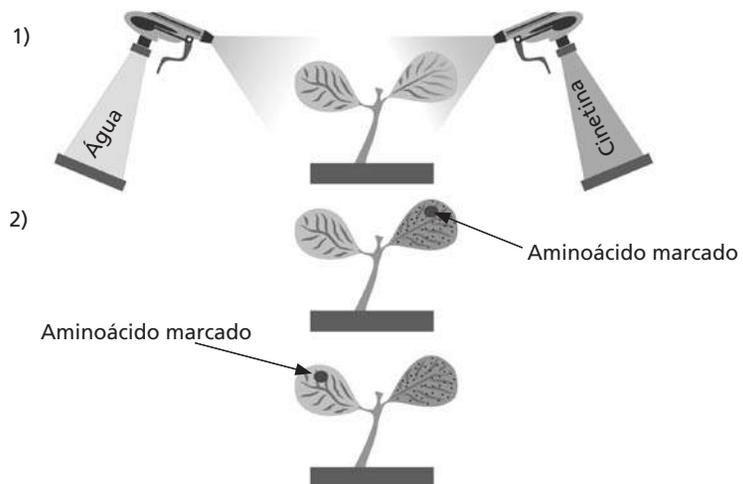
O Enverdecimento, ou capacidade das células e tecidos tornarem-se verde, engloba os processos fisiológicos de formação da clorofila e maturação do cloroplasto.

Citocininas : Mobilização de nutrientes nas relações fonte-dreno e efeito anti-senescente

Outro efeito fisiológico atribuído às citocininas está relacionado à capacidade de mobilização de nutrientes que os tecidos que as recebem possuem. Estas experiências foram realizadas usando diversos compostos orgânicos como açúcares e aminoácidos, marcados com elementos radioativos como ^{14}C ou ^3H . Os cientistas aplicavam citocininas sobre a superfície de folhas cotiledonares que recebiam açúcares ou aminoácidos marcados. Após algum tempo, suficiente para que os açúcares e aminoácidos fossem distribuídos, eles observavam que a marcação da radioatividade era maior nos tecidos tratados com citocininas (**Figura 22.3**), ou seja, os nutrientes eram preferencialmente alocados nas regiões que tinham maiores concentrações do hormônio, ou seja, nas folhas cotiledonares.

Figura. 22.3: Mobilização de nutrientes induzida por citocininas.

Em uma das folhas cotiledonares é aplicado cinetina e em outra, apenas água (1). O aminoácido marcado foi aplicado sob a superfície da folha que recebeu água (2) ou sobre a que recebeu cinetina (3). Em ambos os casos, a autorradiografia revela que apenas a folha tratada com cinetina concentra os aminoácidos marcados.



Assim, os tecidos que, tiverem maiores concentrações de citocininas, serão capazes de captar mais nutrientes. E que tecidos são estes? Os tecidos jovens, que estão crescendo e por isso têm ainda altas taxas de divisão celular e de diferenciação, tais como as folhas jovens, conforme discutimos na Aula 21 Botânica 1. Naquele momento, dissemos que o padrão de distribuição de carbono seguia as relações de fonte e dreno, ou seja, tecidos jovens que necessitam de carbono para formar suas estruturas usam o que é produzido pela fotossíntese das folhas já totalmente expandidas, as principais produtoras. Desta forma as folhas jovens, com maiores teores de citocininas, conseguem remover nutrientes das folhas mais velhas!

Quando o tipo de experiência descrito anteriormente foi realizado com folhas destacadas da planta, observou-se que as folhas tratadas com citocininas demoravam mais tempo para senescerem. Ora, quando uma folha é destacada, não irá receber nutrientes da planta. Os cloroplastos então começam a degradar clorofila, proteínas, lipídeos, entre outros compostos, e as folhas vão ficando cada vez menos verdes e mais amareladas, ou seja, começam a senescer, como discutimos na Aula 20. O que as citocininas fazem para adiar este processo? Vários cientistas acreditam que as citocininas atuem na proteção do sistema de membranas contra os processos degradativos que estão associados à senescência. Tanto em plantas como em animais, um dos principais efeitos do envelhecimento é o aumento da oxidação de lipídeos dos sistemas de membrana, pela ação de radicais superóxido O_2^- e hidroxila OH. A ocorrência de lesões no sistema de membranas de uma célula compromete seu funcionamento, acarretando a morte celular. O efeito das citocininas está relacionado à diminuição da formação e velocidade de quebra dos radicais livres, diminuindo as taxas de oxidação dos lipídeos de membranas e prolongando, assim, a vida das células.

Este efeito antisenescente pode ter aplicações comerciais: os ramos com flores cortados e colocados em água envelhecem rapidamente pela falta de hormônio. A adição de citocinina na água dos vasos, ou a aplicação logo após o corte da planta, irá fazer com que durem bem mais tempo!

Antes de passarmos ao próximo hormônio, vamos fazer um exercício para revisar as principais funções das citocininas em plantas.



ATIVIDADE

1. Quais são os principais efeitos fisiológicos regulados por citocininas? Em que processos este hormônio atua em conjunto com as auxinas? (Cite pelo menos dois processos).

RESPOSTA COMENTADA

Se sua resposta afirmou que as auxinas induzem o alongamento celular, enquanto as citocininas controlam a citocinese ou divisão celular, está correto. As citocininas atuam na quebra da dominância apical induzida por auxinas, e a relação entre as concentrações de ambos resulta na manutenção da forma da planta. Assim, as auxinas

produzidas na parte aérea induzem a diferenciação de raízes e reprimem o crescimento dos brotos laterais; enquanto as citocininas, produzidas nas raízes, induzem a diferenciação e o crescimento de gemas e inibem o crescimento do sistema radicular. O efeito combinado destes dois hormônios está baseado na diferença de sensibilidade das células da raiz e do caule, cada um deles. Parabéns, pois você atingiu o objetivo da atividade. Mas se citou que as citocininas atuam também nas relações fonte-dreno, auxiliando na mobilização de nutrientes nas células do dreno-folhas jovens também está correto, e neste caso, esta função está correlacionada ao efeito anti-senescente que possuem, fazendo com que as folhas isoladas da planta morram menos rapidamente.

Vamos, então, passar ao próximo grupo, as giberelinas. Mas se você tem qualquer dúvida, retorne ao texto ou entre em contato com o tutor de sua turma

GIBERELINAS

A descoberta das giberelinas está associada a estudos realizados a partir de 1926, no Japão, pelo cientista E. Kurosawa. Ele estava trabalhando com uma doença que atacava o arroz, fazendo com que crescesse mais do que o normal, ficando assim mais fino e frágil – débil — quebrando com mais facilidade. A doença, conhecida como demência do arroz, era causada por um fungo, *Gibberella fujikuroi*, que liberava uma substância dentro da planta — um dos muitos tipos de giberelinas. O crescimento anormal das plantas doentes era consequência de uma quantidade excessivamente grande de giberelina liberada pelo fungo dentro da planta. Mas o isolamento da substância somente ocorreu por volta dos anos 50 do século passado, por cientistas americanos e ingleses, após a Segunda Grande Guerra.

Estudos posteriores mostraram que substâncias semelhantes às produzidas pelo fungo *Gibberella* estão normalmente presentes nas plantas, controlando diversas funções fisiológicas, como veremos nesta aula. Até hoje, mais de 130 tipos diferentes de giberelinas foram descritos (Figura 23.4). Dentro do grupo, a forma mais estudada é o Ácido Giberélico no 3 ou AG3, que é também produzido pelo fungo *Gibberella fujikuroi*. A função de maior destaque das Giberelinas é a regulação da altura da planta, mas os locais onde são encontrados os

maiores teores são as sementes imaturas e os frutos em desenvolvimento, como discutiremos a seguir. Também dentre todos os grupos de hormônios, este é o que possui o maior número de aplicações comerciais.

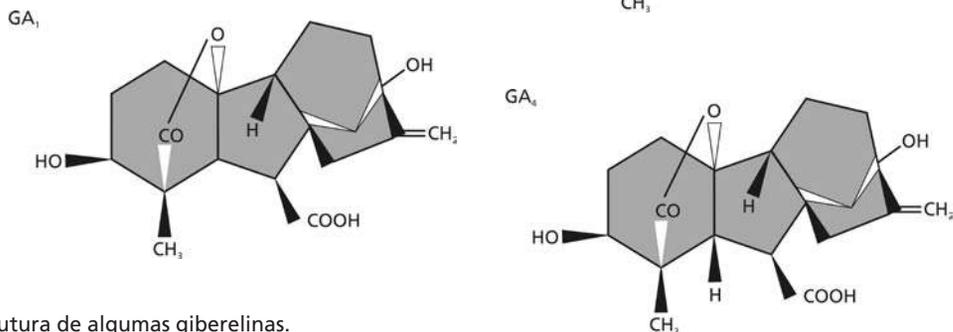


Figura 22.4 : Estrutura de algumas giberelinas.

Giberelinas e o crescimento da parte aérea pelo alongamento dos internós

As giberelinas têm efeitos drásticos no alongamento dos caules de plantas, através da estimulação tanto da divisão como do alongamento celular nas células dos internós do caule. Mas na aula anterior verificamos que o alongamento celular era regulado por auxinas. A diferença entre o modo de ação entre estes dois hormônios é que as giberelinas são capazes de promover o crescimento em extensão de plantas intactas, sem acidificação, e em períodos de tempo diferentes - as auxinas em até 40 minutos e as giberelinas em algumas horas, dependendo da espécie. Além disso, as giberelinas também são capazes de aumentar o crescimento pelo estímulo da divisão celular, e não só do alongamento, como ocorre com as auxinas. Por outro lado, as auxinas são capazes de induzir a síntese de giberelinas e, assim, o crescimento total e o desenvolvimento da planta é resultado da ação coordenada de muitos sinais combinados. Assim, o caule cresce mais pela ação das giberelinas, mas não exclusivamente por alongamento das células: são capazes de induzir a divisão celular, e deste modo, a estrutura cresce.

Os efeitos de giberelinas sobre o crescimento do caule são particularmente visíveis em plantas que fazem a reversão do crescimento em forma de roseta — com os internós curtos e assim com menor altura, para o crescimento normal, em decorrência de estimulação luminosa (na

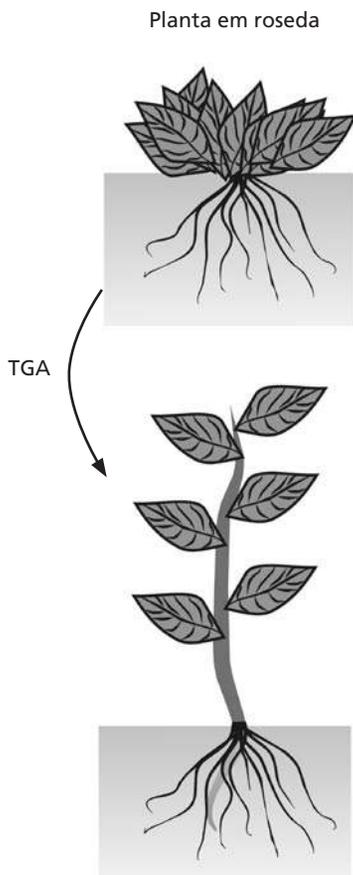


Figura 22.5 : Crescimento em roseta revertido pela adição de giberelina .

Aula 29, onde a fotomorfogênese será abordada, voltaremos a discutir este efeito). Para a planta crescer em altura, os internós devem crescer mais, o que é estimulado por giberelinas (**Figura 22.5**). Um fator que, em muito, auxiliou os estudos dos efeitos de giberelinas em plantas é que o número de tipos é muito grande — mais de 100 — os mutantes parciais e até os totais foram obtidos de forma mais fácil do que os outros hormônios de plantas. E assim, um mutante parcial, que tem crescimento reduzido, porque produz pouca giberelina, pode crescer normalmente, desde que lhe seja fornecida giberelina!

Uma aplicação comercial bastante interessante das giberelinas é a sua utilização no incremento da produção de cana-de-açúcar. Como sabemos, esta planta é capaz de armazenar sacarose em seus caules, em vez de amido, como faz a maioria das plantas. Nosso país hoje é o maior produtor de sacarose e energia — álcool, obtidos de cana-de-açúcar, e não temos problemas drásticos de redução do crescimento no inverno, por redução de temperatura, como ocorre em alguns outros produtores de regiões mais frias. Neste caso é recomendável a aplicação de giberilinas, que irão estimular o alongamento dos internós dos colmos.

Giberelinas e a floração

Assim como os humanos, as plantas que ainda não entraram na fase de reprodução sexuada são chamadas juvenis. O período de juvenilidade obviamente varia bastante entre as espécies, é mais longo nas árvores, que vivem por mais tempo. Uma forma de fazer a planta sair do período juvenil é através da aplicação de giberelinas, o que é comercialmente interessante pois assim pode-se diminuir o tempo necessário para a obtenção de flores e frutos.

A indução de floração é um dos mais intrigantes fenômenos relacionados à fotomorfogênese, ou seja, aos efeitos da luz sobre a morfogênese de plantas, objeto de nossa atenção especial na Aula 26 deste módulo.

Giberelinas e a frutificação

As giberelinas também auxiliam no estabelecimento do fruto, favorecendo o seu crescimento após a polinização. Assim como as Auxinas, podem também causar o desenvolvimento de frutos partenocárpicos (sem sementes), como em maçã, abóbora, berinjela e

groselha. Uma das principais aplicações comerciais das Giberelinas ocorre na produção de uvas para consumo *in natura*. O ácido giberélico promove a produção de frutos maiores, sem sementes e mais soltos entre si, pois ocorre maior crescimento do talo que sustenta os frutos. (Figura 22.6).

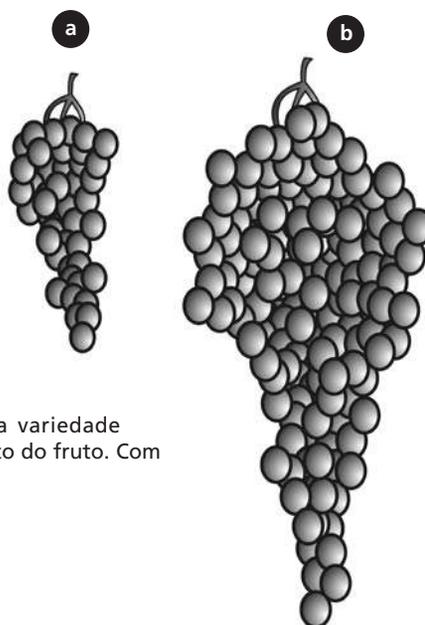


Figura 22.6: Incremento no crescimento do cacho de uvas da variedade Thompson após a adição de giberelina durante o desenvolvimento do fruto. Com adição de giberelinas(a) uvas sem a adição de giberelinas (b).

Giberelinas e a germinação de sementes

Nós iremos discutir este processo também na Aula 24, mas já sabemos que para que a germinação ocorra o embrião deverá iniciar seu crescimento utilizando as reservas armazenadas nos cotilédones (dependendo se a planta é mono ou dicotiledônea). A mobilização das reservas da semente é desencadeada pela ação das giberelinas, que aumentam a atividade e a síntese das enzimas responsáveis pela degradação das reservas da semente, a principal dela, a α -amilase, que degrada o amido armazenado.

Com o aumento das taxas de atividade da α -amilase, induzido por giberelinas, surgiu mais uma aplicação comercial, desta vez na indústria de cerveja. A produção de cerveja depende da qualidade da mistura que alimenta a levedura, e a principal mistura utilizada é a baseada em cevada, *Hordeum vulgare*, que é posta para germinar e, antes de o processo se completar, é seca, triturada e adicionada a levedura. A adição de giberelinas durante a fase inicial de germinação da cevada faz com que mais amido seja degradado e convertido em açúcar e, assim, mais açúcar é liberado para a levedura.

Antes de terminarmos esta aula, passemos a uma atividade de revisão dos efeitos fisiológicos de giberelinas.



ATIVIDADE

2. Ao analisar o crescimento do caule, verificamos que as giberelinas induzem o alongamento da estrutura pelo favorecimento do crescimento dos internós, aumentando a distância entre eles. Mas dissemos anteriormente (Aula 21 de Botânica II) que as auxinas eram capazes de induzir o alongamento celular e também auxiliar no crescimento da parte aérea. Assim, qual a participação de cada um destes hormônios neste processo?

RESPOSTA COMENTADA

Se você afirmou o crescimento total da parte aérea, incluindo o caule, resulta da ação coordenada de muitos sinais combinados, como as auxinas, as giberelinas e até das citocininas, está absolutamente correto. Caso tenha incluído em sua resposta a que as auxinas são capazes de induzir a síntese de giberelinas, mas os dois hormônios possuem diferenças entre os seus modos de ação, já que as giberelinas são capazes de promover o crescimento em extensão de plantas intactas, sem acidificação e com uma cinética temporal diferenciada, sua resposta foi completa. Prossiga para a próxima atividade.

3. Marque verdadeiro ou falso nas frases abaixo, com relação aos efeitos fisiológicos de giberelinas em plantas :

- a. () são potentes inibidores do alongamento dos internós, controlando assim o crescimento da parte aérea;
- b. () não têm qualquer efeito sobre a reversão da juvenilidade;
- c. () atuam, juntamente com as auxinas, no processo de frutificação, favorecendo o crescimento dos frutos e também induzindo a obtenção de frutos partenocárpicos (sem semente) em alguns tipos de frutos;
- d. () auxiliam na germinação de sementes, favorecendo a mobilização das reservas armazenadas para o embrião.

RESPOSTA COMENTADA

Caso você tenha marcado as duas primeiras frases como erradas, é porque entendem que as giberelinas estimulam o crescimento dos internos e também propiciam a reversão da juvenilidade. As afirmativas c e d estão corretas. Persistindo alguma dúvida, volte ao item correspondente do texto ou, então, entre em contato com o seu tutor.

CONCLUSÃO

As Citocininas controlam a divisão celular, graças à regulação das proteínas que controlam o ciclo celular. A ação coordenada de citocininas e auxinas é determinante aos processos de crescimento de plantas e na morfogênese de raízes e da parte aérea.

A altura das plantas, por sua vez, é resultado da ação das giberelinas que favorece o crescimento dos internós e, assim, determina a altura das plantas. Como as citocininas e auxinas envolvidas nos processos de alongamento e divisão, mais uma vez é verificada a ação convergente de mais de um hormônio determinando o padrão de crescimento e desenvolvimento de plantas.

RESUMO

As citocininas são produzidas nos ápices das raízes e translocadas, via xilema, até a parte aérea. Regulam o crescimento e a diferenciação das raízes e a quebra da dominância apical em gemas laterais, com efeito oposto ao das auxinas. Também estimulam a divisão celular e possuem efeito anti-senescente, retardando os processos oxidativos associados ao envelhecimento.

As giberelinas são as principais responsáveis pela altura que as plantas possuem, pois estimulam o crescimento do internó. Juntamente com as auxinas, as giberelinas atuam no desenvolvimento dos frutos. Misturas desses dois hormônios têm sido utilizadas na produção de frutos sem sementes, conhecidos como frutos partenocárpicos.

ATIVIDADES FINAIS

1. Qual a importância da regulação do processo divisão celular mediado por citocininas para a formação do corpo da planta?

2. Elabore um texto sobre a ação conjunta de auxinas e citocininas na dominância apical.
3. Qual a diferença entre o alongamento celular mediado por auxinas e o alongamento do internó, mediado por giberelinas, para o crescimento da parte aérea da planta?

RESPOSTA COMENTADA

1. Se você considerou que o controle deste processo é imprescindível e determinante ao padrão de crescimento e desenvolvimento de plantas está correto. Sua resposta estaria ainda mais completa se incluísse exemplos desta atuação conjunta, como ocorre na dominância apical.
2. Se, além da descrição no processo, seu texto baseou-se na diferença de concentração dos dois hormônios e de sensibilidade das células do caule e da raiz, você está correto. Mas se incluiu também alguma referência a importância desta ação conjunta para a manutenção da forma do corpo do indivíduo, parabéns.
3. Se você, além da questão temporal, pois os mecanismos de resposta têm duração diferenciada, citou que estes mecanismos são convergentes, conseguiu atingir o objetivo desta atividade.

AUTO-AVALIAÇÃO

Continuamos, com mais esta aula, discutindo os efeitos dos hormônios de plantas sobre o desenvolvimento, e neste caso, os efeitos das citocininas e giberelinas. Caso persista alguma dúvida sobre a ação das citocininas e giberelinas, volte ao texto correspondente e/ou contate o tutor. No caso de desejar mais informações, busque os livros indicados nas referências. Até a próxima aula!

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Até agora, discutimos os grupos de hormônios com efeitos estimulatórios no crescimento e desenvolvimento, mediados por auxinas (aula passada) e citocininas e giberelinas. Na aula seguinte, iremos discutir os efeitos de Etileno e Ácido Abscísico, os hormônios associados à contenção do crescimento em plantas. Mais uma vez, recomendo-lhe a leitura de alguns dos livros-texto citados.

Etileno e Ácido Abscísico

AULA

23

Meta da aula

Apresentar os principais efeitos fisiológicos regulados pelo Etileno e pelo Ácido Abscísico.

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Descrever os principais fenômenos fisiológicos regulados por Etileno e Ácido Abscísico.
- Dar exemplos de seus efeitos no desenvolvimento do vegetal.

Pré-requisitos

Para um melhor aproveitamento desta aula, você deverá rever, nas aulas anteriores, os conceitos de crescimento e senescência abordados na Aula 20 de Botânica II, bem como o envolvimento das auxinas na senescência de folhas, citados na Aula 21 de Botânica II. Também seria recomendável a revisão do mecanismo de abertura estomática, citado na Aula 29 de Botânica I.

INTRODUÇÃO

Até esta aula, nós discutimos os efeitos de diversos grupos de hormônios - Auxinas, Citocininas e Giberelinas - preferencialmente associados a fenômenos de estimulação do crescimento e do desenvolvimento, ressaltando, quando necessário, seus efeitos antisenescentes. Mas aqui, nesta aula, trataremos de fenômenos exatamente opostos à contenção do crescimento e até à indução de processos senescentes, mediados por Etileno ou pelo Ácido Abscísico, também conhecidos como hormônios de estresse.

Mas, por que as plantas, que têm tecidos meristemáticos que propiciam um crescimento indefinido devem possuir mecanismos de contenção do crescimento? Graças às variáveis condições bióticas e abióticas, a que estão submetidas, que podem transformar-se em condições estressantes! Por exemplo, quando o fornecimento de água diminui, a planta não mais poderá crescer, já que a água é necessária ao alongamento e à divisão celular, bem como à realização de diversas reações químicas. Por outro lado, com excesso de água, ou seja, durante um alagamento, também ocorre um transtorno para a planta, pois o fornecimento de O₂ para a raiz diminui. Assim, uma situação estressante pode ocorrer tanto por falta como por excesso de um determinado fator. A planta deve ser capaz de traduzir estes sinais externos em sinais químicos internos que irão chegar às células e desencadear uma resposta fisiológica, garantindo assim a superação do distúrbio. Ora, voltamos mais uma vez à definição de hormônio que discutimos na Aula 20! Então vamos prosseguir, iniciando nossa discussão pelo etileno.

ETILENO

Os efeitos do etileno em plantas foram descritos antes mesmo de a natureza do composto ter sido descrita: ele é um gás com alta capacidade de dispersão e extremamente potente na indução da maturação e senescência de frutos. Graças a esses efeitos e mesmo sem conhecer a causa, culturas muito antigas, como a dos chineses, já sabiam que as frutas acondicionadas em salas com muita fumaça de incenso - que libera etileno, amadureciam mais rapidamente. Na época das grandes navegações, os primeiros colonizadores que chegaram aos trópicos aprenderam, da pior forma possível, que o acondicionamento de algumas frutas em locais muito abafados, como os porões dos navios, não era o melhor jeito de transportá-las, pois apodreciam muito rapidamente e

ainda induziam o apodrecimento daquelas que normalmente demoravam mais para amadurecer. Pelo que vimos até agora, a expressão “uma maçã podre estraga um cesto” tem, assim, uma base fisiológica!

Os agricultores da região da América Central, em Porto Rico e os das Filipinas, também usavam conhecimentos empíricos semelhantes: era prática comum, em plantações de abacaxi e manga, o uso de fogueiras para sincronizar a floração e a frutificação.

Um outro efeito descrito antes da elucidação da estrutura do Etileno foi a estimulação da queda de folhas nas árvores que ficavam próximas da iluminação de rua, que no século XIX era realizada com lamparinas a gás. Tanto o vazamento das lamparinas como a fumaça de sua queima liberavam etileno ou seus análogos, induzindo a queda de folhas.

Em 1901, um estudante do Instituto de Botânica de São Petersburgo, na Rússia, ao observar o padrão de germinação de sementes de ervilha, no escuro, em seu laboratório, verificou que não era igual ao das sementes que germinavam sob a luz ou ao ar livre. As sementes no laboratório, ao germinarem, produziam plântulas com três características marcantes: o alongamento do caule era menor; o crescimento lateral era maior, ou seja, as plantas eram menores e mais grossas e, em vez de levantarem do solo, cresciam horizontalmente (alguns anos depois, este padrão de resposta foi denominado resposta tríplice). Como a iluminação do laboratório era feita também por lamparinas, o jovem estudante terminou por identificar o etileno no ar do ambiente, mas infelizmente não fez qualquer referência que indicasse a possibilidade de o gás ser produzido pela própria planta.

Posteriormente, em 1910, H. H. Cousins, do Departamento de Agricultura da Jamaica, emitiu uma nota técnica informando que o acondicionamento de bananas e laranjas em navios deveria ser evitado, porque emanações liberadas pelas laranjas faziam as bananas amadurecessem mais rápido. Atualmente sabe-se que as laranjas saudáveis não liberam tanto etileno assim, sendo bastante provável que as laranjas que provocavam as emanações estivessem contaminadas por um fungo - como o *Penicillium*, que é capaz de produzir bastante etileno. Somente em 1934, o cientista H. Gane conseguiu elucidar a estrutura química do etileno (Figura 23.1) e, em 1959, foi definitivamente comprovado que se tratava de um hormônio de plantas.

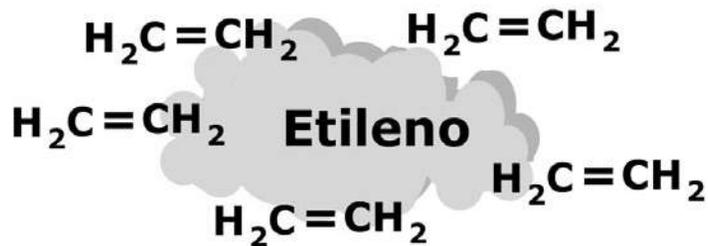


Figura 23.1: estrutura química do etileno.

Etileno : de que modo um gás pode agir como hormônio?

Quando iniciamos nossa discussão sobre o que vem a ser um hormônio, dissemos que, na maioria dos casos, ele é produzido em uma parte da planta e transportado até as células-alvo, que irão desencadear a resposta fisiológica. Mas como um gás, que não tem qualquer restrição de transporte, já que é extremamente volátil e se difunde facilmente pelos espaços intercelulares e até para fora da planta, pode ser capaz de desempenhar este papel? E para complicar um pouquinho mais, ele é produzido quase que por toda a planta, e vários tipos de agressões como alagamento, ataque de patógenos, congelamento ou altas temperaturas, entre outros, podem levar a um aumento de sua síntese.

Mais uma vez, a simplicidade dos mecanismos naturais vai nos surpreender pela eficiência: somente o etileno é um gás; os seus precursores são moléculas sólidas dissolvidas dentro do protoplasma da célula. Por isso, os mesmos processos que acarretam o aumento do etileno nas células-alvo inicialmente acarretam um aumento do precursor do etileno - o ácido amino ciclo propano, ou ACC. Assim, nas células que estão sob estresse, o que aparece primeiro é o precursor - o ACC. Nestas células acontece a transformação do ACC em Etileno (Figura 23.2), que depende de O_2 para ocorrer. Vamos a alguns exemplos desta regulação, logo a seguir, durante a discussão de alguns dos efeitos do etileno.

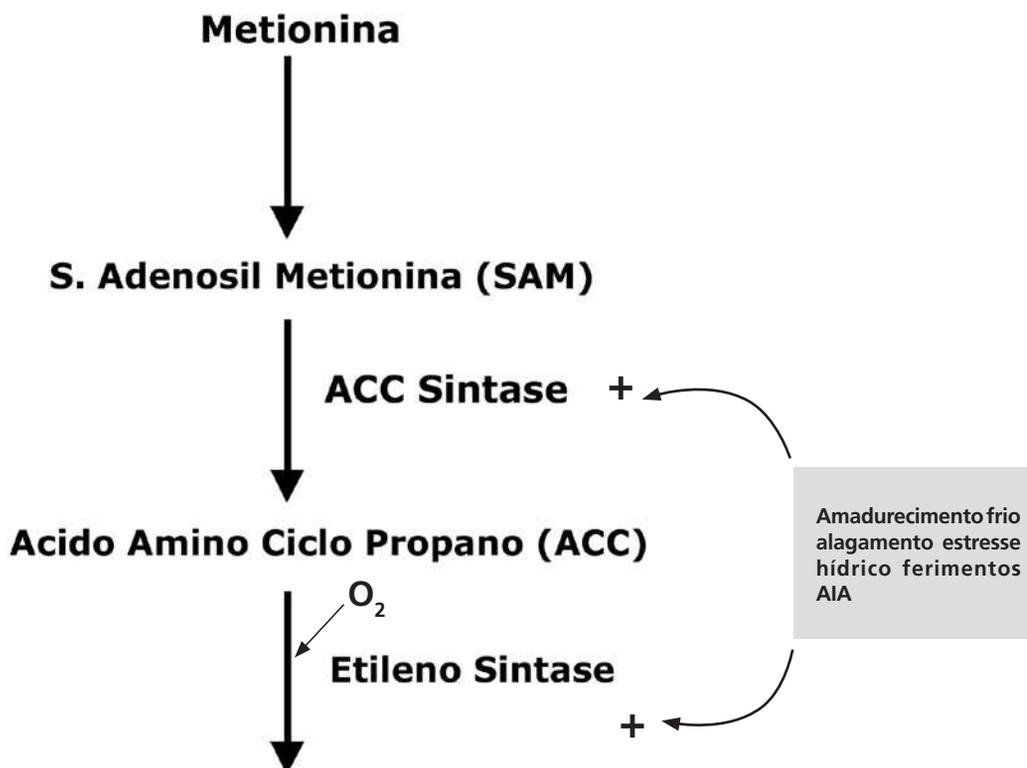


Figura 23.2: representação esquemática da síntese de etileno e sua regulação.

Etileno e seus efeitos durante o alagamento

Quando a planta é submetida a alagamento, este é primeiramente percebido pelo sistema radicular, que começa a produzir o precursor, o ACC (Figura 23.2). Como sabemos, o alagamento acarreta uma substancial redução do oxigênio disponível para o sistema radicular, e este tipo de estresse é conhecido por hipoxia (hipo =baixo, ou seja, baixos teores de oxigênio; a falta total é denominada Anoxia). Mas como você viu no item anterior, a conversão até etileno depende de O_2 , então, como ele poderá mediar a resposta fisiológica? O pouco de etileno que consegue ser produzido na raiz estimula a produção de celulases - que digerem a celulose da parede celular de algumas células do córtex da raiz, que morrem. Surgem assim espaços, preenchidos com ar, que até ajudam na flutuação das raízes - o Aerênquima. Assim, o sistema radicular pode permanecer vivo até a situação de alagamento terminar.

Mas a maior parte do ACC produzido nas raízes é, então, transportada, via xilema, até a parte aérea; lá é convertido em etileno. Outro tipo de resposta da planta, neste caso, poderá incluir a posição

das folhas, que se inclinam para baixo. Diversos tipos de estresse são também capazes de induzir este padrão de resposta, como o estresse por excesso de íons ou a infecção da planta por agentes patogênicos, embora o significado desta resposta ainda não tenha sido compreendido. A mudança na posição das folhas, com movimento para baixo, é também conhecida por epinastia. Vamos verificar o que discutimos sobre a atividade a seguir.



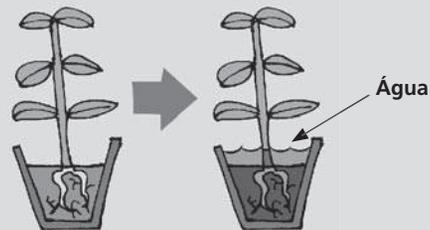
ATIVIDADE

1. Para avaliar a resposta de uma planta ao alagamento, um pesquisador resolveu induzir o processo em plantas envasadas, como na **Figura 23.3**. Em intervalos regulares de tempo após o alagamento, ele mediu a quantidade de etileno e de seu precursor, o ácido amino ciclo propano ou ACC, na seiva do xilema. Um dos resultados expressos na figura é que, após 48 horas, tanto o etileno como o ACC são transportados, através do xilema. Sabendo que a síntese do ACC precede a do etileno, justifique o ocorrido.

Figura 23.3: Variação na quantidade de etileno e de seu precursor, o ácido amino ciclo propano ou ACC.

ACC nmol.h⁻¹

Etileno nl.g⁻¹.h⁻¹



RESPOSTA COMENTADA

Caso você tenha afirmado que este resultado é consequência do alagamento, já que a substância que aparece primeiro, após 24 horas, é o ACC e não o etileno, e que o pico de etileno somente ocorre após o de ACC, acertou. Se incluiu em sua resposta a comparação do ocorrido com as plantas da situação controle, com níveis estáveis das duas substâncias, é porque entendeu que esta é a estratégia de sinalização do alagamento para o restante da planta e, assim, a quantidade de etileno encontrada após 48 horas foi conseguida graças ao ACC produzido anteriormente; parabéns, pois atingiu plenamente o objetivo da atividade.

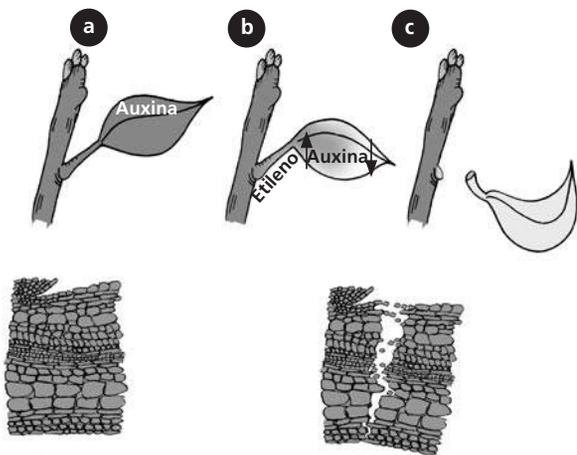
Mas se você considerou que o que aparece primeiro é o etileno, volte à Figura 23.5 e verifique no gráfico que os níveis de produção das duas substâncias são afetados pelo alagamento em momentos distintos: até 24 horas muito pouco etileno era detectado, e quantidades significativas do hormônio somente são observadas após um drástico aumento da quantidade do precursor. Caso ainda persista alguma dúvida, volte ao texto ou fale com seu tutor para esclarecê-la.

Etileno e a abscisão de folhas, flores e frutos: ação conjunta com auxinas

Durante muitos anos, estes efeitos eram atribuídos exclusivamente a outros dois hormônios, as auxinas e o ácido abscísico, que até recebeu o nome da função que naquele momento a ele era atribuída, a queda ou a abscisão de folhas. Somente recentemente, estes mecanismos foram esclarecidos e atribuídos à ação conjunta de auxinas e etileno. Mas o que representa a perda destas estruturas para a planta? Nós já sabemos que estes órgãos da planta têm crescimento determinado, ou seja, crescem até certo ponto e depois senescem e morrem, como as flores e frutos e, em muitos casos, até as folhas, principalmente nas árvores de ambientes temperados a frios.

O desprendimento destes órgãos deve ser controlado de alguma forma, senão, ao se soltarem da planta, exporiam as partes internas de seu caule a fungos e bactérias que poderiam causar danos à planta. Para evitar este problema, as plantas formam uma área de cicatrização na região próxima ao local onde o órgão irá se destacar - chamada região, zona ou camada de abscisão. Nesta região, duas ou mais camadas de células iniciam a degradação de suas paredes celulares pela ação do etileno, tal como discutimos anteriormente para a formação do Aerênquima em raízes sob alagamento - pela ativação de celulasas e outras enzimas hidrolíticas que degradam a parede celular. As células vão se soltar umas das outras e, quando o órgão se desprender da planta, os tecidos mais internos e vivos não ficam expostos.

Vamos, então, verificar o que acontece com a abscisão foliar (**Figura 23.4**): enquanto a folha está crescendo, ocorre a passagem de auxinas pela região do pecíolo e, conseqüentemente, também pelas células da camada de abscisão, evitando assim a ação do etileno. Esta fase é conhecida como fase de manutenção. A seguir, com a folha já totalmente expandida, os teores de auxina vão diminuindo à medida que a produção de etileno e a sensibilidade das células a este hormônio começam a aumentar: esta etapa é conhecida como fase indutora do desprendimento. Finalmente, na fase de desprendimento, ocorre a queda da folha, resultante da ação das enzimas que degradam a parede celular. Sem continuidade do tecido, que é garantida pela união das paredes de células adjacentes umas às outras, às células da camada de abscisão vão se soltando e a folha cai em função da gravidade.



A- Na fase de manutenção, a folha que ainda está se expandindo, produz auxina, que ao ser transportada pelo pecíolo, diminui a sensibilidade e a capacidade de respostas destas células ao etileno. As células da camada de abscisão estão íntegras, udiadas umas as outras por suas paredes, o que garante a manutenção da folha presa ao caule.

B- A medida em que a folha para de crescer, inicia-se a fase indutora do desprendimento, pois os níveis de auxina produzida pela folha diminuem, e tanto a sensibilidade ao etileno das células da camada de abscisão como a sua capacidade aumentam. As paredes destas células começam a ser gradadas e a folha começa a se soltar do pecíolo.

C- Com o completo desprendimento das células da camada de abscisão e pela ação da gravidade a folha cai, na fase de desprendimento.

Figura 23.4: Representação do mecanismo de ação de Etileno e Auxinas na abscisão foliar.

Etileno e o amadurecimento de frutos

Vamos agora pensar no que acontece com um fruto durante o amadurecimento. Para facilitar, pensemos em alguns frutos que nós conhecemos e usamos em nossa dieta (abacate, manga ou tomate). O que distingue um fruto verde de um maduro? Estas diferenças estão relacionadas aos seus mecanismos de dispersão?

Vamos lá : os frutos jovens possuem casca dura, têm polpa rígida, são ricos em fibras e muitas vezes são verdes, com predominância de substâncias que lhes conferem um sabor adstringente e desagradável - principalmente ácidos orgânicos e taninos - além de serem pouco doces, certo? Já os maduros são doces e tenros, porque nós os coletamos antes da senescência completa! Cada espécie tem um tempo de maturação do fruto, pois é necessário que as sementes estejam plenamente formadas. Na Natureza, estes frutos devem ser atrativos para poderem ser dispersos por agentes diversos, principalmente animais, e/ou apodrecer para liberar suas sementes. Nós interferimos no processo, pois desejamos que os frutos permaneçam sem apodrecer o máximo de tempo! Mais uma vez: o fruto é um órgão com crescimento determinado, tem tempo de vida prefixado, ou seja, existe uma programação de morte celular preestabelecida, que é regulado pelo etileno!

Repare que anteriormente já citamos algumas dicas do mecanismo de ação do etileno: a primeira já é nossa conhecida, o amolecimento do fruto é devido à degradação de suas paredes celulares, além do aumento do teor de água. Os frutos também mudam de cor, tornando-se amarelados, avermelhados, pois a degradação de clorofila está aumentando enquanto a síntese de outros pigmentos também aumenta, deixando de ser mascarados pela clorofila. No caso do tomate, o etileno regula a síntese de licopeno e também de moléculas associadas ao aroma do fruto.

Alguns frutos exibem um comportamento bastante peculiar: um acentuado aumento nas taxas de respiração, medido pela liberação de CO_2 , que ocorre logo após o pico máximo de produção de etileno. Nestes frutos, o amadurecimento e a senescência são muito rápidos, o que é indicado pelo aumento das taxas de respiração. Os frutos que apresentam este comportamento são chamados frutos climatéricos, e você poderá conhecer alguns deles no box a seguir.

Muito do conhecimento tradicional que praticamos, já há bastante tempo, tais como embrulhar frutos ou armazená-los em potes fechados, para fazê-los amadurecer mais rapidamente, pode ser agora compreendido em bases fisiológicas: evitar que o etileno produzido seja dispersado; assim, sua concentração aumenta e o fruto amadurece mais rápido!

Graças ao grande envolvimento do etileno na maturação de frutos, este hormônio e os compostos sintéticos que são capazes de liberá-los têm tido uma utilização comercial significativa. O principal destes compostos é conhecido por Ethrel ou Ethephon – um composto sólido que, após dissolvido em água, libera Etileno. Convenhamos que assim a aplicação fica mais fácil do que borrifar um gás sobre uma planta. No início desta discussão, dissemos que os produtores de abacaxi e manga costumavam fazer fogueiras no meio destas culturas: este procedimento atualmente é substituído pela aplicação de Ethrel.

Além desta aplicação, os estudos sobre os efeitos fisiológicos do etileno têm servido à adequação das condições de armazenamento e transporte dos frutos, na tentativa de se evitar os indesejáveis efeitos da senescência dos frutos aos comerciantes. Como a conversão do precursor do etileno - o ACC, é dependente de O_2 , assim é comum que os grandes “containers”, onde as frutas “tipo de exportação” são acondicionadas têm atmosfera rica em CO_2 e pobre em O_2 , além de temperatura controlada, exatamente para evitar a síntese de etileno. Outra estratégia

utilizada pelos exportadores de frutas de diversas partes do mundo é criar uma linha de seleção nos locais de produção, escolhendo os melhores exemplares das frutas, livres de lesões ou manchas fúngicas, que poderão também aumentar a síntese de etileno.

Também há nisto grande interesse da indústria de processamento de alimentos, que adoraria obter um fruto que demorasse mais para amadurecer, chegando à criação de uma planta geneticamente modificada, na qual a produção de Etileno é irrisória. Mas vamos deixar este assunto para discutirmos mais à frente, na Aula 29 e fazer mais um exercício sobre os efeitos do etileno.

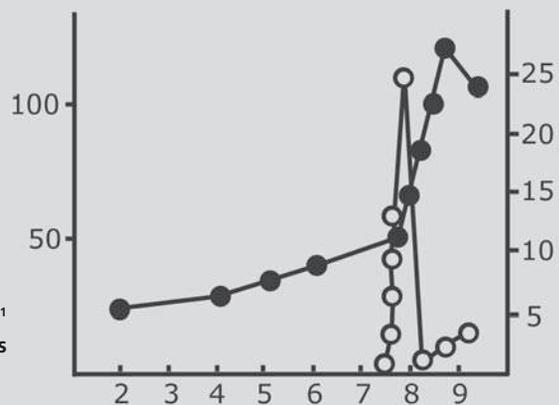


ATIVIDADE 2

2. Um pesquisador está estudando o padrão de senescência de um determinado fruto. Para tanto decidiu medir as taxas de produção de etileno e de respiração, pela liberação de CO_2 , após a colheita do fruto que ocorre durante o processo (**Figura 23.5**). Pergunta-se :

Figura 23.5: Produção de etileno e taxa de respiração avaliadas em diferentes intervalos de tempo, após a colheita do fruto.

Conteúdo de etileno no fruto $\mu\text{L.L}^{-1}$
Produção de CO_2 $\mu\text{L.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$ dias após a colheita do fruto.



a) Pelo resultado da experiência apresentado na **Figura 23.5**, ele pode concluir que se trata de um fruto climatérico? Justifique a sua resposta.

b) E quais procedimentos o pesquisador deve recomendar para garantir que os frutos sejam comercializados sem que os sinais da senescência estejam visíveis?

RESPOSTA COMENTADA

a) Se você considerou que sim, parabéns, pois avaliou corretamente o padrão de amadurecimento do fruto apresentado na Figura 23.5: a produção de etileno aumenta muito, e rapidamente, após o sétimo dia de colheita, seguindo-se acentuado aumento na taxa

de respiração. Este é um padrão típico de frutos climatéricos! Mas se você respondeu que não, talvez não tenha se convencido de que ocorreu aumento seqüencial das taxas de produção, primeiro do etileno e, depois, da respiração. Volte à Figura 23.5 e observe que há uma diferença de quase um dia entre os dois parâmetros. Note também que a taxa de respiração aumenta muito pouco nos primeiros quatro dias após a colheita, e decorridos mais quatro dias, atinge um valor um pouco maior do que o dobro, até que apenas mais um dia, dobra novamente! E este aumento abrupto, que ocorre em um dia, é precedido pelo aumento da produção de etileno no fruto, que assim é considerado climatérico.

b) Se você respondeu que devem ser adotadas providências que minimizem a produção de etileno está correto, pois assim consegue-se postergar a senescência do fruto. As principais providências a serem adotadas são o transporte em atmosfera pobre em oxigênio e /ou sob temperaturas amenas. Mas se também indicou que o fruto deve ser distribuído para o mercado nacional ou internacional logo após a colheita, tornou sua resposta ainda mais completa, pois verificou que a produção de etileno no fruto começa a ocorrer entre o sétimo e o oitavo dia após a colheita.



FRUTOS Climatéricos e não climatéricos

Climatéricos	Não climatéricos
Abacate	Abacaxi
Azeitona	Amendoim
Banana	Citrus em geral
Figo	Framboesa
Maçã	Morango
Manga	Melão
Pêra	Melancia
Pêssego	
Tomate	

ÁCIDO ABSCÍSCICO (ABA) e a Dormência

O segundo grupo de hormônios que está relacionado com a resposta das plantas a condições estressantes é o ácido abscísico, ou ABA (Figura 23.6). Sua descoberta foi possível, porque diversos cientistas desconfiavam - e com razão - que algum tipo de substância química reprimiria o crescimento de algumas partes da planta, como os brotos dormentes, por exemplo. Nós iremos utilizar a Aula 24, somente para discutir a dormência e a germinação, mas vamos adiantar um conceito que, neste momento, é importante para nós, que é a definição

de dormência. Quando uma semente é colocada para germinar em laboratório com todas as condições favoráveis e mesmo assim não germina, é considerada dormente. O mesmo pode ser dito de brotos e outras estruturas de crescimento vegetativo, como bulbos e tubérculos. E, então, por que isto ocorre? Imagine os problemas que uma jovem plântula recém-germinada ou oriunda da brotação de um tubérculo encontraria ao se estabelecer em uma condição ambiental completamente desfavorável, como a que ocorre em verões muito intensos ou no extremo oposto, em invernos rigorosos. Há necessidade de uma alternância entre fases de crescimento e outras onde não há crescimento da estrutura, garantida pela dormência, permitindo uma passagem de tempo até que as condições favoráveis se reestabeleçam.

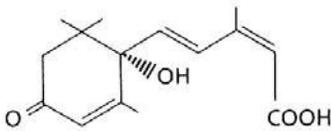


Figura 23.6: Estrutura química do ácido abscísico.

E então os cientistas começaram analisando folhas de árvores de regiões temperadas pouco antes de elas entrarem em dormência; isolaram um composto que naquele momento foi denominado “dormina”. Logo a seguir, outro grupo de pesquisadores isolou a abscisina II, que promovia a queda de frutos de algodão, posteriormente renomeada de ácido abscísico. Mas anteriormente dissemos que esta abscisão é função do etileno. Atualmente já está esclarecido que o ABA não é capaz de induzir o desprendimento da estrutura, mas sim a síntese de Etileno. Nós iremos discutir, nos próximos itens que o ABA está envolvido nos processos de dessecação ou perda de água. É exatamente o que ocorre durante a abscisão foliar: repare, por exemplo, que a folha da amendoeira, está praticamente seca quando se solta, pois a água e vários solutos nela dissolvidos foram distribuídos para o restante da planta! Assim, o ABA pode até estar presente, mas não é o responsável pela queda da folha!

Como o ácido abscísico é também um potente indutor de dormência, é obviamente encontrado nos tecidos que estão dormentes ou se preparando para entrar em dormência, como brotos e sementes e também as folhas que os cientistas usaram neste estudo. Há uma corrente de pesquisadores que defendem a utilização do termo “dormina”, por causa da indução de dormência; todavia, em função da aceitação do termo ABA, até hoje a mudança não ocorreu.

Quando o tecido está dormente, está vivo, mas não está crescendo, logo, o seu metabolismo é muito baixo. Para crescer, o tecido precisa de novos componentes, como as proteínas, tanto as estruturais como as com atividades catalíticas, as enzimas. Assim, nos tecidos dormentes, o ABA inibe fortemente a síntese de proteínas, fazendo com que não cresçam. Este efeito inibitório, que evita a germinação de sementes, nós estudaremos detalhadamente na Aula 24. Como já discutimos, na aula anterior, os efeitos das giberelinas na germinação, podemos concluir que o ABA e as giberelinas (GA) atuam conjuntamente, e a relação entre os seus níveis, ou seja, a razão entre ABA e GA, determinará se a semente continuará dormente ou irá germinar.

Passemos então à discussão dos outros efeitos fisiológicos regulados pelo ácido abscísico!

Ácido Abscísico e o Estresse Hídrico

Quando discutimos a ação do etileno associamos também a regulação deste hormônio a um tipo de estresse relacionado à água, especificamente pelo excesso de água - o alagamento - que acarreta limitações no fornecimento de oxigênio, também conhecido como hipoxia.

Mas no caso do estresse hídrico, o que ocorre é uma limitação no fornecimento de água livre para a planta! Esta limitação pode ocorrer de várias formas: no caso da seca, é a diminuição pura e simples da quantidade de água disponível. Mas quando dissemos que está ocorrendo um estresse por excesso de íons ou pelo congelamento, o que está acontecendo? No caso do estresse iônico, há uma diminuição da quantidade de água livre capaz de realizar trabalho, já que boa parte dela está comprometida com os íons nela dissolvidos, enquanto no estresse por congelamento ocorre um aumento da viscosidade da água, em consequência das baixas temperaturas, que têm efeitos adversos sobre o crescimento da planta e também diminuem a quantidade de água disponível.

Assim, o ácido abscísico está relacionado com a sinalização e resposta à limitação no fornecimento de água, ou seja, aos estresses hídrico, iônico ou por congelamento. Ele pode ser produzido nas folhas, na coifa da raiz e no caule, sendo transportado através do tecido condutor. As raízes, que logo percebem a falta de água, aumentam a produção de ABA, que será transportado até as folhas. E o que acontece durante a falta de água na planta? Qual o envolvimento do ABA nesse processo?

Nós já sabemos que, nesta condição, a planta terá de economizar água e obviamente, a transpiração estomática, que libera água na forma de vapor e possibilita a subida da coluna de água dentro do xilema, deverá ser interrompida, já que não há água disponível. De fato, é esta a função do ABA: interromper a transpiração estomática pelo fechamento rápido dos estômatos. Logo as raízes, que primeiro percebem a falta de água, aumentam rapidamente a produção de ABA, que será transportado até as folhas

Esta é a mais drástica das respostas dos hormônios de plantas, pois a concentração de ABA aumenta muito rápido, em até mais de 50 vezes nas células-guarda do estômato! Vamos relembra o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos (Aula 29 – Transpiração, de Botânica 1): ele é dependente do funcionamento da ATPase (Figura 23.7). Para abrir, o estômato precisa captar água, e o faz graças à acumulação de K^+ ; e a ATPase cria o gradiente de prótons necessário ao bombeado ativo de K^+ para dentro da célula. Com o aumento da concentração de K^+ dentro da célula, seu potencial hídrico, ou ψ_{H_2O} , fica ainda mais negativo, permitindo a entrada de água. A célula fica túrgida e o estômato se abre (Figura 23.7). O ABA, além de inibir fortemente a atividade da ATPase, impedindo a abertura do estômato, direciona a saída de K^+ das células-guarda daqueles estômatos que ainda estão abertos, aumentando ainda mais a eficiência do processo!

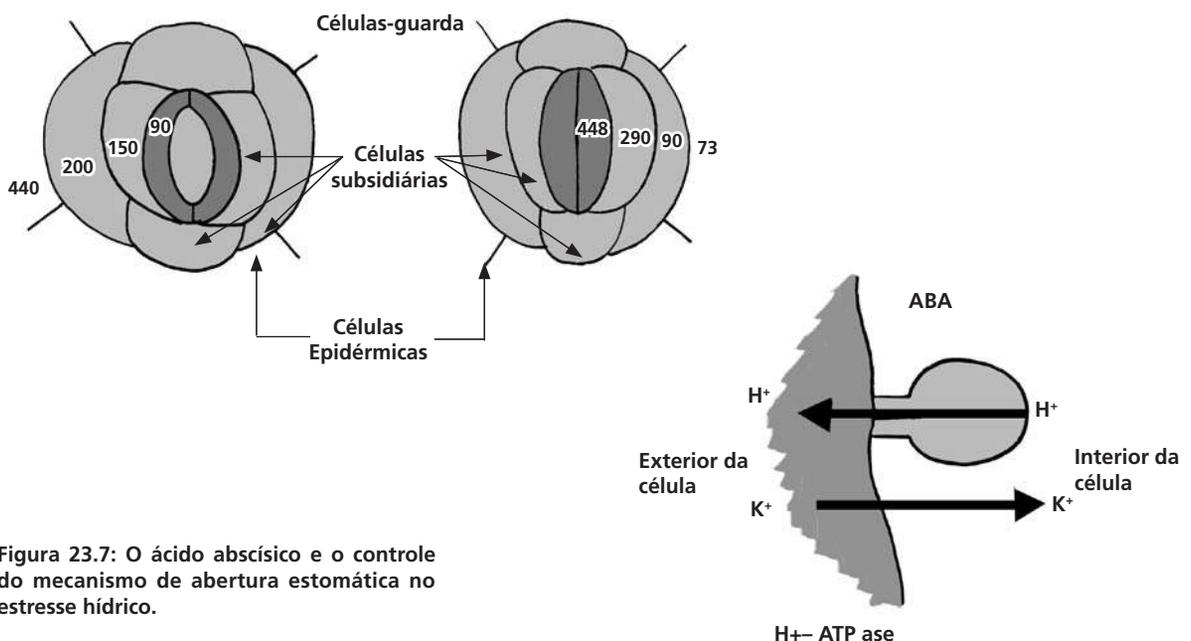


Figura 23.7: O ácido abscísico e o controle do mecanismo de abertura estomática no estresse hídrico.

Mas quando falamos em economia, podemos pensar também em diminuir as perdas do processo - no caso, evitando a perda de água na transpiração ou incrementando a produção e abrindo novos mercados, o que para a planta significaria dizer ampliar a área de captação de água. É exatamente o que acontece quando o estresse começa a arrefecer, ainda sob altas concentrações de ácido abscísico: o favorecimento do crescimento do sistema radicular em detrimento do crescimento da parte aérea! Neste caso, o ácido abscísico atua diminuindo a síntese de etileno. Repare que este efeito é o inverso do observado durante a manutenção da situação de estresse, onde o crescimento da raiz e o da parte aérea são fortemente inibidos.



ATIVIDADE

3. Um pesquisador estudando o padrão de resposta de uma espécie de planta ao estresse hídrico. Para isso ele as coloca para crescer com irrigação normal, o lote controle. Em um segundo lote, ele reduz fortemente o fornecimento de água durante vários dias, e em seguida, volta a irrigar as plantas normalmente. Nos dois casos ele acompanha o mecanismo de abertura e fechamento estomático, a produção de ácido abscísico nas folhas e o crescimento da parte aérea. Quais serão os resultados esperados?

RESPOSTA COMENTADA

Vamos conferir os resultados da experiência anterior: se você afirmou que o estresse hídrico irá induzir o acúmulo de ABA nas folhas e o fechamento dos estômatos é por que entendeu que a planta está economizando água, e conseqüentemente, irá também reduzir suas taxas de crescimento. E se incluiu em sua resposta a capacidade de recuperação do crescimento da parte aérea após a remoção do estresse hídrico, ou seja, quando o pesquisador volta a irrigar as plantas, percebeu que neste caso, os teores de ABA nas folhas diminuíram e o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos retomou o padrão observado na situação controle. Mas se também fez referência a uma possível alteração do padrão de crescimento da planta, com estímulo do crescimento do sistema radicular em detrimento da parte aérea, em uma tentativa da planta de aumentar a captação de água, sua resposta foi mais do que completa e parabéns!

Se sua resposta não contemplou um dos três parâmetros analisados na experiência, ou ainda, se você considerou que um deles não seria alterado pela restrição de água, não considerou que estivesse

ocorendo estresse hídrico e que este processo é sinalizado e regulado pelo ABA. Volte ao texto para esclarecer sua dúvida ou converse com o tutor para esclarecê-las totalmente.

Ácido Abscísico e a maturação do embrião

Um dos eventos finais da maturação do embrião é a sua preparação para o período em que permanecerá sem crescer dentro da semente, o que, convenhamos, pode ser um contra-senso: como embrião, repleto de células meristemáticas, deve – e está – apto para crescer plenamente! Então, por que o embrião, dentro da semente, não começa logo a crescer, assim que é formado? Mais uma vez, um princípio fisiológico simples pode resolver a questão: a fase final de maturação do embrião envolve uma significativa perda de água, concomitante com um aumento dos níveis de ABA. Ora, a falta de água no tecido impede a realização dos processos metabólicos! Mas para que não ocorra qualquer dano à estrutura do embrião, o ABA também induz a síntese de proteínas específicas, que auxiliam nos processos de tolerância à perda de água. Estas proteínas são chamadas proteínas LEA, do inglês *late-embryogenesis-abundant* ou proteínas abundantes do final da embriogênese. Um outro grupo de proteínas também é induzido: as proteínas de reserva, que serão utilizadas somente quando a semente começar a germinar. Assim, com baixo teor de água e alto teor de ABA, o embrião consegue permanecer íntegro dentro da semente sem germinar!

Repare que interessante : o ácido abscísico é, como dissemos anteriormente, um potente inibidor da síntese de proteínas em geral, mas consegue induzir a síntese de proteínas específicas – principalmente as relacionadas à tolerância à falta de água! De fato, durante o estresse iônico, um outro grupo de proteínas tem sua síntese regulada por ABA – as osmotinas. Como o nome indica, elas estão relacionadas aos processos osmóticos, ou seja, na troca de água e solutos nas células sob este tipo de estresse; auxiliam também na sua superação!

Vamos então rever, em um exercício, o que discutimos sobre o ácido ábscísico.



ATIVIDADE

3. Qual a justificativa de alguns pesquisadores que utilizam a alteração do nome do ácido abscísico para dormina? Quais os principais efeitos fisiológicos deste hormônio? Cite pelo menos dois processos.

RESPOSTA COMENTADA

Se você afirmou que o ABA recebeu este nome porque durante alguns anos a ele foi atribuída a regulação do fenômeno de abscisão foliar está correto. Mas, atualmente, sabemos que este processo está associado ao etileno e às auxinas. Ao ABA você também poderia atribuir os processos de repressão ao crescimento, e também a dormência de sementes e de gemas axilares; e o fechamento estomático durante o estresse hídrico. Esta forte repressão no crescimento está relacionada à inibição da síntese de proteínas constitutivas ou catalíticas (enzimas). Mas se você afirmou que, durante o estresse hídrico, o Ácido Abscísico é capaz de induzir a síntese de grupos de proteínas específicas que ajudam na superação da situação de estresse e que, neste caso, o ABA também auxilia na economia de água, pois é capaz de diminuir a perda de água ocasionando o fechamento dos estômatos, pelo bloqueio do funcionamento da ATPases da membrana da célula-guarda, sua resposta está perfeita e parabéns!

Mas se não conseguiu associar corretamente pelo menos dois fenômenos regulados por ABA, retorne ao texto antes de passar à próxima aula, ou contate o seu tutor.

CONCLUSÃO

O etileno e o ácido abscísico são considerados os principais hormônios que atuam na sinalização e na resposta da planta a estresses diversos, permitindo que o organismo sobreviva até que a situação de estresse seja superada.

RESUMO

O etileno é produzido em muitos tecidos e em resposta a estresses diversos, tais como o alagamento; é também associado à abscisão de frutos em amadurecimento, de folhas e flores. Como é um gás, o precursor do etileno, o ácido amino ciclo propano ou ACC, move-se por difusão do seu local de síntese até as células-alvo. Assim, o etileno é o principal regulador dos processos que terminam por levar à senescência de folhas, flores e frutos.

O ácido abscísico recebeu essa denominação porque inicialmente pensou-se que ele fosse o principal responsável pela abscisão foliar, fenômeno de queda das folhas de certas árvores. Mas, como sabemos que este fenômeno é regulado pelo etileno, o nome foi mantido por uma questão de hábito. Ao ABA é atribuída a restrição do crescimento, principalmente em gemas do caule, brotos de bulbos ou tubérculos e sementes; e este fenômeno é conhecido por dormência. Ele também é responsável pela sinalização e resposta da planta ao estresse hídrico, ocasionando o fechamento dos estômatos e diminuindo, assim, a perda de água por transpiração.

AUTO-AVALIAÇÃO

Nesta aula discutimos os principais efeitos do etileno e do efeitos do ácido abscísico sobre o desenvolvimento de plantas, especialmente pela contenção do crescimento em fenômenos diversos, principalmente aqueles associados à ocorrência de estresse. Como na próxima aula iremos discutir o processo de germinação e dormência de sementes, estes conceitos são fundamentais e imprescindíveis. Caso persista alguma dúvida, retorne ao texto ou entre em contato com o tutor para esclarecê-lo. Mas se desejar obter mais informações, consulte as referências bibliográficas indica ao final desta aula.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Após discutirmos os efeitos de diversos tipos de hormônios em plantas, passaremos, na próxima aula, a detalhar os fenômenos de dormência e a germinação de sementes.

Dormência e germinação

Meta da aula

Apresentar a importância da dormência para o sucesso adaptativo das plantas e descrever as etapas da germinação.

Esperamos que, após a leitura desta aula, você seja capaz de:

- Descrever o papel vital da dormência para os vegetais terrestres.
- Listar os fatores ambientais importantes para a quebra da dormência.
- Distinguir as etapas da germinação, desde a absorção da água até a saída da radícula.

Pré-requisitos

Para um melhor entendimento desta aula, você deverá rever reprodução de Gimnospermas e Angiospermas (Aula 10), a diversidade morfológica das sementes (Aula 16) e dominar o conceito de potencial hídrico (Botânica I, Aula 20), para compreender como a água é absorvida pelas sementes.

INTRODUÇÃO

O **CICLO DE VIDA** se inicia no momento em que se fundem o gameta masculino e o feminino, formando um zigoto.

Em Botânica II e em disciplinas como Zoologia, você estudou a reprodução dos diversos grupos de microorganismos, animais e plantas; agora, certamente, está pronto para responder quando começa o **CICLO DE VIDA** da maioria desses seres vivos.

Nas plantas, o ciclo de vida se inicia com a fusão dos gametas, como ocorre com todos os seres vivos.

- Você lembra em que parte das plantas com sementes ocorre a fecundação?
- Se você ficou em dúvida, basta pensar onde são produzidos os gametas femininos: nos óvulos (Aula 10).

Nas Angiospermas, os óvulos ficam no interior dos ovários e estes dentro da flor. Já nas Gimnospermas, eles não estão protegidos nos ovários, mas sim dispostos sobre as folhas carpelares (ou megasporófilos, como também são chamadas) que, geralmente, se reúnem formando cones (ou espigas), como os do pinheiro.



A fecundação sempre ocorre no local onde está situado o gameta feminino.

Nas Angiospermas, o fruto se desenvolve a partir do ovário e a semente, a partir do óvulo. À medida que o fruto vai crescendo, a semente e o embrião (localizado no interior da mesma) se desenvolvem, simultaneamente. Assim, ao abrirmos a semente de um fruto maduro, em geral podemos distinguir no embrião a extremidade que dará origem à raiz (radícula) e outra extremidade, a que originará o caule (Aulas 13, 14 e 16).

Quando a germinação tem início, o embrião retoma o desenvolvimento graças às reservas energéticas (geralmente contidas no endosperma) até o aparecimento de uma jovem planta completa, a plântula. O endosperma contém principalmente amido, mas também óleos e proteínas. Na semente de feijão, por outro lado, a reserva energética fica nos cotilédones (Aula 16).

Um dos primeiros estágios da germinação de uma semente é a mobilização das reservas energéticas para o crescimento do embrião.

Mas vamos voltar ao desenvolvimento da semente. Você viu que o aparecimento de um invólucro de proteção do embrião – a semente – foi um grande passo na evolução das plantas no ambiente terrestre (Aula 10).

Além dessa proteção, a semente permite à planta exercer um certo controle quanto à época de germinação, ou seja, sobre o tempo em que aparecerão as plântulas. Isso é conseguido graças a um fenômeno conhecido como dormência de sementes. Veremos, nesta aula, como isso é possível.

POR QUE AS PLANTAS PRECISAM CONTROLAR A GERMINAÇÃO?

Em uma mesma planta, diferentes fases do seu desenvolvimento, como a de plântula, a de floração e a de frutificação, podem demandar circunstâncias ambientais bastante diversas (Aula 10). Uma determinada temperatura e umidade pode ser, por exemplo, muito boa para a fase de floração, mas ruim para a fase de plântula, por ser muito quente ou por haver pouca chuva. As espécies são melhor adaptadas ao seu ambiente porque ao longo da evolução adquiriram sementes que, em geral, somente germinam quando as várias condições necessárias para a fase de plântula estão presentes. Esse sincronismo das fases de desenvolvimento de uma planta com as estações do ano é fundamental, principalmente em regiões temperadas e desérticas, onde o clima é muito extremo.

DORMÊNCIA

É importante que a semente não germine ainda na planta-mãe; em geral, isso reduziria as chances de sucesso da nova plântula, já que, por exemplo, ela não estaria em contato com o solo. Para que isso ocorra, é necessário que o embrião cesse seu desenvolvimento até que a germinação tenha início; nesse caso, o conteúdo de água das sementes cai para apenas 15%, contra os 80 a 90% de conteúdo hídrico dos outros tecidos das plantas. Esse período de inatividade do embrião é chamado dormência. O ácido abscísico (ABA) está associado à tolerância do embrião a essa dessecação (Aula 23).

Durante os estágios finais de desenvolvimento do embrião, os níveis de ABA se elevam e proteínas de resistência à dessecação começam a ser codificadas; do contrário, uma redução tão grande do conteúdo hídrico causaria desnaturação das proteínas, constituindo um dano irreversível às membranas celulares.

- O período de dormência é igual em todas as plantas?
- Não. Em cereais, por exemplo, os fazendeiros temem que chova durante a colheita, pois as sementes podem germinar ainda na espiga, tornando-as inúteis na fabricação de farinhas, de flocos de cereais ou na fermentação de bebidas. Já a espécie silvestre da aveia (*Avena fatua*), considerada uma planta invasora, pode ficar mais de cinco anos em dormência antes de germinar e prejudicar a produção agrícola.

O recorde de viabilidade pode ser das sementes de *Canna compacta*, que foram encontradas em escavações na Argentina, sob baixa umidade, e datam de, aproximadamente, 600 anos.

QUE FATORES DETERMINAM O TEMPO DE DORMÊNCIA DE UMA SEMENTE?

O tempo de dormência é determinado tanto por fatores ambientais como por fatores inerentes à própria semente. Dentre os fatores ambientais, temos: disponibilidade de água, luminosidade e temperatura. Entre os fatores internos, podemos citar a presença de inibidores de crescimento, a idade da semente e a impermeabilidade da testa (invólucro da semente).

Fatores ambientais: água

As sementes necessitam absorver água, já que quando se desprendem da planta-mãe possuem, aproximadamente, 15% de água nos seus tecidos. A entrada de água inicia o processo de germinação. Você deve estar pensando que a água tem de estar, necessariamente, no estado líquido, porém, apenas o vapor da água da atmosfera pode promover a germinação. Na verdade, se uma semente estiver totalmente submersa na água, em geral, ela não germina, à exceção das plantas aquáticas.

Qualquer organismo, quando submerso, precisa do oxigênio da água para realizar a respiração celular e obter energia, inclusive as sementes. Mas a difusão de O_2 na água é baixa, não sendo suficiente para a germinação da maioria das sementes.

- O que permite a entrada de água na semente?
- Você se lembra de como a água se movimenta desde o solo, passando pela raiz e chegando às folhas, em função de uma diferença de potencial hídrico (Botânica I, Aula 20)? O mesmo ocorre na semente.

Nas sementes, a entrada de água se dá quando seu potencial hídrico é menor do que o potencial hídrico a seu redor. A princípio, o baixo potencial hídrico da semente é determinado, principalmente, por um valor de **POTENCIAL MÁTRICO** muito negativo (ψ_m).

$$\Psi = \psi_p + \psi_m$$

Onde ψ_p é o potencial de pressão (Botânica I, Aula 20).

Quando o embrião retoma o crescimento, o amido começa a ser quebrado. Então, o potencial osmótico (ψ_s) se torna mais negativo, pois a quebra do amido produz glicose, substância osmoticamente ativa. Assim, o potencial hídrico é reduzido ainda mais, o que permite a entrada de mais água na semente; no início da germinação, o componente mais importante de ψ é ψ_m e, num segundo momento, passa a ser ψ_s .

$$\Psi = \psi_p + \psi_s$$

Lembre-se de que o amido não é osmoticamente ativo, portanto, não poderia gerar potencial osmótico (ψ_s) (veja Botânica I, Aula 26).

Fatores ambientais: luz

Uma das razões pela qual a luz pode ser um sinal externo de grande importância para uma semente é a capacidade de percepção dessa semente em relação à sua posição acima ou abaixo do solo; isso é particularmente relevante para espécies com uma reserva energética reduzida (como as orquídeas e as bromélias).

Muitas sementes de ervas daninhas só germinam quando o solo está sendo arado para o plantio e várias sementes permanecem dormentes no solo da floresta até que se forme uma clareira e ela, a semente germine. Em ambos os casos, as sementes só germinam quando há luz suficiente para o desenvolvimento da planta. Na Aula 26, você verá de que forma uma proteína fotossensível como o pigmento fitocromo, permite que a semente tenha tal percepção da luz.

O **POTENCIAL MÁTRICO** é resultado da força que prende a água às moléculas ou pequenas partículas (ex.: matriz da parede celular e partículas de argila do solo seco), graças à força de adesão entre a água e as superfícies curvas. Sementes secas contêm muitos colóides como o amido, que determinam seu alto potencial mátrico.

Fatores ambientais: temperatura

A temperatura é particularmente importante para espécies típicas de locais com estações do ano bem marcadas e inverno frio. Algumas sementes só têm sua dormência quebrada se expostas a temperaturas baixas. Isso garante a elas não germinarem no outono, pois as plântulas não sobreviveriam ao inverno. Já a germinação, ao final do inverno, garante às plântulas melhores condições de sobrevivência na primavera.

Fatores internos: impermeabilidade da testa e inibidores de crescimento

Se as sementes absorvem água e germinam, então, o que faz com que nem todas germinem na primeira chuva? As sementes possuem formas de impedir que a água penetre, apesar de serem muito secas. A casca da semente ou sua testa pode ser praticamente impermeável à água, exceto num ponto, na micrópila. Isso acontece em algumas espécies como o feijão (*Phaseolus vulgaris*) e a mamona (*Ricinus comunis*) (Figura 24.1.a e b, respectivamente).



Figura 24.1: Semente de feijão, evidenciando a micrópila e o hilo (a), e uma planta de mamona com flores e frutos (b).

Diversas sementes só germinam após a testa ter sofrido danos, que podem ser causados pela ação de ácidos gástricos na passagem da semente pelo trato digestivo de animais ou, mecanicamente, pela mastigação ou pelo atrito no ambiente. As sementes, com frequência, rolam ao longo do leito de um rio ou são pisoteadas; em ambas situações podem, também, causar danos ao invólucro da semente.

Mas mesmo que a água tenha entrado na semente, a testa pode impedir ou retardar a germinação por meio de mecanismos que:

- limitam a troca gasosa entre o embrião e a atmosfera; assim o embrião não tem oxigênio suficiente para respiração celular;
- produzem inibidores do crescimento, impedindo que o embrião se desenvolva;
- impedem que os inibidores de crescimento que existam no interior da semente saiam da mesma;
- oferecem uma barreira física para a saída da radícula, que é o primeiro sinal visível de que uma semente está germinando.

Fatores internos: idade da semente

As sementes podem perder a viabilidade em apenas algumas semanas (como acontece com muitas plantas cultivadas na agricultura) ou levar anos para que isso ocorra, como o caso da *Canna compacta* (Cannaceae). Isto depende fortemente da espécie em questão e do conteúdo hídrico da semente.



ATIVIDADE

1. De que maneira um animal pode contribuir com a quebra de dormência de uma semente?

RESPOSTA

Pela ação de ácidos gástricos ou mecanicamente, quando o animal mastiga e ingere uma semente.

COMENTÁRIO

À medida que um animal mastiga e/ou ingere uma semente ou fruto e esta passa por seu trato digestivo, ela é sujeita à ação de enzimas digestivas que agredem a testa da semente e facilitam a quebra da dormência quando o animal defeca. Portanto, muitos animais exercem a função de dispersores de sementes e são fundamentais para o equilíbrio de qualquer ecossistema.

GERMINAÇÃO

Entre a entrada de água na semente e a saída da radícula (**Figura 24.2**) ocorre uma série de eventos bioquímicos que não visualizamos. Para que a radícula cresça é preciso que o embrião retome seu desenvolvimento. Isso ocorre graças ao suprimento de energia gerada pela quebra do amido pela enzima α -amilase. Conforme o amido vai sendo quebrado, primeiro na camada imediatamente abaixo da testa (camada de aleurona), a glicose se difunde para o embrião, e é utilizada para fornecer energia ao crescimento (**Figura 24.3**).

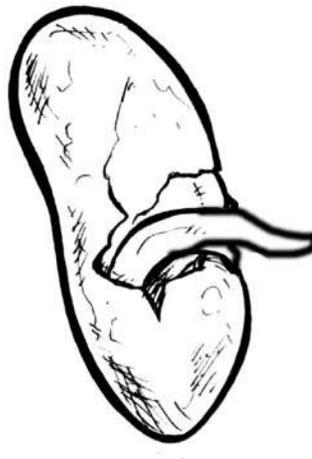


Figura 24.2: Esquema da semente de feijão logo após a germinação (preste atenção à radícula).

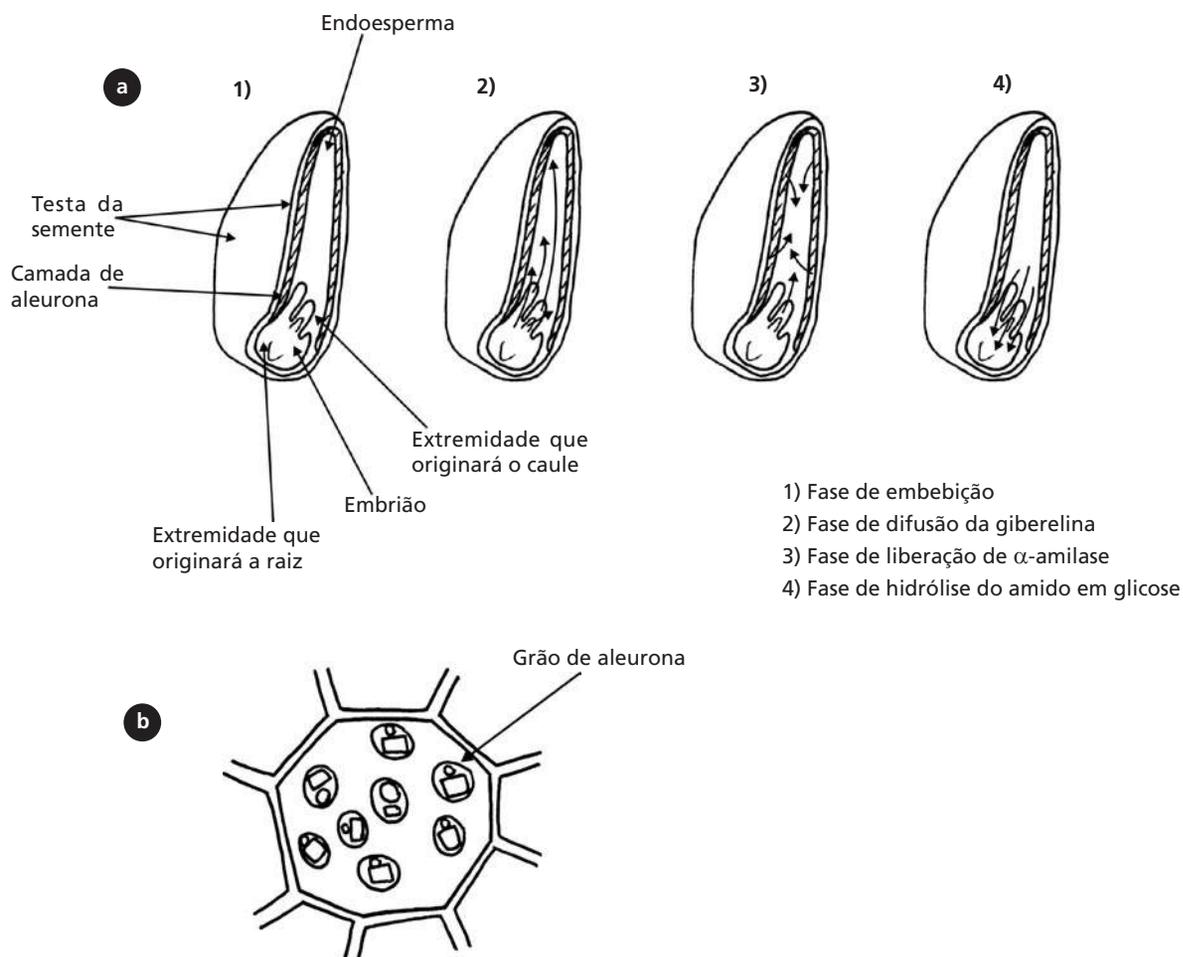


Figura 24.3: Esquema de uma semente de trigo (*Triticum sp.*), indicando as etapas da germinação (a) e de uma célula da camada de aleurona contendo grãos com cristais (b).

O que faz com que o amido seja quebrado, se desde a formação da semente ele já está presente? Ora, isso ocorre pelo fato de a α -amilase não estar presente. Essa enzima só é encontrada a partir da liberação do hormônio giberelina pelo embrião. Esse fato, por sua vez, só ocorre após a entrada de água da semente (embebição).

- Mas então, qual o tecido responsável pela síntese de α -amilase?
- O único tecido, além do embrião, metabolicamente ativo na semente é a camada de aleurona (**Figura 24.3**). Portanto, essa camada e o embrião são os responsáveis pela síntese de α -amilase.

Em 1833, a enzima α -amilase foi extraída pela primeira vez de sementes de cevada, embora não se conhecesse sua localização. A α -amilase é responsável pela quebra do amido produzindo glicose, necessária como substrato da respiração celular, e como fonte de esqueletos carbônicos das moléculas a serem sintetizadas para o crescimento do embrião.

Por volta de 1940, Haberlandt observou que os grãos de amido desapareciam tão rapidamente das proximidades do embrião quanto da região logo abaixo da testa em cereais; então, não parecia que o embrião fosse a única fonte de α -amilase. Pesquisadores japoneses isolaram embriões e mostraram que eles produziam a enzima α -amilase. Entretanto, com a adição ao experimento da metade da semente da cevada sem o embrião, a produção da enzima aumentava consideravelmente, confirmando as observações de Haberlandt (note a localização da camada de aleurona na **Figura 24.3**).

Pesquisadores japoneses e australianos, independentemente, identificaram a substância que induz a síntese de α -amilase: giberelina. Esse hormônio de vegetal, quando adicionado à metade da semente sem o embrião, em laboratório, faz com que a α -amilase seja sintetizada e o amido quebrado, como ocorre na metade que possui o embrião.

ATIVIDADE



2. Você vai agora estudar com mais detalhes, a regulação da germinação de alface e usaremos o exemplo de suas sementes. Na **Tabela 24.1**, você pode observar os vários tratamentos a que foram submetidos cinco lotes de sementes de alface. O percentual de germinação está representado no **Gráfico 24.1**.

Tabela 24.1: Tratamentos de luz, temperatura e integridade da testa a que foram submetidos os lotes de sementes de alface

Nº	CONDIÇÃO	TEMPERATURA	TESTA
1	Escuro	23°C	Intacta
2	Claro	23°C	Intacta
3	Escuro	3°C seguido de 23°C	Intacta
4	Escuro	23°C	Danificada
5	Claro	3°C seguido de 23°C	Danificada

Gráfico 24.1: Percentual de sementes de alface germinadas

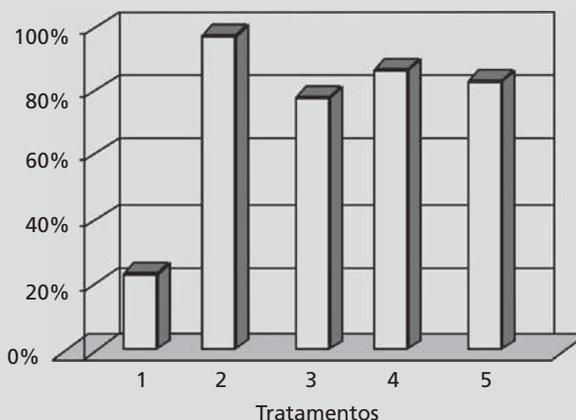




Figura 24.4: Germinação em placas de Petri de sementes de alface sob os tratamentos descritos na Tabela 24.1.

Quais as conclusões que você pode tirar a partir do **Gráfico 24.1**, quanto à:

a. Presença ou ausência de luz.

b. Influência do resfriamento por algumas horas.

c. Integridade do revestimento da semente (testa).

d. Combinação dos três tratamentos.

RESPOSTAS

a. A luz estimula muito a germinação, aumentando de pouco mais de 20% para quase 100% a taxa de germinação.

b. O efeito do resfriamento é semelhante ao da luz, mas aumenta a taxa para quase 80%.

c. O dano à testa aumenta a taxa de germinação para pouco mais de 80%.

d. A combinação dos três tratamentos manteve a taxa de germinação em torno de 80%.

COMENTÁRIO

No experimento, quando as sementes foram privadas de luz, passaram por um período de resfriamento e não tiveram a testa danificada (nº 1). Você deve ter notado que apenas 20% das sementes germinaram. Ao submetemos vários lotes de sementes de alface a, pelo menos, um desses tratamentos (nº 2, nº 3 e nº 4), a germinação aumentou drasticamente. Logo, podemos concluir que a quebra da dormência de sementes de alface pode ser feita com luz, resfriamento por algumas horas ou dano na testa. Se observarmos o resultado da combinação desses fatores (nº 5), concluímos que o percentual de germinação não aumenta mais do que os tratamentos isolados.

Observe, ainda, que o percentual de germinação do tratamento nº 5 reduziu um pouco, se comparado ao tratamento nº 2 e que a taxa mais baixa ocorreu no tratamento nº 3. Isso, provavelmente, porque temperaturas próximas a zero reduziram a taxa metabólica e, portanto, o crescimento dos embriões.

Na Natureza, como você imagina que esses três fatores, que acabamos de ver, poderiam atuar?

A planta percebe a presença de luz graças a um pigmento, o fitocromo, que será estudado em detalhes na Aula 26. Algumas plantas só germinarão se detectarem que estão recebendo luz solar em determinada quantidade e qualidade. Esse é um fator fundamental, pois, como dissemos, se uma planta estiver sob uma camada espessa de solo, pode não haver reservas suficientes para que a plúmula chegue até a superfície. Um exemplo é a semente numa floresta tropical. Não adianta a semente germinar se não houver luz suficiente para que a plântula realize a fotossíntese e se desenvolva.

No caso de uma semente que vive num local de inverno muito frio, não seria bom que ela germinasse no outono, pois, quando chegar o inverno, a plântula poderia ainda ser muito jovem para suportá-lo. Entretanto, se ela germinar justamente após o período de resfriamento (final do inverno), seguido de temperatura mais alta (início da primavera), a plântula terá melhores condições para crescer até que chegue a próxima estação fria. Isso é importante para plantas de clima temperado.

Finalmente, a necessidade de romper a testa pode estar ligada à estratégia que a planta desenvolve para dificultar a germinação de suas sementes em local próximo à planta-mãe. Dessa forma, reduz a competição intra-específica. A dormência só seria quebrada após a semente passar pelo trato digestivo de um animal, ou ser roída e novamente liberada longe da planta-mãe. Essa estratégia de dispersão de sementes é muito comum entre as plantas, pois além de diminuir a competição, aumenta a capacidade de colonização de novas áreas. Sementes que passam pelo trato digestivo de animais e são defecadas garantem à nova plântula acesso a um solo mais nutritivo, já que as sementes ficam misturadas à matéria orgânica.

CONCLUSÃO

O sucesso adaptativo das espécies de Angiospermas reside, em parte, no advento da semente. A semente permite não só a proteção do embrião, como, à medida em que ela passa por um estágio de dormência, aumenta as chances de sobrevivência da plântula. O processo de dormência, em diferentes espécies, evoluiu em conjunto com a exposição às condições ambientais a que estavam sujeitas, favorecendo a germinação somente sob as condições adequadas.

RESUMO

Dormência é o processo em que o desenvolvimento do embrião na semente fica interrompido e é retomado quando ela germina. A quebra da dormência pode ser feita com luz, temperatura e/ou com o rompimento da testa. A germinação de uma semente começa com a entrada de água e a mobilização das reservas energéticas; termina com a saída da radícula. A entrada de água nas sementes se dá quando o potencial hídrico do ambiente é mais alto (menos negativo) que o da semente.

ATIVIDADES FINAIS

1. Verifique como estão seus conhecimentos, marcando verdadeiro ou falso nas afirmativas abaixo:

- () As sementes de milho não germinam na espiga porque isso inutilizaria a sua colheita para o consumo humano.
- () Em Angiospermas, a semente fica dentro do fruto e em Gimnospermas fica exposta.
- () A germinação se inicia com a quebra do amido.
- () O amido é a única fonte energética para embriões de Angiospermas e Gimnospermas.
- () As sementes possuem baixo conteúdo hídrico para que fiquem mais leves.

2. Quais os principais fatores envolvidos na quebra de dormência em sementes de alface?

3. Cite a seqüência de fatos na germinação de sementes.

4. O que permite a entrada de água na semente?

RESPOSTAS

1. Falso

Verdadeiro

Falso

Falso

Falso

Embora seja verdade que se as sementes do milho germinassem na espiga inutilizariam a colheita para o consumo humano, não é por isso, no entanto, que elas não germinam, e sim porque isso reduziria as chances de sucesso da nova plântula.

Como você já leu na Aula 10 e reviu na Introdução desta aula, as Angiospermas diferem das Gimnospermas por apresentarem sementes encerradas em frutos.

A germinação se inicia com a entrada de água na semente; a quebra do amido somente ocorre após a liberação da enzima α -amilase.

A reserva energética pode também estar na forma de óleos, como é o caso das sementes oleaginosas (mamona) ou de proteínas, no caso das leguminosas como o feijão.

O baixo conteúdo hídrico das sementes provoca a interrupção das reações químicas necessárias para o desenvolvimento do embrião. Com isso, a semente fica em estado de dormência e só irá germinar em condições favoráveis.

2. Presença de luz, exposição a um período de resfriamento ou dano ao invólucro da semente (testa). Tanto o resfriamento como o dano à testa favorecem a entrada de água, enquanto a luz desencadeia os processos biológicos, como a síntese protéica.

3. A germinação se inicia com a entrada de água na semente, seguida pela liberação de ácido giberélico pelo embrião, e síntese de α -amilase pelo embrião e pela camada de aleuroma. O amido passa, então, a ser quebrado; e a partir da disponibilidade das reservas energéticas, o embrião retoma o crescimento e a radícula rompe a testa.

4. A água entra na semente em função de seu baixo potencial hídrico, a princípio determinado pelo alto potencial mátrico. Após a mobilização das reservas, o potencial osmótico passa, também, a ser importante na geração de um baixo potencial hídrico e uma conseqüente entrada de água.

AUTO-AVALIAÇÃO

Não finalize esta aula sem saber descrever as etapas entre a entrada de água na semente e a saída da radícula. Você precisa, ainda, saber explicar a importância da dormência para o sucesso reprodutivo das Angiospermas, bem como os fatores responsáveis pela quebra da dormência das sementes. Leia sobre esses tópicos na bibliografia recomendada.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, você fará alguns experimentos que elucidarão melhor os conceitos que você aprendeu nesta aula. Os itens assinalados na Aula 25 por uma seta devem ser providenciados por você para o dia do trabalho prático.

Dormência e germinação – aula prática

AULA

25

Meta da aula

Apresentar experimentos que evidenciem as etapas da germinação e o efeito de fatores ambientais para a quebra da dormência, como danos mecânicos à testa.

objetivos

Esperamos que, após a realização das experiências propostas, você seja capaz de:

- Testar diversos fatores ambientais responsáveis pela quebra da dormência.
- Distinguir as etapas da germinação, desde a embebição de água até a saída da radícula e da plúmula.

Pré-requisitos

Para que você compreenda os resultados obtidos nas experiências, você deve reler a Aula 24 e rever as atividades.

INTRODUÇÃO

A formação das sementes resulta da união dos gametas masculino e feminino. Esse processo começa com a transferência do grão de pólen dos estames para os pistilos (polinização) e o subsequente crescimento do tubo polínico até atingir o óvulo. Posteriormente, ocorre a união dos gametas (fertilização). O crescimento do óvulo fecundado vai constituir a semente e, simultaneamente, os frutos se desenvolvem a partir das paredes do ovário fechado.

O desenvolvimento embrionário tem início com a primeira divisão mitótica do zigoto, até então dentro da flor. Durante o crescimento da semente, ainda na planta-mãe, o embrião entra em processo de dormência. A retomada do crescimento se dará com a germinação da semente.



Todas as experiências de laboratório devem ser realizadas em local com ventilação plena, e a manipulação de reagentes deve ser feita sempre com cuidado; é importante que você use jaleco, luvas descartáveis e óculos de grau ou de segurança.



Os itens assinalados por uma seta devem ser providenciados por você para o dia do trabalho prático.

EXPERIÊNCIA 1

Material

- Diferentes tipos de sementes de testa dura e tamanho semelhante ao do feijão branco, como sementes de *flamboyant* e açai (não utilizar grãos, que são as sementes comercializadas para alimentação).
- Papel de alumínio.
- Algodão.
- Filme de PVC.
- Fungicida.
- 50 mL de ácido sulfúrico.
- Seis placas de Petri.

Procedimento

- Marque em cada placa o tratamento a ser usado: 1) controle no claro; 2) controle no escuro; 3) geladeira; 4) água quase fervendo; 5) escarificação com lixa; 6) ácido sulfúrico concentrado por cinco minutos.



MUITO CUIDADO COM A MANIPULAÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO!!! Essa substância causa sérias queimaduras e intoxicação, se em contato com a pele ou inalada. O ácido sulfúrico deve ser sempre manipulado em local ventilado.

- Utilize três sementes de cada espécie para cada um dos seis tratamentos.
- Coloque uma camada de, aproximadamente, 1cm de algodão no fundo de cada uma das seis placas marcadas.
- Despeje 1mL de fungicida sobre o algodão.
- Umedeça o algodão com água (sem encharcar).
- Coloque as sementes do controle no claro (nº 1), na placa marcada; feche-a, embale-a em filme de PVC e deixe-a em local iluminado.
- Coloque as sementes do controle no escuro (nº 2), feche a placa e embale-a com papel de alumínio.
- Coloque as sementes do tratamento nº 3 na placa marcada, feche-a, embale em filme de PVC e ponha na geladeira.
- Apague o fogo pouco antes de a água ferver e, em seguida, coloque as sementes e deixe-as na água por dois minutos.
- Submeta as sementes restantes a cada um dos demais tratamentos, coloque-as nas placas, feche-as, embale-as em filme de PVC e coloque-as em local iluminado.
- Anote quantas sementes germinaram em cada tratamento, do segundo ao décimo dia.
- Faça um gráfico de barras com esses resultados (veja **Gráfico 24.1**).

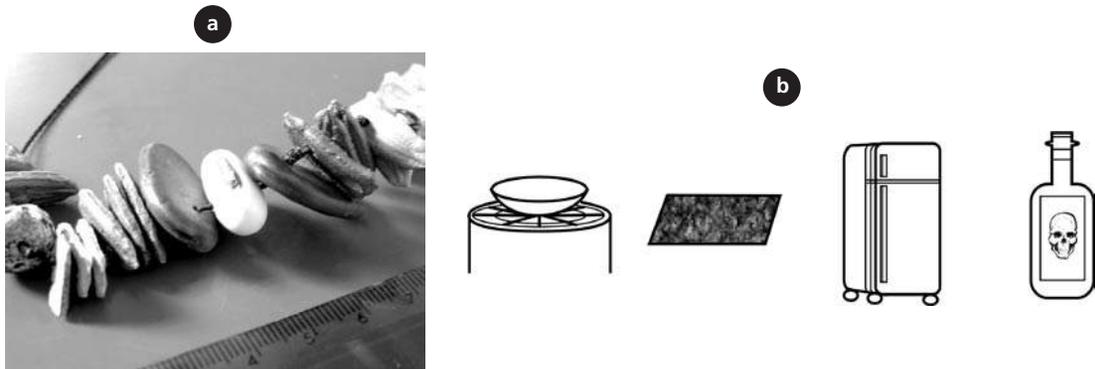


Figura 25.1: Exemplos de diferentes sementes de testa dura (a) e montagem do experimento (b).

EXPERIÊNCIA 2

Material

- Cinco grãos (sementes) de feijão e cinco de milho.
- Filme de PVC.
- Algodão.
- Uma placa de Petri.

Procedimento

- Coloque os grãos de feijão e de milho para germinar dentro da placa, em algodão umedecido.
- Embale a placa com o filme de PVC.
- Após dois dias, abra a placa de Petri e retire um grão de feijão e um de milho.
- Cuidadosamente, separe os dois cotilédones do feijão (abrindo o grão do feijão no sentido longitudinal).
- Desenhe os grãos (no caso do feijão, desenhe o lado que possui o hipocótilo).
- Em intervalos de dois dias (com quatro, seis e oito dias a partir da colocação na placa de Petri), repita todos os passos indicados.

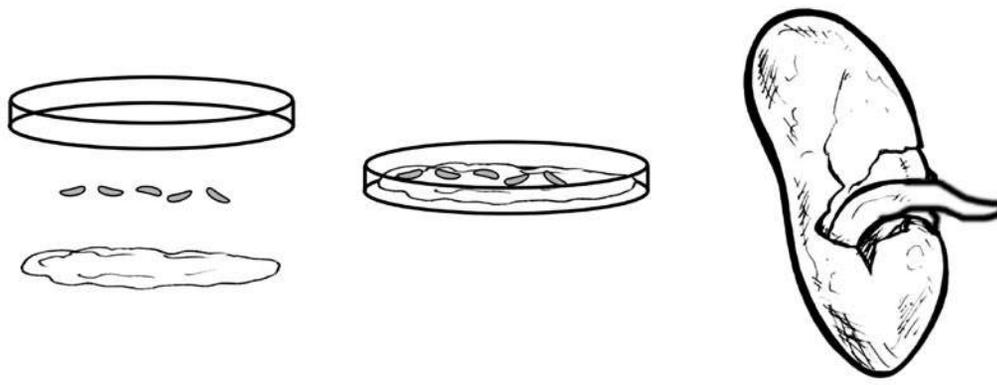


Figura 25.2: Montagem do experimento.

EXPERIÊNCIA 3

Material

- 10 grãos de feijão.
- 10 grãos de milho.
- 100mL de solução de 0,5% de 2, 3, 5 – trifênil tetrazólio.
- Dois pequenos recipientes de vidro (Becker ou vidro de maionese).
- Panela e local para fervura.

Procedimento

- Embeba todos os os grãos em água por 24h.
- Ferva, simultaneamente, cinco grãos de feijão e cinco de milho por 3 minutos.
- Separe cuidadosamente, para não danificar o embrião, as duas metades (cotilédones) de todos os grãos.
- Coloque as metades dos grãos fervidos em um dos recipientes de vidro e as das não fervidas no outro.
- Coloque 50mL de solução de tetrazólio em cada recipiente.
- Mantenha os recipientes no escuro por três horas e verifique os grãos que apresentam uma coloração rosada.
- Faça uma tabela para expressar esses resultados.

O Teste do Tetrazólio se baseia na alteração de cor de tecidos vivos em presença de uma solução de 0,5% do sal 2, 3, 5 – trifênil tetrazólio ($C_{19}H_{15}N_4Cl$). A mudança de cor acontece em função da atividade de enzimas desidrogenases, que estão envolvidas na respiração celular. Se ocorrer a redução do sal de tetrazólio, catalisada pelas desidrogenases, o tecido ficará vermelho. A presença de atividade dessas enzimas indica que o tecido, no caso, o embrião, está viável. Os embriões não-viáveis não reagem e, portanto, não ficam coloridos. Uma coloração vermelho claro indica um tecido saudável, enquanto o vermelho muito intenso indica que esse tecido já está em deteriorização (taxa respiratória muito elevada).

RESUMO

Você observou, experimentalmente, o efeito de fatores ambientais para a quebra da dormência, para as etapas da germinação e a forma que podemos determinar a viabilidade de um lote de sementes.

ATIVIDADE FINAL

Prepare um relatório contendo introdução, material utilizado, resultados e discussão (análise) referentes a cada experiência. Você terá uma semana para preparar e entregar o relatório. Não deixe de discutir os resultados com seu tutor no pólo.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você deve ser capaz de expressar e discutir os resultados que encontrou nas experiências após discuti-las com seu tutor e colegas. Esta aula prática é muito importante para você fixar os conceitos aprendidos nas aulas teóricas; além disso, é uma oportunidade para você aprender como se comportar num laboratório de Biologia.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na Aula 26, você vai ver como a luz modula diversos aspectos do crescimento vegetal e de que forma as plantas conseguem monitorar as informações dadas pela luz.

As plantas e a luz

Meta da aula

Apresentar o papel vital da luz para as plantas e os principais receptores na célula vegetal para os comprimentos de onda.

- Descrever os principais processos fisiológicos das plantas que são regulados pela luz.
- Distinguir os efeitos dos diferentes comprimentos de onda da luz que são captados por receptores celulares.

Pré-requisitos

É importante que, antes de iniciar a leitura desta aula, você reveja, na Aula 21, o papel do fitormônio auxina e busque, nas Aulas 28 e 29 de Botânica I, os conceitos de fotossíntese e transpiração.

INTRODUÇÃO

Você estudou, em Botânica I, o principal processo dependente de luz – a fotossíntese. Então, você deve lembrar que o pigmento responsável por absorver a luz é a clorofila e que os organismos fotossintetizantes não absorvem todos os comprimentos da luz visível para realizar a fotossíntese. Relembre, a seguir (**Figura 26.1**), o espectro de absorção de luz pela clorofila.

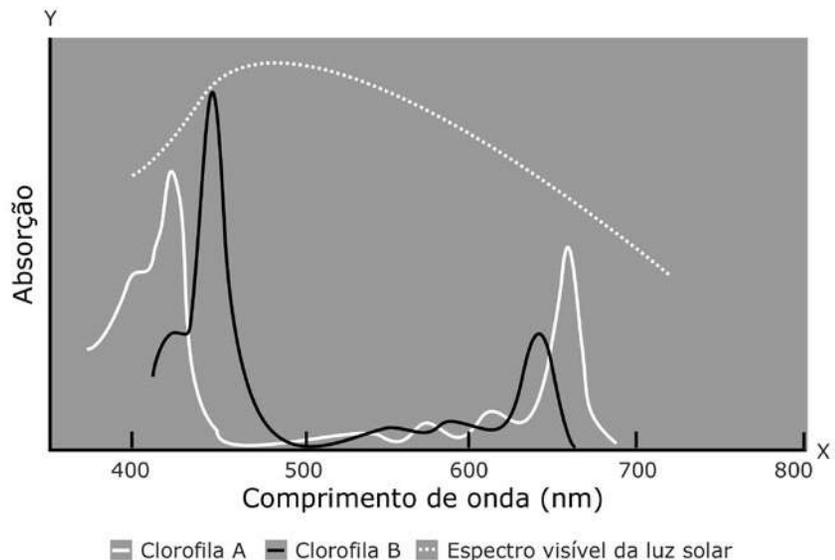


Figura 26.1: Espectro de absorção da clorofila (note os picos de absorção na região do azul, 450-500nm, e do vermelho, 650-700nm).

Você estudou, também em Botânica I, o processo de abertura estomática, que é desencadeado pela luz azul da radiação solar, captada por um receptor específico presente na célula vegetal. Estudos recentes têm indicado que a **zeaxantina**, um tipo de carotenóide, é o receptor de luz azul envolvido na abertura dos estômatos.

A zeaxantina é uma das três componentes do ciclo das xantofilas do cloroplasto, o qual protege os pigmentos fotossintéticos contra o excesso de energia solar. Sob alta intensidade luminosa, a violaxantina é convertida em zeaxantina, a qual se liga ao Complexo-Antena da membrana do cloroplasto, permitindo a dissipação de energia na forma de calor.

- ⊗ Essencialmente, o que difere a fotossíntese da abertura estomática?
- ⊗ Na fotossíntese, as plantas utilizam a energia da luz solar (fótons), transformando-a em energia química. E, no segundo processo, o de abertura estomática, a planta usa a luz como um sinalizador do ambiente, de forma a ajustar seu crescimento às condições ambientais.

Essa é uma diferença importante, e nesta aula estudaremos a influência da luz como um sinalizador no crescimento das plantas, ou fotomorfogênese. Podemos dividir esses processos basicamente em dois tipos, cada qual com seus respectivos receptores:

- aqueles sensíveis à luz azul, como o **fototropismo** e a regulação do alongamento do caule;
- aqueles sensíveis à luz vermelha, como indução de floração e germinação de sementes.

Fototropismo: crescimento da planta direcionado pela luz. O fototropismo pode ser positivo (em direção à luz) ou negativo (contra uma fonte de luz).

É importante que você lembre que a luz solar, ao atingir diferentes superfícies na Terra, pode sofrer refração, reflexão ou absorção, e isso causa alteração na proporção de cada comprimento de onda que compõe a luz solar (**Figura 26.1**). Como as plantas são capazes de perceber essas alterações, elas conseguem identificar, por exemplo, se estão na sombra, no escuro ou na luz solar direta.

A LUZ AZUL COMO SINALIZADOR DO AMBIENTE

Embora a luz azul seja o fator ambiental comum a todos os processos que discutiremos a seguir, existem diferentes receptores sensíveis a esse comprimento de onda. E isso é um fator crucial, pois, assim, a planta pode modular diferentes aspectos do seu desenvolvimento.

As recentes descobertas, principalmente nas últimas duas décadas, dos diferentes receptores de luz azul foram possíveis graças à produção de mutantes por manipulação genética, de **ARABIDOPSIS** e de tabaco. Tais mutantes podem possuir um gene ou conjunto de genes conhecido, que não se expressa ou que se expressa em excesso. E quando se conhece a proteína que esse determinado conjunto de genes codifica, pode-se começar a inferir sobre quais substâncias estariam envolvidas com determinadas funções na planta. Assim, um mutante de *Arabidopsis* que não converte violaxantina em zeaxantina possui estômatos incapazes de responder à luz azul. Entretanto, observa-se que esse mutante cresce normalmente em direção a uma fonte de luz – fototropismo. Trata-se, portanto, de tipos independentes de resposta à luz azul (movimento estomático e fototropismo), e, conseqüentemente, mediados por mais de um tipo de fotoreceptor.

A análise genética de **ARABIDOPSIS thaliana**, assim como de outras plantas como o espinafre, o tabaco e o milho, tem demonstrado que as fases do desenvolvimento de uma planta, como germinação, organogênese ou floração, dependem de uma complexa interação entre genes de regulação. Nossa compreensão sobre a função desses genes tem-se mostrado útil para o conhecimento de outras culturas vegetais, porque os genes são semelhantes entre as diferentes espécies. Assim, conhecer um gene ajuda a conhecer sua função, tanto em *A. thaliana* como em outras espécies. Para identificar novos genes expressos durante o desenvolvimento, utilizam-se técnicas de genômica funcional. Essa área de pesquisa estuda a função atribuída a cada gene, testa se a função atribuída está correta, o que acontece quando, por exemplo, esse gene é impedido de se expressar, e o que muda no organismo em função da expressão de um gene.

Fototropismo

Como foi dito anteriormente, o termo fototropismo se refere ao crescimento direcionado pela luz. Nos vegetais, a resposta fototrópica à luz pode ser positiva ou negativa, ou seja, pode ser em direção à luz ou no sentido contrário. A parte aérea do vegetal cresce em direção à luz, e a maioria das raízes responde à luz, crescendo em direção contrária, isto é, em direção ao solo.

COLEÓPTILO

Folha modificada que protege as folhas primárias jovens em plântulas de gramíneas.

- 🔒 Mas de que forma as plantas se movimentam em resposta à luz?
- 🔒 Há séculos notou-se que as plantas crescem em direção à luz (fototropismo), mas foram Charles Darwin e seu filho Francis, por volta de 1880, que demonstraram que o local de percepção da luz e o de crescimento diferenciado são distintos. Eles fizeram isso através de uma experiência com ápice de COLEÓPTILO (Figura 26.2).

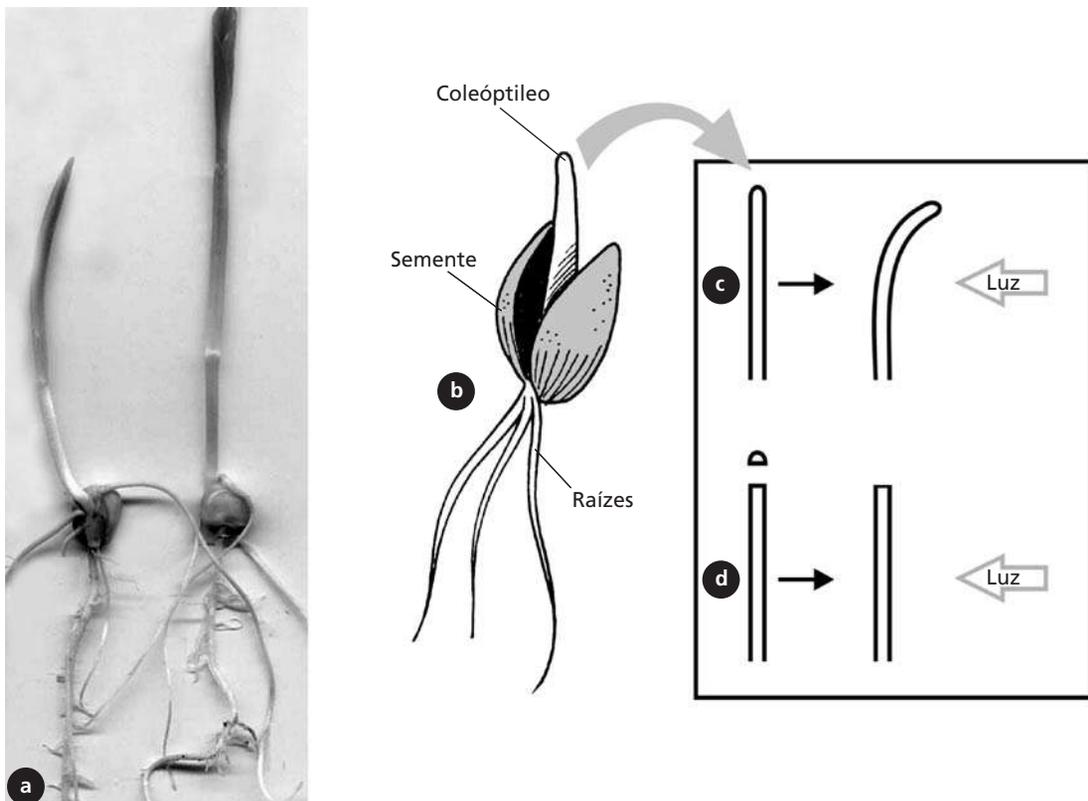


Figura 26.2: Coleóptilo de plântulas de milho e aveia (b) e experiência clássica realizada por Darwin com coleóptilos de aveia sob iluminação lateral, curvando-se em direção à luz (c) e com ápice removido, quando o coleóptilo não responde à iluminação lateral (seta) (d).

Através de duas experiências, os Darwin demonstraram que o local de percepção da luz é o ápice do coleóptilo. Ao removê-lo, a planta perde a capacidade de se curvar em direção à luz (**Figura 26.2.d**), e se o cobrirmos, a planta também não se curva (**Figura 26.3.a**) mas; se cobrirmos o restante do coleóptilo, exceto o ápice, o movimento de curvatura em direção à luz (fototropismo) não será afetado (**Figura 26.3.b**). Entretanto, os Darwin não determinaram qual seria o mecanismo que permitiria à planta responder à luz.

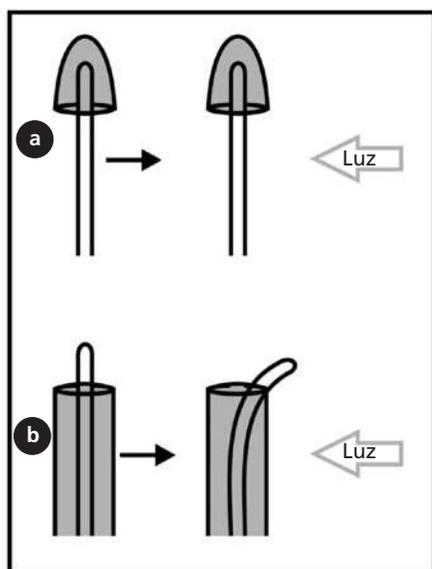


Figura 26.3: Experiência realizada com ápices de coleóptilo com iluminação lateral (seta) da sua base (a) e do seu ápice (b).

Na primeira década do século passado, mais experiências (**Figura 26.4**) mostraram que a substância responsável pelo movimento podia atravessar um bloco de ágar (**Figura 26.4.a**), mas, se os feixes vasculares fossem descontinuados obstruindo-os com lâminas finíssimas de mica, a substância era bloqueada (**Figura 26.4.b**).

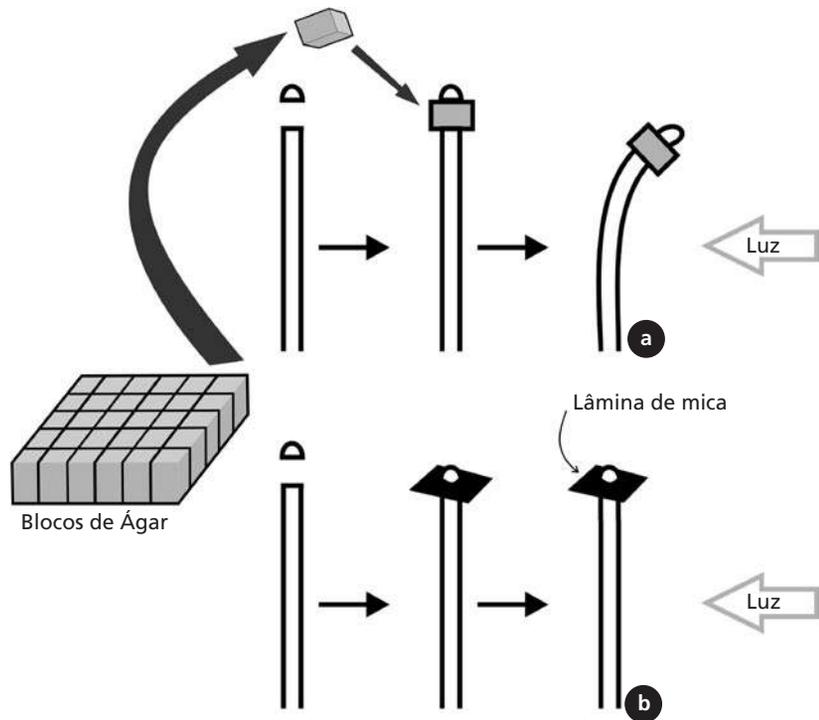


Figura 26.4: Experiências com coleóptilo, mostrando que a substância responsável pela resposta fototrópica se difunde e pode ser armazenada em bloco de ágar (a). Entretanto, a resposta não ocorre se o fluxo da substância, através do coleóptilo, for interrompido com materiais como a mica (b).

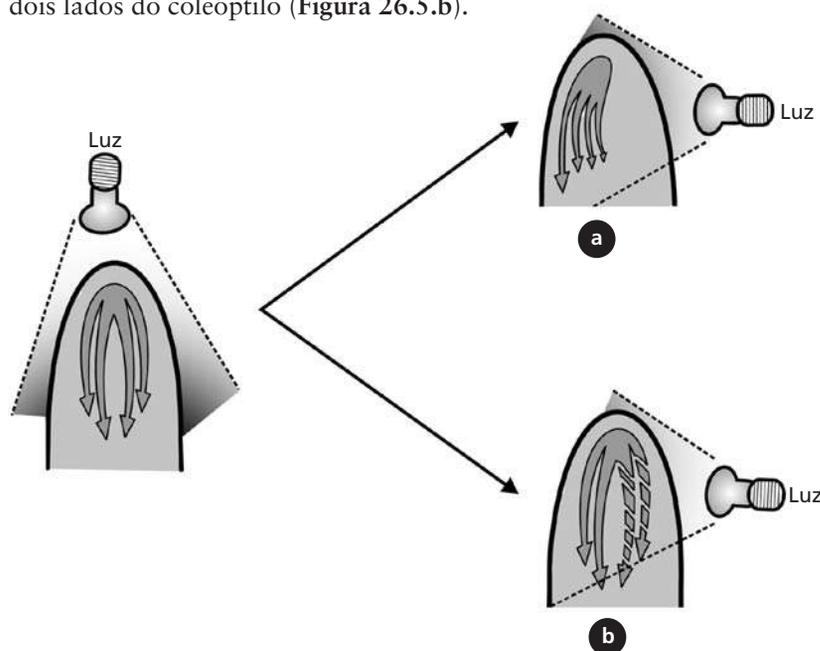
A substância responsável pela curvatura em direção à luz pode, ainda, ser armazenada em blocos de ágar e estimular a curvatura de outro coleóptilo, no seguinte experimento: ápices de coleóptilos (já estimulados por luz lateral) foram removidos e colocados sobre blocos de ágar. Em seguida, esses blocos foram colocados sobre cada um dos lados de coleóptilos sem ápices que não haviam sido expostos à luz lateral. Somente os coleóptilos nos quais o bloco de ágar foi colocado do lado sombreado se curvaram em resposta à luz (**Figura 26.4**). Logo, a substância armazenada no bloco de ágar precisa passar para o lado sombreado para produzir a resposta. Você notará nas próximas experiências que a técnica de quantificação da substância armazenada no bloco de ágar pelo ápice de coleóptilo elucidará muito sobre o mecanismo de resposta fototrópica.

Em meados de 1930, foi determinada a estrutura química da substância responsável pelo fototropismo – o ácido 3-indolacético, um tipo de auxina. Posteriormente, foram criados análogos sintéticos que têm grande importância na agricultura.

Apenas recentemente, foi apontado o receptor celular responsável pela percepção da luz azul e desencadeamento do fototropismo. Briggs e Christie (2002) descobriram que uma proteína **QUINASE**, denominada fototropina, era responsável por produzir a curvatura em direção à luz em **HIPOCÓTILOS** de *Arabidopsis* e em coleóptilos de aveia. Essa proteína é autofosforilada em resposta à luz azul, desencadeando a resposta fototrópica.

- ➊ Após a ativação da fototropina, o que ocorre?
- ➋ A hipótese atual (conhecida como Modelo de Cholodny-Went) é a de que o gradiente de fototropina, fosforilada no ápice do coleóptilo, induz primeiro um movimento lateral da auxina em direção ao lado sombreado. Posteriormente, a auxina move-se em direção à base (direção basipetal), ao longo do lado sombreado do coleóptilo. As células desse lado começam a alongar-se, enquanto as do lado iluminado não. Assim, ocorre um crescimento diferenciado e a planta se curva em direção à luz (Figura 26.5.a).

Outra hipótese é a de que a auxina seria degradada do lado iluminado, à medida que fosse descendo uniformemente ao longo dos dois lados do coleóptilo (Figura 26.5.b).



QUINASES

São enzimas que transferem fosfato de moléculas de ATP para si ou para outras enzimas (fosforilação), ativando ou desativando a enzima.

HIPOCÓTILO

Região do caule de plântulas, localizado entre os cotilédones e a raiz.

Figura 26.5: Representação gráfica das duas hipóteses que explicariam o que acontece com a auxina em resposta à iluminação lateral.

- Ⓒ Qual a diferença entre as duas hipóteses?
- Ⓓ Na primeira, a quantidade de auxina que é produzida no ápice do coleótilo não diminui, apenas migra para o lado sombreado. Já na segunda, a quantidade de auxina diminuiria, à medida que fosse sendo degradada no lado iluminado.

A experiência a seguir permitiu investigarmos as duas hipóteses (**Figura 26.6**):

Primeiramente, colocaram-se ápices sobre blocos de ágar para que ela se difundisse neles. A auxina é extraída do bloco de ágar e, então, quantificada. Observe os resultados na **Figura 26.6**. A quantidade de auxina coletada nos blocos do ápice no escuro (a) e sob iluminação lateral (b) é praticamente a mesma. Portanto, não ocorre produção diferenciada nem degradação de auxina em resposta à luz. Isto já oferece fortes indícios para descartarmos a segunda hipótese. Porém, é necessário ainda tentar provar a primeira hipótese, aquela que prevê que a auxina migra do lado iluminado para o sombreado.

O isolamento das metades de ápices de coleótilo, com lâminas finíssimas de mica, permite investigar melhor o que ocorre com a produção de auxina em cada lado do coleótilo sujeito à iluminação lateral, em diferentes situações experimentais indicadas a seguir:

Situação 1: ápice do coleótilo sob iluminação lateral, *dividido longitudinalmente, do topo até a base*.

Resultado 1: a quantidade de auxina coletada no bloco de ágar não se altera em relação às situações anteriores, **26.6.a e b (Figura 26.6.c)**.

Situação 2: ápice do coleótilo sob iluminação lateral dividido longitudinalmente, do topo até a base; e *bloco de ágar também dividido* (cada metade foi quantificada isoladamente).

Resultado 2: a quantidade de auxina coletada nas duas metades do bloco de ágar também se mantém a mesma (**Figura 26.6.d**).

Situação 3: ápice do coleótilo sob iluminação lateral, *dividido longitudinalmente, apenas na base*; e bloco de ágar também dividido (cada metade foi quantificada isoladamente).

Resultado 3: a quantidade de auxina coletada na metade sombreada é maior que a da iluminada (**Figura 26.6.e**).

Situação 4: *ápice do coleóptilo no escuro*, dividido longitudinalmente, apenas na base; e bloco de ágar também dividido (cada metade foi quantificada isoladamente).

Resultado 4: a quantidade de auxina coletada em cada metade do bloco de ágar é igual (Figura 26.6.f).

Conclusão: em a, b e c não é possível, ainda, saber o que se passa com o transporte de auxina no coleóptilo porque a quantificação desse hormônio foi feita no bloco inteiro. Em d, a auxina é impedida de migrar para o lado sombreado, portanto, as duas metades ficaram com a mesma quantidade do hormônio. Na experiência e, a auxina migrou em resposta à luz; e como as metades do bloco de ágar estavam isoladas, foi possível determinar que ocorre migração do hormônio em resposta à luz. Em f isso não ocorre, pois o ápice está no escuro.

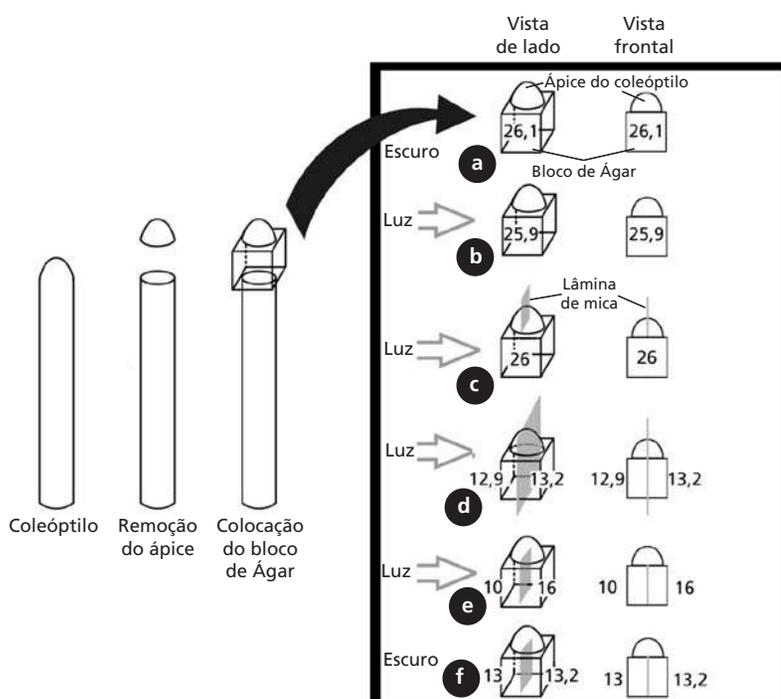


Figura 26.6: Representação gráfica das experiências realizadas para identificar a hipótese que melhor explica o que acontece com a auxina em resposta à iluminação lateral.

REGULAÇÃO DO ALONGAMENTO DO CAULE

Existe um outro processo também regulado pela luz azul: o alongamento do caule. Uma semente, após emitir radícula, começa a se alongar. O alongamento do caule permite que as plântulas vençam, por exemplo, a camada de solo sobre elas até que encontrem a superfície.

Ao vencer a camada de solo, a plântula encontra luz e o alongamento do caule pode ser reduzido para que a plântula se dedique a expandir as folhas. Pode ocorrer, ainda, que uma planta tenha emergido numa área sombreada. Se ela for uma planta de sol (ou seja, uma planta que requer alta incidência luminosa – Aula 30, Botânica I), precisará investir suas reservas energéticas para continuar crescendo (o caule continua se alongando) até chegar a uma área ensolarada. No entanto, se uma planta já tiver emergido em local apropriado, usará suas reservas energéticas para se estabelecer melhor naquele local (ampliando seu sistema radicular e o número de folhas), e o alongamento do caule deve cessar. Este fato é facilmente observado quando comparamos sementes germinadas no claro e no escuro. Faremos isso na próxima aula, que é prática.

É o comprimento de luz na faixa do azul que fornece informação à planta para cessar ou não o alongamento do caule. Mutantes de *Arabidopsis*, que não possuem o gene que codifica para a proteína criptocromo, são incapazes de cessar o alongamento do caule em presença de luz solar direta ou de luz azul sozinha, enquanto outros que expressam em demasia esta proteína são hipersensíveis à luz azul. Esses achados indicam ser o criptocromo o receptor responsável por essa resposta nas plantas.

Vimos em mais detalhes, portanto, dois processos de fotomorfogênese regulados pela luz azul:

- fototropismo \Rightarrow regulado pela fototropina
- alongamento do caule \Rightarrow regulado pelo criptocromo

Outros tipos de tropismos (crescimento direcionado)

– Gravitropismo: crescimento direcionado em resposta à força da gravidade.

– Tigmotropismo: crescimento direcionado em resposta ao toque ou ao vento.

O gravitropismo pode ser observado quando se colocam plântulas de aveia crescidas no escuro, em posição horizontal. O coleóptilo crescerá contra a força da gravidade e as raízes crescerão para baixo. De acordo com o Modelo de Cholodny-Went, a auxina é transportada lateralmente para baixo, causando o crescimento diferenciado.

- Mas de que forma a planta poderia perceber a força da gravidade?
- Uma das hipóteses diz que a gravidade é percebida graças aos amiloplastos, denominados estatolitos quando desempenham a função de sensores da força da gravidade. Os amiloplastos são organelas muito densas e por isso sedimentam na base das células. Na parte aérea, os amiloplastos se concentram numa camada em torno dos tecidos vasculares, e, na raiz, acumulam-se no ápice. A hipótese dos amiloplastos como sensores é endossada pelo fato de que mutantes deficientes na produção de amido têm resposta deficiente à força da gravidade. Uma outra hipótese não diz respeito aos amiloplastos, e sim a um balanço entre auxina e ABA nas células da raiz e é apoiada pelo fato de que mutantes deficientes em auxina não respondem à gravidade. Ainda não se tem a resposta definitiva para a capacidade das plantas de se orientarem verticalmente pela força da gravidade.

O tigmotropismo permite que as raízes contornem uma pedra ou que o caule escale objetos (plantas trepadeiras). O lado da planta que fica em contato com o objeto cresce mais lentamente que o outro. Essa resposta foi observada também em caso de vibrações, chuva e fluxo turbulento de água. Outro exemplo de tigmotropismo ocorre em árvores que crescem na borda de uma plantação ou floresta castigada por fortes ventos, as quais se tornam mais baixas e atarracadas. O hormônio etileno, além da auxina, pode estar envolvido nesta resposta.



ATIVIDADE

1. Suponha a seguinte experiência:

Três plântulas de feijão recém-germinadas foram colocadas em caixas de papelão com apenas um orifício. Diante do orifício da primeira caixa, foi colocada uma lâmpada de luz branca; em frente à segunda, uma lâmpada de luz azul; a terceira caixa foi colocada no escuro. Qual é sua previsão de resultados, levando em consideração o que leu sobre o efeito da luz e seus diferentes comprimentos de onda?

RESPOSTA COMENTADA

Se você achou que as plântulas da primeira (luz branca) e da segunda (luz azul) caixas, vão crescer em direção ao orifício, acertou. Tanto o comprimento de luz azul presente na luz branca como a luz azul sozinha promovem o crescimento em direção ao estímulo luminoso. É o chamado fototropismo. O receptor de luz azul, responsável por captar esse estímulo, é a fototropina; o crescimento diferenciado de cada lado do caule se dá pelo acúmulo de hormônio auxina do lado não iluminado que, portanto, cresce mais. Quando essas plântulas alcançarem a luz, cessa o alongamento do caule, pois o criptocromo também é sensível ao comprimento de onda na faixa do azul. A plântula que ficou no escuro deve se alongar sem direcionamento, até que suas reservas energéticas acabem.

A LUZ VERMELHA COMO SINALIZADOR DO AMBIENTE

Veremos, agora, os processos de fotomorfogênese regulados pela luz vermelha. Até o presente momento, foi identificado apenas um pigmento responsável por mediar os processos sensíveis à luz vermelha – o fitocromo (F).

Experiências recentes, utilizando-se mutantes, revelaram que o fitocromo é, na realidade, uma família de substâncias: já foram identificados cinco tipos, cada qual codificado por diferentes genes nas células e denominados fitocromos A, B, C, D e E. As pesquisas têm demonstrado que sua ação fisiológica pode ser individual ou em sincronia com mais de um fitocromo. O fitocromo pode ser sensível à luz na faixa do vermelho ou na do vermelho longo (também chamado vermelho extremo), conforme você verá adiante.

CONTROLE DO DESENVOLVIMENTO DA CLOROFILA PELO FITOCROMO

A clorofila *a* e a clorofila *b* são os principais pigmentos fotossintéticos em plantas. As plantas crescidas no escuro são estioladas e não possuem clorofila. A luz é necessária em uma das etapas da síntese de clorofila (veja o esquema a seguir). A reação de fotorredução que produz clorofilídeo pode ocorrer a partir de um milésimo de segundo de luz intensa. A produção de clorofila, nas reações seguintes, ocorrerá mais rapidamente se houver fornecimento de luz contínua em seguida.



Essas reações na via de síntese da clorofila são mediadas pelo pigmento fitocromo (F), o qual possui duas formas: a sensível ao vermelho (660nm) e aquela sensível ao vermelho longo (730nm). O controle da produção de clorofila e de outros processos fisiológicos mediados pelo fitocromo ocorre pela razão entre esses dois estados do fitocromo (F_v e F_{ve} , respectivamente), conforme a **Figura 26.7**.

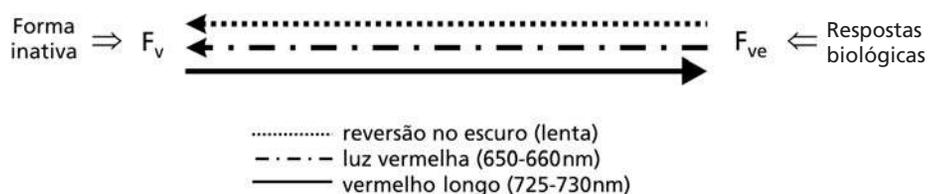


Figura 26.7: Representação esquemática da interconversão das duas formas do fitocromo, em função do comprimento de luz incidente. O F_v é sintetizado pela planta e uma parte é convertida em F_{ve} , dependendo da proporção dos comprimentos de onda vermelho e vermelho extremo, presentes na luz solar.

Note que a forma inativa do fitocromo (F_v) é sensível à luz vermelha, enquanto a ativa biologicamente (F_{ve}) é sensível ao vermelho extremo. A proporção dos comprimentos de onda vermelho/vermelho extremo na luz incidente sobre a planta determina, portanto, o balanço entre F_v/F_{ve} . A forma inativa é aquela sintetizada na planta e, em seguida, conforme a luz incidente, uma parte de F_v passa para F_{ve} , numa proporção determinada pela qualidade da luz incidente.

Esse mecanismo permite, por exemplo, que as plantas “percebam” a proximidade de outras. Sob o dossel, porque as camadas de folhas absorvem predominantemente luz vermelha (lembre-se de que o principal pico de absorção da clorofila é em torno de 660-700nm), a proporção de vermelho extremo na luz transmitida aumenta. Uma vez ativado, o fitocromo pode, ainda, sofrer uma reversão lenta, causada por nova exposição da planta ao escuro.

Após a luz solar atravessar folhas de uma árvore, por exemplo, a proporção de luz vermelha diminui, pois ela é absorvida pelas folhas para a realização da fotossíntese. Dessa maneira, o fitocromo das plantas que estão debaixo da árvore fica em maior proporção na forma F_v , já que a proporção de luz vermelho extremo aumentou em relação à de luz vermelha. Essas plantas têm, assim, a indicação de que estão na sombra.

Na próxima atividade vamos investigar o efeito que diferentes pré-tratamentos de luz acarretam à síntese de clorofila quando as plantas são transferidas para luz branca. As plântulas foram submetidas a três tratamentos consecutivos, de diferentes regimes de luz como segue:

ATIVIDADE



2. Pré-tratamentos

- (i) 7 dias de escuro → 6 horas de escuro
- (ii) 7 dias de escuro → 3 minutos de luz vermelha → 3 horas de escuro
- (iii) 7 dias de escuro → 3 minutos de luz vermelha → 3 minutos de vermelho extremo → 3 horas de escuro

Aqui você examinará o desenvolvimento da clorofila em três momentos: início da experiência (tempo 0), 1 e 2h após as plântulas de cevada terem sido transferidas para luz branca. O objetivo é investigar o efeito dos três pré-tratamentos na síntese da clorofila. A clorofila foi extraída em 10 cm⁻³ de acetona 80% (v/v).

Tabela 26.1: Valores de absorvância em 663nm, obtidos no espectrofotômetro. Os valores em parênteses são o peso fresco (g) das amostras foliares

Pré-tratamentos	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 2
i	0.01 (3.5)	0.10 (3.5)	0.85 (3.6)
ii	0.01 (3.3)	0.95 (3.4)	1.7 (3.4)
iii	0.01 (3.6)	0.15 (3.4)	1.10 (3.6)

a. Calcule a concentração de clorofila (c) em mg cm^{-3} . Depois, calcule a concentração de clorofila nas plântulas em mg de clorofila por grama de peso fresco (mg clor. g^{-1} folha), usando as fórmulas a seguir.

Considere: $c (\text{mg cm}^{-3}) = A/ed$ onde,

A = absorvância

e = coeficiente de extinção de clorofila em acetona ($0.8\text{cm}^{-2} \text{mg}^{-1}$)

d = distância-padrão da cuveta (1cm)

$$\text{Concentração de clorofila na folha} = (c \times \text{vol.})/\text{peso fresco}$$

$$(\text{mg clorofila} \times \text{g}^{-1} \text{ folha})$$

b. Justifique o resultado encontrado indicando o possível efeito de:
a) 6 horas de escuro; b) 3 minutos de vermelho; c) 3 minutos de vermelho extremo nos pré-tratamentos.

RESPOSTA COMENTADA

a.

	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 2
i	0,0125mg cm ³	0,0125mg cm ³	1,062mg cm ³
ii	0,0125mg cm ³	1,188mg cm ³	2,125mg cm ³
iii	0,0125mg cm ³	0,188mg cm ³	1,387mg cm ³

	Tempo 0	Tempo 1	Tempo 2
i	0,036mg clor. g ⁻¹ folha	0,357mg clor. g ⁻¹ folha	2,950mg clor. g ⁻¹ folha
ii	0,038mg clor. g ⁻¹ folha	3,494mg clor. g ⁻¹ folha	6,250mg clor. g ⁻¹ folha
iii	0,035mg clor. g ⁻¹ folha	0,349mg clor. g ⁻¹ folha	3,853mg clor. g ⁻¹ folha

b. No caso do tratamento (i) não houve estímulo do fitocromo, pois não ocorreu conversão do FV em FVE durante o pré-tratamento (escuro). Somente quando houve exposição da plântula à luz branca é que aconteceu a conversão do protoclorofilídeo em clorofilídeo. Portanto, a produção de clorofila se iniciou mais tarde. No tratamento (ii), como houve uma pré-exposição à luz vermelha, parte do FV foi convertido em FVE e as três horas seguintes de escuro não se reverteram completamente à forma inativa (FV), o que permitiu que a síntese de clorofila começasse antes da exposição à luz branca. No tratamento (iii), a exposição ao comprimento de onda vermelho longo reverteu quase completamente o tratamento de luz vermelha, pois a quantidade de clorofila presente no tempo 2 foi bem inferior à do tratamento (ii). As três horas de escuro que foram dadas ao final, contribuíram para essa reversão.

AS VÁRIAS FUNÇÕES DESEMPENHADAS PELO FITOCROMO**Ritmo circadiano**

Normalmente, todos os seres vivos estão sujeitos a períodos diurnos e noturnos durante as 24 horas do dia. Diversos processos, como a abertura das pétalas da vitória-régia, o funcionamento da enzima PEP carboxilase em plantas CAM (Botânica I, Aula 30) ou o padrão diário de liberação de enzimas pelo fígado no homem, possuem uma periodicidade em torno de 24h, oscilando entre o mínimo e o máximo da atividade durante um período de, aproximadamente, 24h.

Esses processos permanecem ocorrendo por alguns dias na mesma hora, quando, experimentalmente, se mantém o organismo em escuro ou em luz constantes. Então, podemos deduzir que não se trata apenas de uma resposta direta à presença ou à ausência de luz ou a outra variável ambiental, e sim a um relógio interno dos organismos. Ou seja, trata-se de um ritmo endógeno dos organismos, conhecido como ritmo circadiano.

Os processos regulados endogenamente são sensíveis tanto à luz azul quanto à luz vermelha. Portanto, receptores de luz azul e os de luz vermelha (fitocromo) estão envolvidos com a manutenção interna do ciclo circadiano nas plantas.

Além de as plantas precisarem sincronizar seu metabolismo com a hora do dia, é necessário, ainda, terem informação do período do ano. Esse fato é primordial, principalmente, para as plantas de clima temperado ou de região árida, em que as estações do ano são bem marcadas e, com frequência, o inverno ou a estação seca são muito inóspitos para plântulas. Portanto, a floração e a germinação devem ser sincronizadas com as épocas mais amenas. Já nos trópicos, temos flores durante quase todo o ano e não há época particularmente inviável para a germinação ou crescimento de plântulas.

Os movimentos da planta leguminosa conhecida como dormideira (*Mimosa pudica*), são tecnicamente chamados nictinastismo e constituem exemplo de ritmo circadiano regulado pela luz azul (estimula a abertura) e pela luz vermelha (estimula o fechamento) das folhas. O movimento das folhas da dormideira é causado por uma maior expansão celular em um dos lados do pecíolo. A expansão diferenciada é na verdade um aumento de turgor das células de um dos lados do pecíolo.

- 🔒 Como se dá a diferença de turgor entre os dois lados do pecíolo?
- 🔓 Esse aumento é causado pelo transporte ativo de solutos de um lado a outro do pecíolo, principalmente K^+ , determinando a entrada passiva de água. Somente folhas com uma estrutura em forma de joelho (pulvinos) na base do pecíolo, como a de várias outras espécies de leguminosas e da família Oxalidaceae, têm a capacidade desse tipo de movimento.

Note que assim como o tigmotropismo, o nictinastismo também pode ser uma resposta ao toque. Porém, no caso do tigmotropismo, a planta cresce em resposta ao estímulo, enquanto no nictinastismo trata-se somente de movimento, e não de crescimento.

Fotoperíodo

Podemos classificar as plantas quanto ao momento do ano em que florescem. Como dissemos anteriormente, nas regiões temperadas, onde as estações são bem marcadas, a duração do período luminoso em um período de 24h varia ao longo do ano. Por exemplo, no Estado do Rio de Janeiro temos mais horas de luz durante o verão; por isso, o Governo estabelece o horário de verão, pois amanhece mais cedo e anoitece mais tarde. O mesmo não ocorre nos estados do Nordeste, mais próximos ao Equador. Quanto mais distante um país for do Equador, maior será a diferença do número de horas de luz em relação ao de escuro ao longo do ano; logo, o número de horas de luz em um período de 24 horas é uma forma de se ter informação sobre estação do ano.

Assim, têm-se as chamadas *plantas de dia longo*, *plantas de dia curto* e aquelas indiferentes ao comprimento do dia. Observe a **Figura 26.8**:

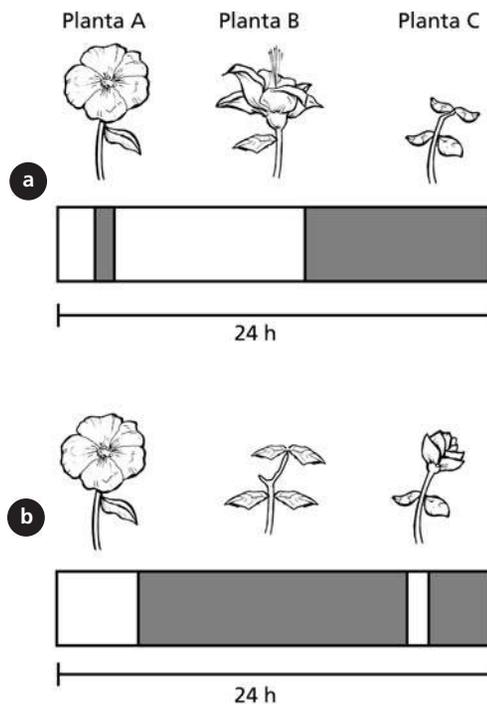


Figura 26.8: Diferentes espécies de Angiospermas sujeitas a dois fotoperíodos: 8h de escuro (a) e 16h de escuro (b).

- 🔒 Como você classificaria as plantas A, B e C?
- 🔒 Como a planta A floresce em ambas as situações, trata-se de uma planta neutra quanto ao fotoperíodo. Já a planta B apenas floresceu, quando o fotoperíodo foi de, aproximadamente, 15 horas de claro e 9 horas de escuro; portanto, é uma planta de dia longo. Finalmente, a planta C é o oposto da b: é uma planta de dia curto.

Como podemos saber qual parte da planta recebe o estímulo luminoso?

Veja a experiência a seguir, em que se expôs somente o ápice da planta ou as folhas ao estímulo luminoso, conforme a **Figura 26.9**. Observe os resultados e responda comigo.

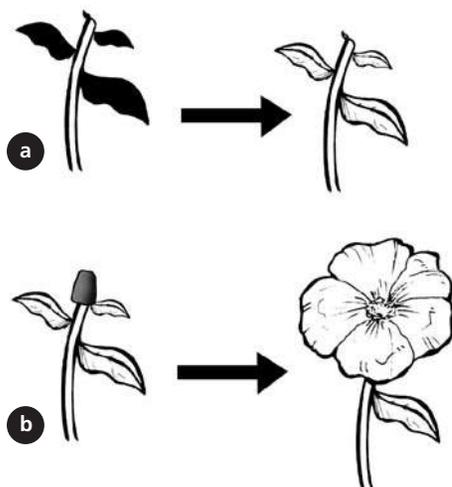


Figura 26.9: Indivíduos de uma espécie de Angiosperma foram sujeitos a 15h de claro e 9 de escuro, como na **Figura 26.8.a**. Algumas plantas tiveram as folhas cobertas (a) e outras o ápice (b).

Como somente as plantas que receberam o estímulo luminoso nas folhas responderam da mesma forma que na experiência anterior (**Figura 26.8**), podemos concluir que o local da planta sensível ao estímulo luminoso é a folha.

Entre 1936 e 1937, Mikhail Chailakhyan, trabalhando com enxertos em plantas, postulou a existência de um hormônio capaz de induzir a floração, o florígeno. Juntamente com o trabalho de Chailakhyan, muito contribuiu o pesquisador Anton Lang para o entendimento da ação do florígeno. Entretanto, até os dias de hoje,

esse hormônio não foi isolado. Isso pode ser resultado de dificuldades experimentais de extração dessa possível substância, ou pode tratar-se não de um único hormônio, e sim de um balanço de hormônios que promove a floração.

Mas será que a planta percebe a duração do dia ou da noite?

Para responder a esta pergunta, foram realizadas as experiências ilustradas na **Figura 26.10**. As plantas de dia longo e as de dia curto foram expostas a períodos diurno e noturno, interrompidos por uma hora de escuro ou de claro, respectivamente.

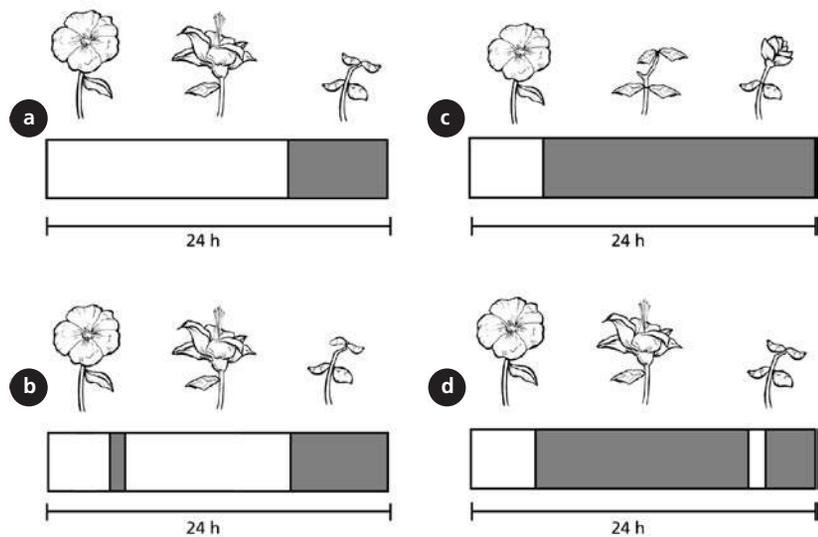


Figura 26.10: Espécies de Angiospermas sujeitas a diferentes fotoperíodos. Plantas de dia longo (noite curta) florescem se a noite for curta (a e b). As de dia curto (noite longa) florescem se a noite for longa e exceder o mínimo de horas de escuro (c e d).

Note que quando as plantas de dia longo foram expostas a dias curtos, causados pela interrupção do período diurno, o florescimento não foi afetado (**Figura 26.10.a e b**). Porém, se o período noturno fosse alterado, isso afetava o florescimento das plantas (**Figura 26.10.c e d**). Concluiu-se, assim, que as plantas são sensíveis ao número de horas do período noturno e não ao de horas do período diurno.

O FITOCROMO E A GERMINAÇÃO DE SEMENTES

Experiências com sementes de alface sob luz vermelha (V) e vermelho longo (VL) forneceram os seguintes resultados:

Tratamento de luz	% de germinação
V (2min)	81
V (2min); VL (2min)	9
V (2min); VL (2min); V (2min)	82

- 🔍 O que você pode deduzir desses dados?
- 🔍 Que assim como o fotoperíodo e a produção de clorofila, a germinação é mediada pelo fitocromo, já que a germinação é fortemente afetada pela forma biologicamente inativa do fitocromo (FVE).

Mais uma vez você vê que o fitocromo participa de várias etapas do desenvolvimento de uma planta, informando a presença e a qualidade da luz incidente.

CONCLUSÃO

Os processos de fotomorfogênese, assim como outros (exs.: síntese de clorofila, germinação e floração), são modulados pela luz. Esses processos utilizam a luz como sinalizador do ambiente, enquanto a fotossíntese utiliza a própria luz como “ingrediente” da fotossíntese, na forma de pacotes energéticos, os fótons. As informações quanto à posição de uma planta em relação a outras numa floresta, à época do ano ou à hora do dia são obtidas através de receptores celulares, sensíveis a diferentes comprimentos de onda, na faixa do azul e do vermelho. Dessa forma, a luz não só é fundamental na manutenção da base da cadeia alimentar e, por conseguinte, da vida, mas também determina que o desenvolvimento das plantas seja um sucesso.

RESUMO

As plantas possuem receptores para luz vermelha (fitocromo) e para a luz azul (zeaxantina, fototropina e criptocromo). São através desses receptores de luz que as plantas controlam diversos processos como: abertura dos estômatos, fototropismo, alongamento do caule e floração. A modulação do crescimento das plantas causada pela luz é conhecida como fotomorfogênese.

ATIVIDADES FINAIS

1. Descreva dois processos fisiológicos em plantas, regulados pela luz.

2. Indique se as afirmativas são verdadeiras ou falsas.

Cada comprimento de onda da luz solar acarreta um, e apenas um, tipo de resposta fisiológica. ()

O pigmento fitocromo é sensível a mais de um comprimento de onda, dependendo da conformação estrutural de sua molécula. ()

Cada comprimento de onda da luz solar é percebido por um, e apenas um, tipo de receptor celular. ()

Todos os comprimentos de onda da luz solar acarretam um tipo de resposta fisiológica. ()

3. Qual a diferença entre tigmotropismo e nictinastismo?

4. Correlacione a coluna da direita com a da esquerda.

- | | |
|--------------------------|------------------|
| (A) Luz vermelha | () Criptocromo |
| (B) Luz vermelho longo | () Zeaxantina |
| (C) Abertura estomática | () Fitocromo |
| (D) Alongamento do caule | () Fototropina |
| (E) Gravitropismo | () Amiloplastos |

5. De que forma a fotossíntese é diferente da fotomorfogênese?

RESPOSTAS COMENTADAS

1. Você poderá responder dois dos seguintes processos:

– *Fototropismo: as plantas têm a capacidade de crescerem em direção à luz graças ao hormônio auxina, que se acumula no lado oposto àquele iluminado, determinando o maior crescimento do lado sombreado. O fototropismo é mediado pela luz azul através do receptor fototropina.*

– *Abertura estomática: as células estomáticas são sensíveis ao comprimento de luz azul, o qual está em maior quantidade na alvorada. O receptor é a zeaxantina.*

– *Síntese de clorofila: as plantas dependem da luz para sintetizar um dos precursores da clorofila. Ao submetemos plantas germinadas no escuro a diferentes tratamentos de luz vermelha e vermelho longo, observou-se maior produção de clorofila sob luz vermelha. É um processo mediado pelo fitocromo.*

– *Germinação de sementes: sementes que germinam melhor em presença de luz, como as de alface (veja Aula 24), quando são iluminadas com luz vermelha e vermelho longo mostram maior taxa de germinação em presença de luz vermelha. Isso demonstra que o fitocromo media também a germinação.*

2. *Falso: como vimos na resposta anterior, tanto a luz azul como a vermelha modulam diversos processos nos vegetais.*

Verdadeiro: o fitocromo pode assumir duas conformações químicas, cada uma sensível a um comprimento de onda.

Falso: no caso da luz azul, já se conhece pelo menos três receptores: a zeaxantina, a fototropina e o criptocromo. No caso da luz vermelha é que conhecemos somente o fitocromo como receptor.

Falso: conhecemos apenas receptores de luz na faixa do azul, vermelho e vermelho longo e na faixa do ultravioleta, embora pesquisas mais recentes tenham apontado para um receptor de luz verde, que funcionaria em conjunto com o de luz azul, de forma semelhante ao fitocromo (TAIZ; ZEIGER, 2004).

3. Certas plantas, como a dormideira, podem responder ao toque (nictinastismo) fechando seus folíolos. Outras plantas, como as trepadeiras, têm a capacidade de alterar seu crescimento em resposta ao contato com uma superfície (tigmotropismo). Portanto, o primeiro trata somente de movimento e o segundo envolve crescimento.

4.

A	C
B	C
C	B
D	A
E	D

Se você não acertou as duas primeiras respostas, retorne ao item: a luz vermelha como sinalizador do ambiente. A terceira e a quarta resposta você encontra no item: A luz azul como sinalizador do ambiente. A última resposta você encontra no item: outros tipos de tropismos. O item fototropina, na coluna da direita, não se relaciona com nenhum item na da esquerda, em que não encontramos fototropismo.

5. Na fotossíntese, a luz propriamente dita é utilizada no processo, isto é, a luz, na forma de pacotes de energia (fótons), é absorvida e transformada em energia química. Já nos processos de fotomorfogênese, o crescimento da planta é modulado pela luz; ou seja, a luz é um sinalizador das condições ambientais, como a hora do dia, a estação do ano ou a posição da planta no dossel.

AUTO-AVALIAÇÃO

Não saia desta aula sem saber descrever os diferentes processos do desenvolvimento vegetal que são modulados pela luz azul e vermelha e distinga seus receptores celulares. Dê especial atenção ao funcionamento do fitocromo e aos três receptores de luz azul: zeaxantina, criptocromo e fototropina. Leia sobre esses tópicos nas referências bibliográficas.

INFORMAÇÃO SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula você fará, juntamente com seu tutor e colegas, algumas experiências que elucidarão melhor os conceitos que vimos nesta aula. Verifique quais materiais serão necessários levar. E capriche no relatório!

As plantas e a luz – aula prática

AULA

27

Meta da aula

Apresentar experiências que evidenciem o papel vital da luz para o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

objetivo

Esperamos que, após a realização experimental desta aula, você seja capaz de descrever os principais processos fisiológicos das plantas que são regulados pela luz.

Pré-requisitos

Para melhor entendimento desta aula, você deverá rever:

O papel da luz no crescimento e desenvolvimento das plantas (Aula 27).

O papel do hormônio auxina nas respostas à luz (Aula 21).

INTRODUÇÃO

A luz regula diversos processos nas plantas; elas podem monitorar vários aspectos da luz e utilizar essa informação para ajustar seu crescimento e sua reprodução às variáveis ambientais. Os receptores de luz azul (zeaxantina, fototropina e criptocromo), assim como os de luz vermelha (fitocromos), são sistemas de regulação interna que permitem às plantas obter informações sobre a qualidade da luz incidente sobre elas. Podemos ver o efeito da luz na aparência de plântulas, desde sua coloração até o comprimento e a forma do caule. Podemos, ainda, sentir seu efeito na taxa de germinação. As plantas têm seu crescimento modulado também por outros fatores, como a gravidade, que permite às plantas orientarem-se no espaço (você conheceu as teorias vigentes, na Aula 26).



Os itens da lista de material assinalados por uma seta devem ser providenciados por você para o dia do trabalho prático.

EXPERIÊNCIA 1

Material

- ⇒ Uma meia-calça fina (pode ser com fio puxado).
- ⇒ Areia.
- ⇒ Alpiste (*Phalaris sp.*).
- ⇒ Caixa de sapato com tampa.
- ⇒ Papel de alumínio.
- ⇒ Fita crepe.
- ⇒ Pedaco de cartolina.
- ⇒ Canetas do tipo hidrocor.
- ⇒ Dois pratinhos plásticos para vasos de plantas.

Procedimento

- Corte dois pedaços da perna da meia com uns 30cm de comprimento.
- Dê um nó em uma das extremidades dos pedaços de meia.
- Coloque um punhado de alpiste em ambos os pedaços de meia.

- Coloque areia suficiente para formar uma bola.
- Dê um nó na outra extremidade da meia.
- Faça olhinhos, nariz, boca, enfeites etc. para confeccionar bonecos com as bolas (Figura 27.1.a).
- Coloque os bonequinhos sobre os pratinhos com água, para que a areia fique totalmente úmida (com a extremidade das sementes voltada para cima).
- Faça um furo de, aproximadamente, 1cm de diâmetro na lateral da caixa de sapato.
- Coloque um dos bonecos com pratinho num local seco e iluminado (mas não ao Sol) e o outro dentro da caixa em local seco.

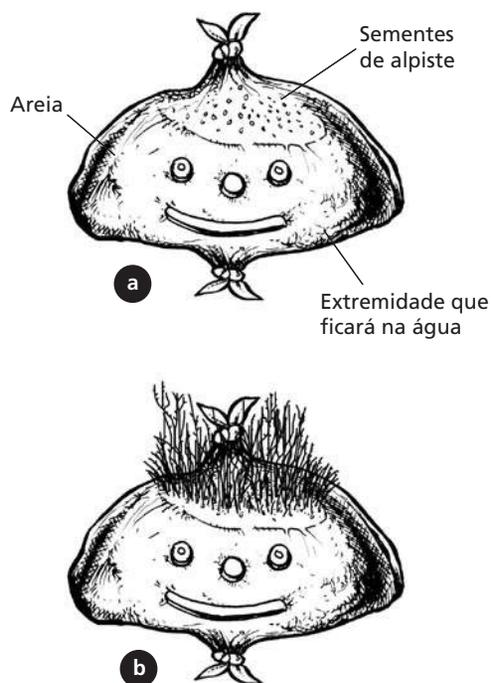


Figura 27.1: Montagem (a) e término (b) da experiência.

EXPERIÊNCIA 2

Material

- ⇒ Quinze grãos de feijão.
- ⇒ Caneta do tipo Pilot.
- ⇒ Filme de PVC.
- ⇒ Fungicida.
- Três placas de Petri.

Procedimento

- Coloque uma camada de, aproximadamente, 1cm de algodão no fundo de uma das placas.
- Coloque em torno de 1mL de fungicida sobre o algodão.
- Umedeça o algodão com água (sem encharcar).
- Coloque as sementes na placa, feche-a, embale-a em filme de PVC e transfira-as para um local iluminado para que as sementes germinem (Figura 27.2.a).

- Assim que os grãos tiverem iniciado o processo de germinação (saída da radícula), selecione 12 que sejam bem semelhantes quanto ao estágio de germinação (Figura 27.2.b).
- Faça uma cruz de um extremo a outro da placa, de modo a dividi-la em quatro quadrantes, com caneta do tipo Pilot. Marque a extremidade de cada quadrante para cima, para baixo, para a esquerda e para a direita (certifique-se de que a tinta não sai com água).
- Distribua em cada uma das placas quatro grãos com a radícula voltada para um lado diferente (cima, baixo, esquerda e direita) (Figura 27.2.c).
- Cubra os grãos com um chumaço de algodão, preenchendo toda a placa.
- Umedeça o algodão, feche a placa e embale-a com filme de PVC.
- Mantenha as placas em pé, de acordo com a orientação feita com a marcação em cruz (você deverá ser capaz de visualizar as sementes no fundo da placa que não recebeu algodão).
- Após quatro dias, verifique e anote a direção do crescimento da raiz e do caule; gire uma placa 90° , outra 180° e embale a terceira placa em papel de alumínio, girando-a também 180° (mantenha todas na vertical).
- Após mais quatro dias, observe, novamente, a direção do crescimento da raiz e do caule.

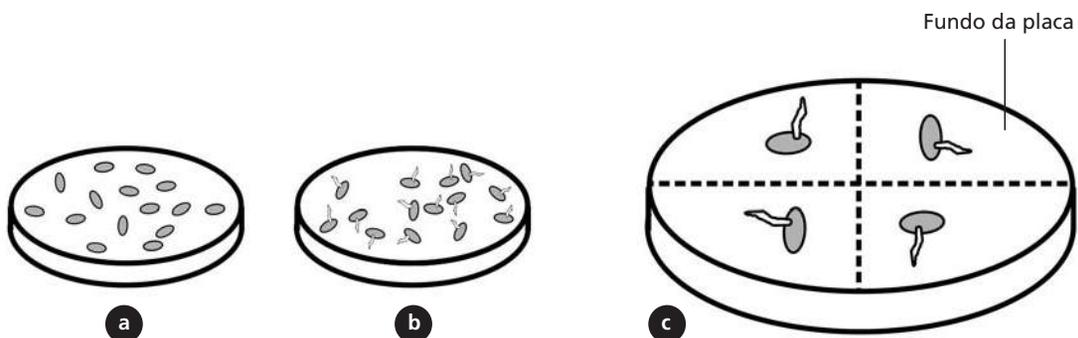


Figura 27.2: Montagem do experimento.

RESUMO

Nesta aula, você observou, experimentalmente, o crescimento de plantas, determinado pela luz (fototropismo) e pela gravidade (gravitropismo).

ATIVIDADE FINAL

Prepare um relatório contendo introdução, material utilizado, resultados e discussão referentes a cada experimento. Você terá uma semana para preparar e entregar o relatório. Não deixe de discutir os resultados com seus tutores no pólo, por telefone e/ou por e-mail.

AUTO-AVALIAÇÃO

Você deve expressar e comentar os resultados que encontrou nas experiências após discuti-las com seu tutor e com os colegas. Esta aula prática é muito importante para você fixar os conceitos aprendidos na Aula 26. Lembre-se de que essas experiências poderão ser realizadas com alunos do Ensino Fundamental e do Médio.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Você vai ver, na Aula 28, como diferentes espécies de plantas podem se assemelhar, em termos morfológicos e fisiológicos, se estiverem submetidas a condições limitantes. Saberá, ainda, como as plantas fazem para monitorar os diversos aspectos ambientais como clima, disponibilidade de água e de nutrientes, energia solar, polinização e defesa contra predadores.

As plantas nos diferentes ambientes: será que as aparências enganam?

AULA

28

Meta da aula

Apresentar as estratégias das plantas em resposta a pressões ambientais e também o arsenal químico por trás dessas respostas.

objetivos

Esperamos que, após a leitura desta aula, você seja capaz de:

- Compreender que plantas taxonomicamente distantes podem apresentar características morfológicas e fisiológicas semelhantes, por estarem sujeitas às mesmas pressões ambientais.
- Distinguir as principais classes de metabólitos secundários e suas funções nas plantas.

Pré-requisitos

Para o melhor entendimento desta aula, você deverá rever a Aula 18, que trata das respostas de defesas das plantas e as Aulas 20 e 31 de Botânica I, em que foram apresentados os conceitos de potencial hídrico e os de adaptações foliares, respectivamente.

INTRODUÇÃO

Você viu, especialmente na Aula 19, que as plantas, como qualquer outro ser vivo, sofrem no dia-a-dia pressões de todo tipo: falta d'água, temperaturas extremas, ventos, competição por água e nutrientes, necessidade de reproduzir, ataque de predadores, doenças etc. Mas, as plantas não podem sair do lugar para buscar melhores condições. Então, como elas fazem?

As plantas competem por água e nutrientes do solo, através da emissão de um amplo sistema radicular. Competem também por luz, crescendo e alongando o caule de modo a receber maior intensidade luminosa. Ambas as respostas são moduladas por receptores de membrana específicos, que desencadeiam a produção ou inibição de substâncias de regulação, como os hormônios.

Você já reparou quanta energia os animais gastam na caça, defesa e reprodução? Eles desenvolveram o que chamamos comportamento; existe um ramo da Ecologia dedicado a desvendar esse aspecto. O comportamento animal é responsável pela sobrevivência e sucesso das espécies e é parcialmente herdado e parcialmente aprendido. Nas plantas, por outro lado, em vez de uma dança de acasalamento ou de uma estratégia de caça, encontramos uma “dança química”.

As plantas possuem um verdadeiro arsenal de substâncias químicas que as auxiliam na constante batalha pela sobrevivência. Nesta aula, você verá mais alguns dos problemas enfrentados pelas plantas e de que forma elas respondem a eles.

ESTRESSE HÍDRICO

Chamamos estresse hídrico à pressão ambiental por falta d'água. O estresse causado pelo excesso de água, como veremos no próximo tópico, é denominado **ANOXIA**.

A falta de água disponível para as plantas pode ser causada por diferentes fatores:

- pouca água no solo (**Figura 28.1 à 28.3**);
- água do solo congelada (**Figura 28.4**);
- água do solo salgada (**Figura 28.5**).

ANOXIA

Significa falta de oxigênio e não excesso de água. É o que acontece quando as plantas estão em solos inundados, onde a água tomou os espaços do solo antes ocupados por ar, inclusive o oxigênio.



Figura 28.1: Planta crescendo sobre fina camada de solo, sobre rochas expostas à radiação solar direta (ambiente xérico). Note as folhas dobradas para minimizar a exposição ao Sol. Teotihuacan, México.

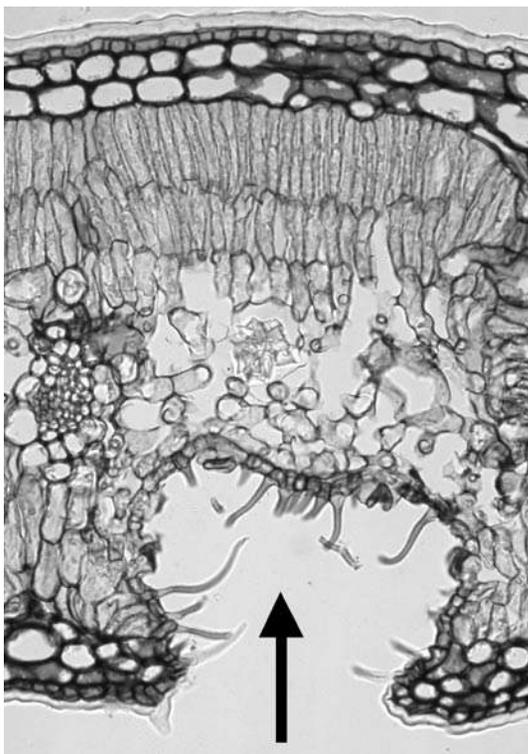


Figura 28.3: Fotografia, em microscópio ótico, de um estômato em cripta (*Nerium*) em aumento de 200x. Estômatos em cripta reduzem a perda d'água por transpiração e são comuns em plantas sob estresse hídrico.

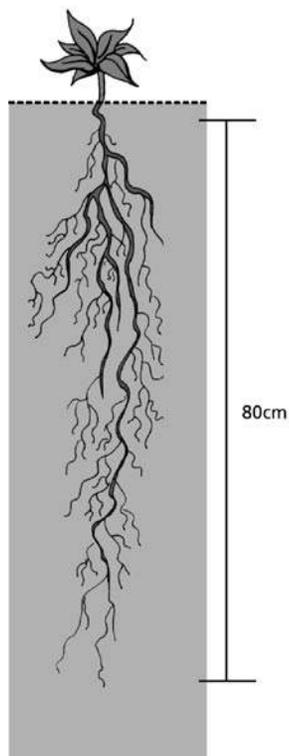


Figura 28.2: Esquema de uma raiz penetrante a várias dezenas de centímetros no solo, em busca de água.



Figura 28.4: Vegetação sob espessa camada de gelo, provavelmente sem água no estado líquido nos primeiros centímetros de solo. Parque em Newcastle upon Tyne, Inglaterra.



Figura 28.5: Plantas halófitas crescendo sobre areia desnuda, expostas à radiação solar direta (ambiente xérico) e sob efeito de salsugem. Praia de Barra de Maricá, Rio de Janeiro.

Embora as três situações pareçam muito diferentes, na verdade, do ponto de vista das plantas, elas podem ser bastante semelhantes e, por isso, a forma de lidar com essas condições ambientais também o é.

- 🔗 Qual a principal semelhança entre as três situações?
- 🔗 Em todas elas, a água pode até estar presente, mas isso não significa que esteja disponível para as plantas.

Em qualquer das três situações, portanto, as plantas estariam sob seca fisiológica. Ou seja, a transpiração fica comprometida, pois a planta não pode perder água e uma série de restrições fisiológicas se sucede, comprometendo:

- a subida de água;
- a fotossíntese;
- a expansão celular.

De que forma as plantas podem resolver o problema?

É preciso manter seu potencial hídrico mais negativo que o do solo, para garantir a captação de água (lembre-se de que a água move-se do maior para o menor potencial hídrico, Aula 20, Botânica I). Para tanto, solutos se acumulam nas células periféricas das raízes (osmorregulação, ou ajuste osmótico), já que, quanto mais solutos houver nas células, maior será a capacidade de elas absorverem água. Concomitantemente, é preciso que a planta reduza a taxa de transpiração. Isso ocorre através da diminuição da abertura do estômato (diminuição da condutância estomática).

Para que a planta seja capaz de ativar esses diferentes mecanismos de proteção contra o estresse hídrico, é necessário sinalizar suas células do perigo de dessecação. O ácido abscísico (ABA) é o principal hormônio sinalizador de situações de estresse hídrico.

- De que forma a planta pode aumentar ainda mais sua capacidade de obter água?
- Uma resposta freqüente nessas situações é o direcionamento dos recursos energéticos para garantir o crescimento do sistema radicular, aumentando assim a capacidade da planta de explorar maior volume de solo. A taxa de crescimento dos diferentes órgãos vegetais é controlada por rígido balanço hormonal.

A redução da área foliar, como forma de diminuir a perda d'água, é outra característica encontrada com freqüência em plantas de ambientes áridos. Essa redução pode chegar ao extremo, como foi visto, por exemplo, em espécies da família dos cactos (Cactaceae), em que as folhas são ausentes.



À medida que as plantas de ambientes áridos apresentam com freqüência redução da área foliar, isso se reflete na razão parte aérea/raiz, que fica menor que a das plantas de ambientes mésicos. Essa razão é determinada através da secagem e posterior pesagem da parte aérea e da parte radicular de uma planta.

Ambientes mésicos possuem clima ameno e boa disponibilidade de água, enquanto nos xéricos, a falta d'água e altas temperaturas são freqüentes.

Já no caso de a água do solo estar congelada, não há nada que a planta possa fazer para derretê-la. Em geral, a água no solo fica em estado sólido apenas nos primeiros centímetros, exceto em locais permanentemente sob gelo.

É preciso, entretanto, não permitir que a água no interior da planta congele, pois isso significaria o rompimento das células pela expansão do gelo. Para tal, a planta promove o acúmulo de solutos nas células, de forma a baixar mais o ponto de condensação da água. As folhas de plantas de regiões frias têm, em geral, uma pequena superfície e cutícula espessa, o que garante a diminuição da perda de calor por troca pela superfície.

Se a planta estiver em solo salgado, novamente será preciso reduzir seu potencial hídrico, de forma a conseguir puxar a água do solo. Isso é feito, também, por osmorregulação. Esse tipo de estresse também é conhecido como estresse iônico. Plantas de ambientes salinos são chamadas halófitas (do grego *hals* – salino). Elas desenvolveram uma série de mecanismos que lhes permitem viver em ambientes sob influência direta de sal, como, por exemplo, as plantas de restinga e mangue, que convivem com inundações periódicas da água do mar, ou mesmo do salsugem, que é o respingo de gotículas formado pelo batimento das ondas e o vento. São, com frequência, plantas suculentas e de sabor salgado, pois podem acumular sal nos vacúolos, glândulas e/ou pêlos secretores de sal na superfície foliar.

ATIVIDADE



1. Por que as plantas de ambientes áridos possuem em geral, menor relação parte aérea/raiz que plantas de ambiente méxico?

Para responder, pense nas funções desempenhadas pelas diferentes partes da planta (folhas e raízes) e nas limitações impostas pelo estresse hídrico.

RESPOSTA COMENTADA

Como as plantas de ambiente árido estão frequentemente expostas a déficit hídrico, a perda d'água pelas folhas deve ser minimizada, e a exploração do solo por água deve ser otimizada. Dessa forma, a relação de peso entre a parte aérea e a raiz é geralmente menor que em plantas de ambiente méxico, que possuem um suprimento de água regular.

ANOXIA

Quando uma planta está em solo alagado, ela passa a sofrer falta de oxigênio nas raízes. Lembre-se de que as plantas, como qualquer outro ser vivo, necessitam de oxigênio em todas as células para realizar a respiração e obter energia. Muitos animais possuem um sistema circulatório que garante oxigenação em todas as células, mas as plantas não. Em geral, o oxigênio que as células da raiz necessitam vem do solo. Porém, quando este não está disponível em quantidade adequada, a planta pode aumentar a aeração dos seus tecidos e/ou reduzir seu metabolismo, de forma a necessitar de menos oxigênio até que baixe o nível da água e o oxigênio novamente se difunda no solo.

- 🔊 De que maneira a planta reduz seu metabolismo?
- 🔊 Assim como no estresse hídrico, a produção de ABA é estimulada, e ele é transportado para as folhas onde sinaliza para o fechamento estomático.

A planta conta, ainda, com um tecido parenquimatoso, o **AERÊNQUIMA**, que garante melhor difusão de ar através do corpo vegetal (Aula 24 de Botânica I). Existem, também, os pneumatóforos de espécies de mangue e as lenticelas no caule. Todas essas estruturas garantem troca gasosa bastante eficiente, pois a inundação nesses casos é periódica, ocorrendo em função das marés e somente uma parte do sistema radicular fica permanentemente sob a linha d'água.

Algumas plantas apresentam uma estratégia de escape; ou seja, elas saem da condição de alagamento, através do alongamento da parte aérea. Esse crescimento parece estar associado a níveis mais altos de etileno encontrado em plantas sob alagamento. Os altos níveis desse gás é pela maior produção de etileno e por sua menor difusão para o exterior (no caso, o ambiente aquático). Contudo, quando o nível da água baixa, as plantas podem não ter rigidez suficiente para se manterem eretas no ar.

O **AERÊNQUIMA** é um tecido que possui um sistema contínuo de espaços aéreos na planta que facilita a difusão de O_2 da parte aérea à raiz.

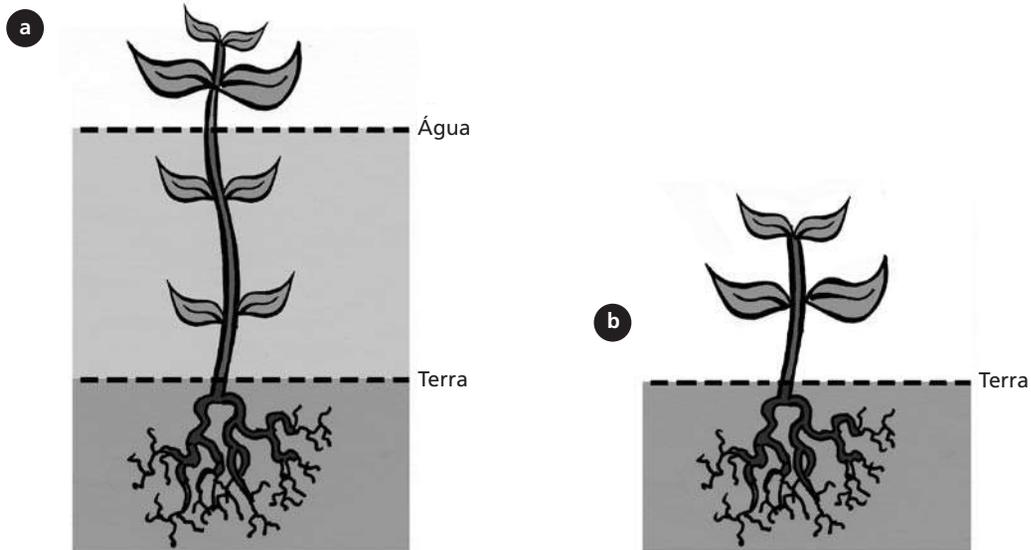


Figura 28.6: Esquema de uma planta em solo alagado com entrenós alongados em busca de ar (a) e em solo úmido (b).

- Como essas plantas conseguem crescer mais?
- O alongamento do caule pode se dar pela maior taxa de divisão celular, por alongamento de células preexistentes ou pela combinação de ambos.

As plantas de ambientes alagados, ao contrário das de ambiente árido, possuem uma razão parte aérea/raiz maior que plantas de ambientes mésicos. Isso ocorre porque elas procuram maximizar o contato com a superfície e porque não é preciso buscar água.

ATIVIDADE



2. Como você explicaria a alguém que colocar água demais nas plantas pode matá-las?

RESPOSTA COMENTADA

Porque o excesso de água no solo reduz a quantidade de oxigênio disponível para as raízes e estas ficam incapacitadas de fazer respiração celular, sofrendo, então, morte e necrose.

O ARSENAL DE DEFESA DAS PLANTAS

Como você viu na Aula 18, os problemas enfrentados pelas plantas não são apenas abióticos. Existem ainda os herbívoros, como mamíferos e insetos e os microrganismos patogênicos, como bactérias e fungos, que atacam as plantas.

- 🔗 Que tipos de proteção as plantas podem ter?
- 🔗 Além da proteção dada pela presença de cutícula, suberina e cera, que tornam as plantas menos digeríveis e palatáveis, ou protegem o corpo vegetal evitando a penetração de fungos e bactérias, as plantas possuem outros metabólitos especiais, os chamados metabólitos secundários, que podem ser tóxicos ou torná-las ainda menos digeríveis e palatáveis.

Metabólitos secundários, também conhecidos como produtos naturais ou metabólitos especiais, são substâncias orgânicas que não participam diretamente nas reações de manutenção celular, gerando energia para manter a planta viva, como fotossíntese, respiração e síntese protéica.

Os metabólitos secundários, em geral, diferem dos primários por não estarem presentes em todas as espécies de plantas; ou seja, determinados metabólitos secundários são característicos de alguns grupos vegetais e diferem dos metabólitos secundários de outros grupos. Já os primários, como carboidratos, lipídios e proteínas, são comuns a todas as espécies, pois são produtos do metabolismo primário. Existe, inclusive, um ramo da Biologia conhecido como quimiotaxonomia, que se dedica a classificar as plantas em função de seu perfil químico. Para você ter uma idéia, de acordo com Sir Robert Robinson, Prêmio Nobel de Química em 1947, existem tantos metabólitos secundários diferentes quanto estrelas numa galáxia!

Substâncias solúveis (principalmente fenóis) e substâncias voláteis (principalmente terpenos) têm importante papel na competição entre diferentes espécies de plantas. Algumas espécies possuem a capacidade de produzir e excretar substâncias tóxicas, ou alelopáticas, ao crescimento e/ou desenvolvimento de outras plantas.

- 🔗 Existe alelopatia entre indivíduos da mesma espécie?
- 🔗 Quando o crescimento é inibido por uma planta da mesma espécie, não chamamos alelopatia, mas autotoxidez.

Alelopatia é o efeito negativo que algumas espécies vegetais provocam sobre outras, a partir de metabólitos excretados pelas raízes ou folhas ou pela decomposição de restos vegetais.

Os três principais grupos de metabólitos secundários são:

1. Terpenóides.
2. Alcalóides.
3. Fenóis (Flavonóides).



Os ácidos aminados são também conhecidos como aminoácidos. Contudo, essa nomenclatura não é a mais adequada, pois se trata de uma tradução incorreta do termo inglês *aminoacids*. Em Português, dizemos, por exemplo, ácido acético ou ácido clorídrico, e não aceticoácido ou cloridricoácido.

TERPENÓIDES

Os terpenóides, também conhecidos como terpenos ou, ainda, isoprenóides (embora há vários anos não se use mais essa nomenclatura), derivam da condensação de unidades isoprênicas de cinco átomos de carbono. Sua fórmula geral pode ser representada das seguintes formas:

1. $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)\text{CHCH}_3$
2. $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CHCH}_2$

Os terpenóides podem ser formados a partir de intermediários do metabolismo primário do carbono, através da via metabólica conhecida como Via do Ácido Mevalônico. Vários terpenóides atuam em funções essenciais nas plantas, entre eles, alguns hormônios: as Giberelinas e o ABA, e alguns pigmentos: os carotenóides e as cadeias laterais da clorofila.

Embora animais e microrganismos também produzam terpenóides, plantas produzem maior variedade dessa classe de substância. Os terpenóides estão associados, principalmente, à proteção contra invasores e à atração de polinizadores.

A planta ornamental crisântemo produz monoterpenos tóxicos (piretrina) para insetos, porém, essa substância é praticamente atóxica para mamíferos e pouco persistente no ambiente, o que a torna de muito interesse comercial. E, de fato, já existem equivalentes sintéticos, como os piretróides, usados na fabricação de inseticidas.

Alguns terpenóides têm ação contra herbívoros vertebrados, como as saponinas, que interferem no sistema digestivo, o que desestimula esses animais a continuarem consumindo uma determinada planta produtora de saponinas.

As plantas podem apresentar misturas de terpenos voláteis, que são chamadas óleos essenciais, freqüentemente encontrados em flores e folhas como as de *Lippia alba* (Figura 28.7). Muitos terpenóides funcionam como repelentes de insetos. Exemplos muito conhecidos de plantas aromáticas (produtoras de óleos essenciais) são:

– hortelã: componente principal do óleo essencial é o mentol (Figura 28.8.a);

– limão: componente principal do óleo essencial é o limoneno (Figura 28.8.b).

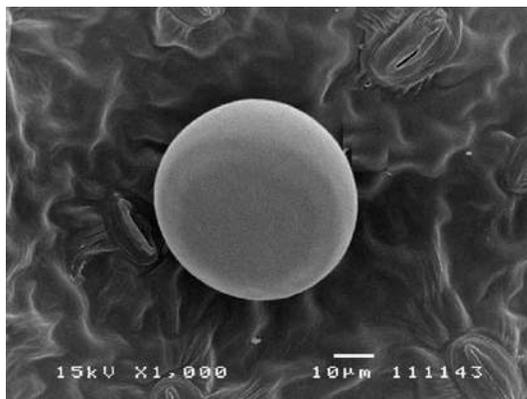


Figura 28.7: Pêlos glandulares de *Lippia alba* em microscopia eletrônica, em que estão presentes os óleos essenciais. Os principais componentes do óleo essencial são o linalol, o citral e a carvona, muito usados na indústria de perfumaria.

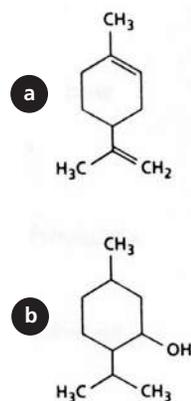


Figura 28.8: Estrutura química da molécula do mentol (a) e do limoneno (b).

Os óleos essenciais podem ser obtidos de plantas através de diferentes maneiras. Um meio comum de obtenção é a destilação com arraste por vapor d'água. Nesse processo, a matéria vegetal é colocada em um balão de vidro e coberta com água. O balão é acoplado ao Aparelho de Clevenger (Figura 28.9) e aquecido. Quando a água atinge o estado de vapor, arrasta consigo os óleos essenciais. Após o resfriamento (Figura 28.9.a), a água e o óleo são recolhidos (Figura 28.9.b). Geralmente são formadas duas fases, porque o óleo é menos denso do que a água. Assim, através da abertura da torneira, basta desprezar a água e recolher o óleo essencial (Figura 28.9.c).

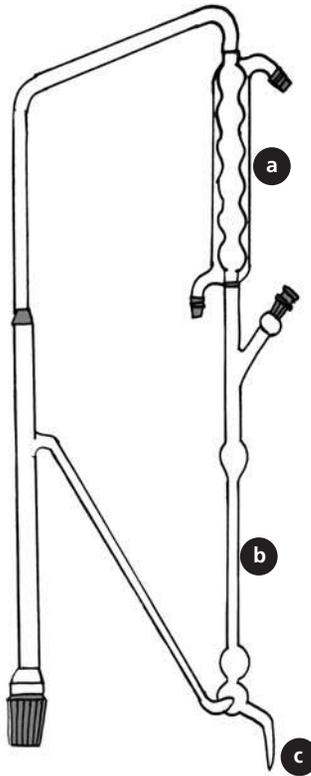


Figura 28.9: Aparelho de Clevenger adaptado da Farmacopéia Brasileira.



ATIVIDADE

3. bPor que alguns terpenóides são conhecidos como óleo essencial?

RESPOSTA COMENTADA

Por que esses terpenóides são voláteis e têm nas plantas a função de atrair polinizadores ou repelir herbívoros. Estão, em geral, presentes em flores e folhas.

ALCALÓIDES

Os alcalóides são de extrema importância na nossa sociedade. Nas plantas, eles têm ação defensiva contra predadores, principalmente mamíferos. Entre os alcalóides mais conhecidos estão a nicotina, a morfina, a cafeína e a cocaína. Alguns vertebrados, como os anfíbios, produzem uma grande variedade de alcalóides tóxicos, que secretam por glândulas epidérmicas. Insetos, como borboletas e mariposas, produzem alcalóides com fins de atração sexual, além de defesa. Alguns dos alcalóides presentes nas plantas não são produzidos por elas e, sim, por fungos endógenos, como os encontrados em algumas gramíneas!

O uso medicinal e religioso de alcalóides, como o látex do ópio (*Papaver somniferum*, Papaveraceae), data de, pelo menos, 1400 anos a.C. O uso de *Cinchona officinalis* (Rubiaceae) por exploradores europeus muito facilitou a ocupação dos trópicos graças à presença de terpenóides com ação antimalária.

Os alcalóides são formados a partir de ácidos aminados, como triptofano, arginina e tirosina, ou seja, possuem sempre átomos de nitrogênio na sua estrutura.

Quando a cápsula (fruto) de *Papaver somniferum* é danificada, uma substância leitosa, o látex, é exudada. O látex contém morfina e outros alcalóides. Quando o exudado seca, forma-se uma substância dura e escura, o ópio.

Mais de 12.000 tipos de alcalóides foram isolados desde a descoberta da morfina. A presença de tamanha variedade de substâncias nas plantas pode ser vista como parte de um complexo sistema de defesa que evoluiu sob a pressão seletiva de diversos predadores.

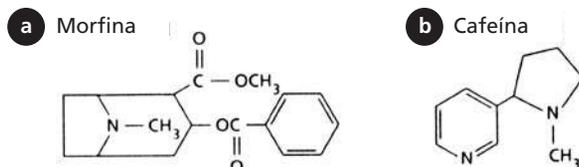


Figura 28.10: Estrutura química da molécula da morfina (a) e da cafeína (b).



ATIVIDADE

4. Cite dois alcalóides de importância na nossa sociedade.

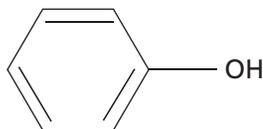
RESPOSTA COMENTADA

Você poderia citar quaisquer dos dois seguintes alcalóides: cafeína, cocaína, morfina e nicotina.

FENÓIS

A adaptação das plantas ao ambiente terrestre se deve largamente à presença de substâncias fenólicas. Os fenóis estão largamente presentes na parede celular, conferindo resistência e durabilidade, além de fazer parte das flores e frutos, dando-lhes cor e sabor.

Uma grande variedade de metabólitos secundários contém um grupamento fenol, incluindo os flavonóides. Esse grupamento é caracterizado por um anel aromático com uma hidroxila.



Os fenóis têm origem em vias metabólicas, como a Via do Ácido Chiquímico e a Via do Ácido Malônico, a partir de carboidratos de estrutura simples. A Via do Ácido Chiquímico está presente também em fungos e bactérias, mas não em animais. Um dos intermediários desta via é o famoso herbicida glifosato, comercializado sob o nome de *Roundup*. Existem, inclusive, cultivares transgênicos de milho e soja capazes de produzir o glifosato em grandes quantidades e, assim, eliminar outras plantas indesejáveis em um sistema agrícola. Muita polêmica cerca a produção de organismos geneticamente modificados, você verá mais sobre o tema na Aula 29.

Assim como no grupo dos terpenos, entre as substâncias fenólicas há aquelas comuns a todas as plantas e não servem para separar grupos taxonômicos. Entre elas temos:

- Lignina: é a segunda substância mais abundante nas plantas, ficando atrás apenas da celulose; confere rigidez às células e torna as plantas menos digeríveis.
- Antocianinas: flavonóides coloridos que protegem as plantas da radiação ultravioleta e atraem polinizadores, guiando-os, muitas vezes, aos nectários e ao pólen.

Um mutante de *Arabidopsis* que é incapaz de produzir flavonóides somente poderá crescer normalmente se for colocado um filtro de radiação ultravioleta na fonte de luz à qual o mutante está exposto.

A classe dos taninos é também muito conhecida; está presente em folhas e frutas não maduras, conferindo-lhes certa adstringência ao paladar. Funciona, ainda, como repelente contra insetos e previne o ataque de fungos e bactérias.

- 🔒 De que forma os taninos protegem as plantas contra herbivoria?
- 🔒 Os taninos tornam as plantas menos palatáveis e mais difíceis de digerir.

Mas na Natureza, com frequência, o que causa dano também pode causar benefício, e os taninos não são exceção. Demonstrou-se há alguns anos que polifenóis (taninos) presentes no vinho tinto atuam na prevenção de doenças coronarianas, quando consumido com moderação.

ATIVIDADE



5. Qual o metabólito secundário da classe dos fenóis que é de fundamental importância para as plantas, no sentido de garantir proteção e rigidez às paredes celulares?

RESPOSTA COMENTADA

A lignina, que é a segunda substância mais comum nas plantas, ficando atrás somente da celulose.

DE QUE MANEIRA AS PLANTAS NÃO SE INTOXICAM COM SEUS PRÓPRIOS VENENOS?

É verdade que muitos dos metabólitos secundários que detêm os herbívoros são também tóxicos para as plantas. Entretanto, elas, em geral, não armazenam a forma final (ou tóxica) de uma substância. Por exemplo, várias famílias de plantas, como o trevo e a mandioca brava, produzem glicosídeos cianogenéticos, que são formados por uma porção glicídica acoplada ao ácido cianídrico (HCN). Os glicosídeos cianogenéticos são atóxicos. Para que eles se tornem tóxicos, é necessário que sejam hidrolisados. Isso ocorre quando as células da planta são injuriadas, pois, em células íntegras, a enzima e a substância tóxica ficam em diferentes compartimentos celulares. Elas só se encontram quando a planta é triturada. O cianeto (^{-}CN) inibe diversas enzimas do metabolismo de animais e de plantas, levando-os à morte.

COMUNICAÇÃO ENTRE PLANTA E SEUS GUARDA-COSTAS

Algumas plantas possuem um sistema de proteção baseado em **RELAÇÕES MUTUALÍSTICAS**. Logo depois de iniciado o ataque de insetos herbívoros (ex.: lagarta), ocorre a liberação de metabólitos secundários voláteis, como os óleos essenciais, que atraem predadores e parasitas naturais desses herbívoros (ex.: vespas).

Plantas de *Zea mays* (milho), atacadas por larvas de *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae), liberam terpenóides que atraem a vespa *Cotesia marginiventris*, que é um dos predadores dessas larvas. Esse sistema é específico, ou seja, cada espécie vegetal apresenta seu arsenal de moléculas que atrai “guarda-costas” específicos; trata-se de um fascinante exemplo de coevolução!

MUTUALISMO

Refere-se à simbiose entre organismos, relação essa em que ambos são beneficiados na interação.

COMUNICAÇÃO ENTRE PLANTAS

As plantas são, ainda, capazes de se comunicar graças aos metabólitos secundários. Experiências como as de Bruin e colaboradores (1995) mostraram que quando a planta *Acer saccharum* (Aceraceae) era vítima de ataque de herbivoria, outras plantas sadias próximas apresentavam o arsenal de defesa química como se tivessem também sido atacadas. Esse fato ocorria mesmo quando as plantas estavam em potes

separados (logo, a comunicação não é via raízes). Os fortes candidatos que viabilizariam essa comunicação seriam metabólitos secundários voláteis, como terpenos e fenóis de pequeno tamanho molecular.

NÃO EXISTEM SISTEMAS 100% SEGUROS

É importante saber que, apesar de todo esse arsenal químico, as espécies estão permanentemente evoluindo. Isso significa que muitas espécies herbívoras conseguem lidar com a defesa química de uma determinada planta e se especializar em consumi-la.

E a coevolução vai além. Alguns animais, como as borboletas da espécie *Tyria jacobae*, não são afetadas pela alta toxidez dos alcalóides produzidos pelas plantas da espécie *Senecio jacobae* (Asteraceae); esses alcalóides têm ação deletéria sobre o fígado de seus predadores. Essas borboletas, na verdade, preferem alimentar-se dessa espécie, adquirindo assim sua natureza tóxica.

RESUMO

Plantas de diferentes famílias se assemelham morfológica e fisiologicamente por estarem sob a mesma pressão ambiental. Plantas produzem uma variedade de metabólitos que não atuam no seu metabolismo primário, os chamados metabólitos secundários; eles atuam na proteção contra patógenos, herbívoros, na germinação de sementes, na proteção contra a radiação UV etc. As plantas não poderiam viver sem eles. Diversos animais evoluíram a ponto de não serem afetados pelas substâncias tóxicas, utilizando até o veneno para sua própria proteção.

ATIVIDADES FINAIS

1. Cite duas situações onde é preciso que as plantas façam um ajuste osmótico e diga por quê.

2. Suponha que medimos alguns parâmetros de espécies de diferentes ambientes (conforme a tabela abaixo). Sugira a procedência dessas espécies.

Local	Presença de aerênquima	Razão aérea/raiz	Presença de glândulas secretoras de sal
1	SIM	2,7	NÃO
2	NÃO	1,3	NÃO
3	NÃO	2,5	SIM

3. O que é alelopatia?

4. Liste três metabólitos que são produzidos pelo metabolismo secundário e que sejam comuns em todas as plantas e, portanto, que desempenham funções vitais. Associe-os a essas funções.

5. Liste três metabólitos secundários presentes apenas em determinados grupos taxonômicos e associe-os às suas funções principais.

RESPOSTAS COMENTADAS

1. Tanto em solo seco como em solo salgado, a água está menos disponível para as plantas, ou seja, é preciso uma força maior para retirá-la. Essa força é obtida através da redução do potencial hídrico nas células da raiz, causado pelo acúmulo de sais e íons orgânicos nessa região (osmorregulação). Quanto mais baixo for o potencial hídrico de um sistema em relação a outro, maior será a capacidade do primeiro de retirar água do outro.

2. O local 1 deve ser alagado, já que a planta possui aerênquima; o local 2 deve ser árido, pois a planta possui um sistema radicular maior em relação à parte aérea; o local 3 deve ser próximo ao mar, visto que a planta possui estrutura secretora de sal.

3. Algumas plantas prejudicam o crescimento de outras ao seu redor através da excreção de substâncias tóxicas pela raiz, folhas e pelo material vegetal em decomposição.

4. Você poderia listar quaisquer das três substâncias seguintes.

METABÓLITO SECUNDÁRIO	Função principal
Giberelina	Crescimento e germinação de sementes
Ácido Abscísico (ABA)	Resposta a estresse, fechamento estomático
Carotenóides	Pigmentos acessórios de captação de luz e proteção do aparato fotossintético
Lignina	Rigidez às células e proteção contra herbivoria

5. Você poderia listar quaisquer das três substâncias seguintes.

METABÓLITO SECUNDÁRIO	Função principal
Antocianinas	Atração de polinizadores
Piretróides	Contra herbivoria
Mentol e limoneno	Repelente contra inseto
Glifosato	Herbicida
Taninos	Contra herbivoria

AUTO-AVALIAÇÃO

Para você saber se aprendeu os conceitos essenciais desta aula, deve ser capaz de comentar sobre algumas pressões ambientais que causam respostas fisiológicas e morfológicas semelhantes, em grupos de plantas distantes taxonomicamente. Deve ser igualmente capaz de distinguir os principais grupos de metabólitos secundários e algumas de suas funções nas plantas. Você deve ter percebido que esses conceitos foram abordados nas atividades, então é importante fazê-las com atenção.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula você vai estudar os novos avanços da biotecnologia vegetal e um assunto bastante polêmico – as plantas geneticamente modificadas. Depois da Aula 29, você será capaz de discutir sobre essa polêmica de maneira técnica e com bases científicas.

Biotecnologia vegetal: as modernas tecnologias que se utilizam de seres fotossintetizantes

AULA

29

Metas da aula

- Mostrar os principais processos associados à biotecnologia moderna.
- Discutir os conceitos éticos e as questões ambientais relacionadas à biotecnologia.

objetivos

Esperamos que, após o estudo do conteúdo desta aula, você seja capaz de:

- Descrever os principais processos associados à Biotecnologia Vegetal.
- Dar exemplos dos principais processos associados à biotecnologia moderna.
- Discutir os conceitos éticos e as questões ambientais relacionadas à biotecnologia.

Pré-requisitos

A utilização de diversos conceitos apresentados em aulas anteriores, como crescimento, desenvolvimento e totipotência, discutidos na Aula 20, e também o controle dos padrões morfogênicos realizado pelos hormônios de plantas, abordados na Aula 21. Se houver alguma dúvida, retorne ao ponto correspondente para esclarecê-la, antes de prosseguir.

INTRODUÇÃO

Discutiremos o que vem a ser a Biotecnologia Vegetal, para que possamos opinar propriamente sobre os benefícios e malefícios que as técnicas associadas possuem. Para tanto, vamos iniciar nossa discussão com a definição do termo biotecnologia, pois certamente você já conhece diversos processos biotecnológicos, mas talvez ainda não os tenha associado corretamente.

A Biotecnologia pode ser definida como um processo ou um produto que se obtém a partir da manipulação de seres vivos. A palavra origina-se da junção de três radicais gregos: bio = vida; tecnos = uso prático, no caso, da ciência; logos = conhecimento. Lembrou de algum processo que você conheça? Acertou se disse a fabricação de queijo, pão, vinho ou cerveja. Esses produtos são obtidos graças à participação de bactérias e leveduras, que constituem organismos vivos. Logo, são processos biotecnológicos. Alguns dos relatos mais antigos de sua produção datam de 1800 a.C.; também na Bíblia há uma referência à produção de vinho, quando Deus manda Noé plantar uvas para preparar a bebida. Pela sua antigüidade, tais processos são denominados clássicos e, assim, compõem o que atualmente Biotecnologia clássica, enquanto a Biotecnologia moderna está relacionada à manipulação de organismos ou de partes deles, como discutiremos a seguir. Iremos nos ater às questões referentes à utilização de organismos fotossintetizantes.

A utilização de plantas pelo homem é muito antiga. O principal marco da construção das primeiras sociedades humanas foi o estabelecimento de populações em locais fixos; isso foi garantido pelo surgimento de uma agricultura bastante rudimentar, se comparada com a praticada hoje. O homem deixa de ser um animal migrador e meramente coletor, passando a interferir intensamente na seleção de plantas, cultivando aquelas que eram de seu interesse e que apresentavam características por ele consideradas ideais. Trata-se de um processo de seleção artificial que, além de resultar no início da organização do homem em sociedade, fez com que um número bastante reduzido de espécies fosse utilizado em sua alimentação; hoje, são bastante diferentes daquelas espécies selvagens que a elas deram origem. Só para termos uma idéia das milhares e milhares de plantas existentes no planeta, usamos apenas cerca de trinta espécies delas em nossa dieta.

Repare que a agricultura não é um processo biotecnológico por definição, mas a grande demanda por alimentos fez com que as atenções dos cientistas se direcionassem para a melhoria dos meios de produção de plantas. A seleção artificial, até então empírica, foi substituída por técnicas de melhoramento genético, graças a Mendel. Vamos relembrar:

Gregor Mendel era um frade que no século XIX, formulou as leis da hereditariedade. Estudou a transmissão de características hereditárias em ervilhas e propôs a existência de “partículas” responsáveis pela função, que conhecemos hoje como DNA. Baseado nessa lei, foi possível realizar o que atualmente distinguimos por melhoramento genético, ou seja, a eleição de uma ou mais características de interesse no organismo, que passa então a ser multiplicado, em detrimento daqueles outros organismos que não a possuem.

Esse processo era inicialmente realizado em campos de cultivo; no entanto, com o advento das técnicas de cultivo de plantas em ambientes controlados, livres de microrganismos e de outros patógenos, é perfeitamente viável, hoje em dia, realizá-lo também em laboratório. Tal procedimento de trabalho, em que plantas inteiras ou suas partes crescem em condições de cultura, dentro de frascos, em ambiente asséptico, ou seja, livre de contaminantes, é denominado cultura *in vitro*.

Assim, a Biotecnologia Vegetal inicia-se com as técnicas de cultivo em condições controladas, visando à obtenção de plantas saudáveis e com melhor crescimento, como discutiremos no item cultura de tecidos, a seguir. Mas uma segunda revolução ainda estava por vir: em 1973, Stanley Cohen, da Universidade de Stanford, e Herbert Boyer, da Universidade da Califórnia, obtiveram o primeiro organismo transgênico: a bactéria *Escherichia coli*, presente no trato intestinal humano, com resistência à penicilina. Eles conseguiram retirar o gene que conferia resistência a uma determinada bactéria; após isso, o gene é inserido em outra bactéria que não era resistente a ele, construindo assim o primeiro organismo geneticamente modificado, ou OGM. Abriu-se uma nova e infindável perspectiva: a transgenia ou engenharia genética!

A possibilidade de transferir um gene de uma espécie para outra abalou um conceito há muito por nós conhecido: o conceito de espécie. Essa transferência pode ocorrer entre animais, plantas, fungos, bactérias, enfim, entre qualquer tipo de ser vivo, e até entre vírus! Vamos, então, passar à discussão das técnicas relacionadas à Biotecnologia Vegetal e suas aplicações, começando pela cultura de tecidos; e depois passaremos para a engenharia genética de plantas.

AS TÉCNICAS DE CULTURA DE TECIDOS DE PLANTAS E SUAS APLICAÇÕES

O desenvolvimento das técnicas de cultura de tecidos, órgãos ou plantas inteiras foi, inicialmente, um procedimento associado aos estudos de nutrição mineral e também dos padrões de crescimento e desenvolvimento de plantas. Os cientistas tentavam descobrir quais compostos eram necessários ao desenvolvimento, e a melhor maneira encontrada para fazê-lo foi isolar o objeto de estudo do ambiente – a planta. Esse isolamento era feito mantendo-se a planta em locais com umidade relativa, temperatura e luminosidade controladas, em **ambientes assépticos**, ou seja, livres de contaminantes microbianos, que eventualmente competem com a planta por recursos.



O ambiente asséptico é aquele em que não há bactérias ou fungos. Na década de 1940, foi desenvolvido um sistema de filtros de ar de alta eficiência, ou HEPA (High Efficiency Particulate Air). Esses filtros são feitos com microfibras de papel e vidro, têm cerca de 60 μ de espessura, com poros de 0,4 a 14 μ , e são empilhados em arranjos tridimensionais. A eficiência desse sistema na remoção de partículas do ar é extremamente alta, de até 99,93%, para partículas de 0,3 μ de diâmetro. O surgimento de tais filtros permitiu a criação de equipamentos como as capelas de fluxo laminar, por onde o ar é empurrado através dos filtros HEPA, criando-se, assim, uma área potencialmente livre de microrganismos, que ficam presos no filtro. É nessa área que são realizadas as manipulações das plantas e seus tecidos, na cultura *in vitro*, em equipamentos conhecidos como capela de fluxo laminar.

A seguir, o que se oferecia para a planta crescer e se desenvolver era conhecido e, assim, os efeitos de um fator isolado podiam ser, então, avaliados. Esse princípio garantiu a descoberta dos elementos minerais essenciais e também os efeitos dos hormônios e de outras substâncias sobre o padrão de desenvolvimento das plantas, como as vitaminas. Assim, foi possível preparar uma mistura de sais minerais, vitaminas e hormônios para garantir a sobrevivência da planta nas condições de laboratório, denominado meio de cultura. O meio de cultura mais utilizado atualmente é o meio de Murashigue, T; e Skoog, F; cuja composição é apresentada na Tabela 29.1.

Tabela 29.1: Composição do meio de Murashigue e Skoog

Substância	Concentração em mg.L-1
Sais Minerais	
Nitrato de amônia	1650.0
Nitrato de potássio	1900.0
Cloreto de cálcio	332.2
Fosfato de potássio monobásico	170.0
Sulfato de magnésio	180.7
Ácido bórico	6.2
Cloreto de cobalto	0.025
Sulfato de cobre	0.025
Na ² – EDTA	37.26
Sulfato ferroso	27.8
Sulfato de manganês	16.9
Ácido molibdênico – sal dissódico	0.25
Sulfato de zinco	8.6
Iodeto de potássio	0.83
Orgânicos	
myo-Inositol	100.0
Ácido niconítico	0.5
Piridoxina	0.5
Glicina	2.0
Sacarose	30.000

Repare que estão listados na tabela os sais minerais que já conhecemos da Aula de Nutrição em Plantas (Aula 22 de Botânica I), mas não os hormônios, que discutimos recentemente, nas Aulas 20 a 23. Isso se explica, pois as formulações dos meios de cultura normalmente apresentam os sais minerais e os compostos orgânicos necessários, deixando o balanço hormonal a critério do objetivo a ser alcançado, ou seja, do evento morfogênico desejado. Por exemplo, nós sabemos que as auxinas são capazes de induzir a formação de raízes (Aula 21); então, quando este for o objetivo da cultura, o meio deverá contê-la. E quando o objetivo for a regeneração da parte aérea, induzido por citocininas (Aula 22), este deverá ser o hormônio preponderante no meio de cultura. A descoberta e a utilização dos hormônios nos sistemas de

cultivo controlado representaram um grande e importante salto neste tipo de estudo e, conseqüentemente, na cultura de tecidos de plantas. Durante décadas, fragmentos de plantas eram mantidos em condições de cultura sem que qualquer alteração morfogênica fosse induzida. À medida que os hormônios foram sendo utilizados, diversos eventos foram induzidos, culminando com a possibilidade de regeneração de uma planta inteira a partir de um pequeno fragmento de tecido.

E como isto é possível? Discutimos anteriormente, nas Aulas 20 e 21, que a morfogênese, ou seja, o desenvolvimento, é extremamente dependente da regulação hormonal. Também dissemos que as plantas têm um padrão de desenvolvimento bastante peculiar, muito diferente do observado em animais: em seus corpos adultos, elas retêm tecidos potencialmente embrionários – os meristemas; são também capazes de mudar o seu padrão de diferenciação celular, pois uma única célula é capaz de formar um novo indivíduo geneticamente idêntico, graças à totipotência de suas células. Conseqüentemente, a regeneração de organismos inteiros na cultura *in vitro* é bem mais corriqueira em plantas do que em animais, pelo menos até agora, pois pode ocorrer a partir dos tecidos meristemáticos que já estão presentes no corpo da planta.

E por onde começar a cultura *in vitro*? Isso irá depender do objetivo pretendido; mas, pelo que dissemos anteriormente, você já pode imaginar que a preferência está nos tecidos mais jovens, menos determinados e potencialmente meristemáticos, como o meristema apical, as gemas do caule ou até as sementes e o grão de pólen. Mas graças à totipotência, também as folhas, pecíolos, caules e raízes podem ser utilizados.

Repare nos tecidos e órgãos citados; somente o grão de pólen é haplóide, e as plantas formadas a partir dele também o serão, o que constitui uma ótima estratégia para os programas de melhoramento, pois fica mais fácil isolar uma característica de interesse. Também em cultura é possível induzir o retorno ao nível de ploidia normal (pela utilização de substâncias que induzem a poliploidia), o que é denominado cultura de haplóides. Mas vamos passar, então, aos principais processos associados à cultura de tecidos de plantas.

Multiplicação de plantas pelo cultivo de segmentos nodais e Micropropagação

Nas plantas, a região de saída do pecíolo da folha – nó – apresenta, pelo menos, uma gema axilar, deixada pelo meristema apical. Logo, a introdução desta região em um sistema de cultivo *in vitro* adequado irá possibilitar o seu pleno desenvolvimento, garantindo a formação de uma nova planta. Após algum tempo, a planta cresce e os segmentos nodais contendo uma gema, produzidos por esse indivíduo, são removidos, sempre em ambiente asséptico, e são transferidos para novos frascos de cultura (Figura 29.1). Assim, o número de plantas obtidas vai aumentando geometricamente! Anteriormente, na Aula 20, dissemos que tal procedimento garantia a formação de plantas geneticamente idênticas, ou clones. Naquele momento nos referimos exclusivamente ao procedimento que o jardineiro realiza, em ambientes abertos, usando terra como substrato.

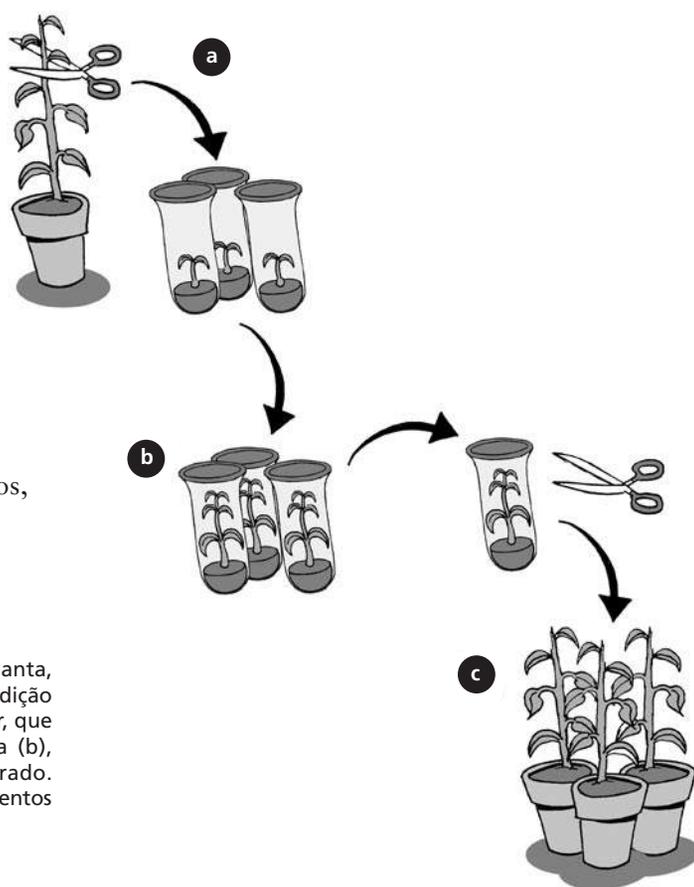


Figura 29.1: Esquema da micropropagação: da planta, são retirados os segmentos nodais e levados à condição *in vitro* (a). Cada segmento possui uma gema axilar, que irá se desenvolver, originando uma nova planta (b), geneticamente idêntica àquela de onde foi retirado. Dessa nova planta são retirados, mais uma vez, segmentos nodais, multiplicando assim o clone (c).

Mas agora estamos em uma condição completamente diferente: os nutrientes e, quando necessário, os hormônios são fornecidos por meio de cultura, dentro do frasco, em concentrações preestabelecidas. Antes de entrar no frasco, o material é desinfetado por lavagens sucessivas, com diferentes agentes, sendo o álcool e a água sanitária os mais comuns. Toda essa manipulação é realizada em um ambiente asséptico, ou seja, livre de microrganismos. O material será mantido em temperatura controlada e receberá iluminação artificial, através de lâmpadas fluorescentes, que fornecem (luminosidade) significativamente

menor do que a iluminação direta, pelo sol. Repare também que na composição do meio de cultura (Tabela 29.1) existe uma concentração muito alta de açúcar, 30 g.L⁻¹ de sacarose. Além disso, como existe muita água disponível e o frasco em que o material está deve impedir a entrada de microrganismos, a umidade relativa dentro dele é muito alta.

Vamos, então, descobrir o que a resultante desses fatores poderá ocasionar à planta ou aos tecidos colocados nessas condições. Pense um pouco antes de prosseguir...

Pelo que dissemos até agora, o ambiente é extremamente favorável ao crescimento, pois existe bastante água – lembre-se de que todos aqueles sais da Tabela 29.1 são dissolvidos em um litro de água, logo, ela é o principal componente do meio. Também não ocorre qualquer restrição ao fornecimento de sais minerais, pois o meio é bastante rico em nutrientes. Há menos luz para a fotossíntese, mas a quantidade de açúcar fornecida é mais do que suficiente. Os fungos e bactérias foram removidos, pelo menos externamente, eliminando a possibilidade de competição pelos recursos ou a criação de qualquer dano por lesão. Logo, a planta tem à sua disposição tudo de que necessita para crescer, e assim o faz, muito mais rapidamente do que no ambiente natural. A condição de cultura é considerada “luxuosa” para a planta, como um paradisíaco hotel cinco estrelas!

Mas a diária desse hotel tem seu preço: as condições de iluminação e a alta quantidade de vapor d’água limitam fortemente as taxas de fotossíntese. A umidade relativa é alta, pois a comunicação com o ambiente exterior é restringida, para se evitar o indesejável surgimento de fungos e bactérias, que crescem muito mais rapidamente do que as células do vegetal superior. Para tanto, normalmente são utilizados frascos completamente fechados, de maneira a isolar o ambiente interno do exterior; ou frascos com membranas filtrantes, que impedem a passagem dos microrganismos, embora permitam a troca gasosa e, conseqüentemente, a diminuição da umidade relativa do interior do frasco.

Dessa forma, a grande maioria das plantas *in vitro* tem estômatos pouco funcionais, apresentam baixas taxas de fotossíntese e são extremamente tenras, por possuírem muita água em seus tecidos. Logo, precisam de um período de adaptação, a fim de serem transferidas para as condições de fora do frasco, ou *ex vitro*, em uma etapa denominada aclimatação. Assim, as plantas *in vitro* são gradativamente submetidas às

condições do meio externo, de alta luminosidade, menor disponibilidade de água e de nutrientes. Por fim, podem ser transferidas para seus locais de crescimento, em campos agrícolas ou no seu ambiente natural.

É possível, dessa forma, estabelecer uma propagação em massa de clones, de um genótipo previamente selecionado, nas condições de cultura *in vitro*. Esse processo é conhecido por micropropagação (Figura 29.1). O termo foi utilizado primeiramente em 1975, por Hartman e Kester, e atualmente abrange os processos de propagação vegetativa que ocorrem durante a cultura de tecidos de plantas. A denominação é facilmente compreendida quando observamos o tamanho das plantas em cultura: são muito menores do que as que crescem em campo (Figura 29.2) e são multiplicadas – ou propagadas – muitas e muitas vezes.

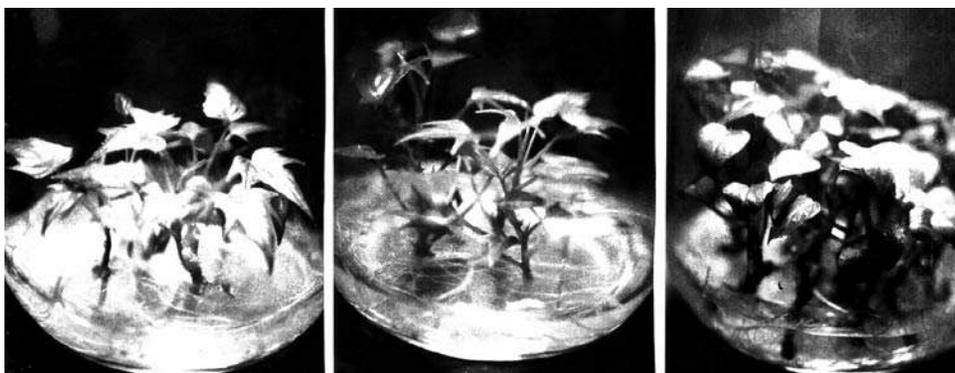


Figura 29.2: Plantas *in vitro* de batata-doce, após 60 dias de cultura. A planta em campo possui folhas largas, de até cerca de 15cm, e cresce em ramos de mais de um metro, enquanto as plantas *in vitro* possuem folhas pequenas, com no máximo 3cm.

Diversas são as aplicabilidades desses procedimentos: em uma área relativamente pequena, um grande número de plantas pode ser mantido e multiplicado, ao contrário do que ocorre no campo de cultivo. Podem também ser testados os efeitos de substâncias diversas sobre o desenvolvimento da planta, e, especialmente no caso dos hormônios, podem ser estudados e até controlados os padrões de crescimento e desenvolvimento do indivíduo. Para aqueles que apresentam crescimento muito lento, ou têm sérias dificuldades no estabelecimento da fase de reprodução sexuada, novas plantas podem ser assim obtidas, sem que ocorra o estabelecimento da fase de reprodução sexual.

Tradicionalmente, a técnica tem sido muito bem aplicada nos mais diversos tipos de plantas, vinculadas a algum interesse comercial – da agroindústria especialmente, para a multiplicação de indivíduos considerados “elite”, auxiliando, desse modo, nos programas de melhoramento genético. É também utilizada para a manutenção das plantas geneticamente modificadas, como veremos em breve. Recentemente, essa técnica tem sido também empregada para possibilitar a multiplicação de plantas que estão ameaçadas ou sob risco de extinção. Enfim, a aplicabilidade está diretamente relacionada à capacidade de multiplicação das plantas mantidas *in vitro*, geneticamente idênticas à que lhes deu origem.

Esse é um ponto que merece consideração especial. Os sistemas agrícolas de produção extensiva tradicionalmente já apresentam baixíssima diversidade genética, pois os indivíduos utilizados foram selecionados ao longo de décadas, através de métodos de melhoramento genético clássico. No caso dos clones, a diversidade desaparece completamente, pois eles são geneticamente idênticos! Além dos problemas óbvios relacionados à erosão genética, na eventualidade do surgimento de uma praga, toda a área de cultivo será igualmente afetada. A alternativa encontrada é utilizar mais de um clone, o que ocorre também nos programas de recuperação de planta sob risco ou em extinção. Em vez de segmentos nodais, podem também ser utilizadas plantas obtidas da germinação de sementes, preservando a variabilidade genética do indivíduo de uma determinada população.

Mas também existe a possibilidade de utilizar micropropagação no sentido inverso, ou seja, diminuindo-se a velocidade de multiplicação. Nos bancos de germoplasma, as culturas de plantas *in vitro* podem ser estabelecidas em condições tais que as taxas de crescimento sejam as mínimas possíveis, garantindo a manutenção de estoques de plantas. Os bancos de germoplasma são coleções voltadas à preservação da variabilidade genética e, assim, preservam estoques gênicos das espécies, principalmente das selvagens, e garantem que a diversidade genética seja conservada. Tais bancos tradicionalmente utilizam as estruturas de propagação normal das plantas, como sementes, bulbos e tubérculos, para garantir a conservação do germoplasma. É também muito comum que os acessos (ou amostras de diferentes origens) sejam mantidos em condições de campo. Mas o advento das técnicas de cultura

em crescimento lento e também das de conservação em temperaturas muito baixas – ou a criopreservação –, ampliaram as possibilidades de conservação de germoplasma, permitindo a utilização de plantas inteiras em áreas relativamente pequenas. Se mantidas no campo, estariam sujeitas a condições bióticas e abióticas diversas, sendo muito difícil controlar suas taxas de crescimento. No *site* do Centro Nacional de Recursos Genéticos, da Embrapa, citado na lista de Referências, você encontrará mais informações sobre os bancos de germoplasma brasileiros. Não deixe de visitá-lo!

Cultura de meristemas apicais e limpeza clonal

Quando, em vez dos segmentos nodais, são utilizados os meristemas apicais de parte aérea para o estabelecimento da micropropagação, além das vantagens já citadas, podemos incluir a limpeza clonal; como o nome diz, trata-se da limpeza do clone que está sendo trabalhado, com a remoção das bactérias e, principalmente, dos vírus que circulam dentro da planta. Assim como nos animais, diversos tipos de bactérias habitam o corpo da planta, sem necessariamente causar-lhe algum malefício. Muito pelo contrário, diversas bactérias coexistem em relações simbióticas, principalmente as que são capazes de fixar nitrogênio atmosférico. O estudo dessas relações, ou seja, dos endossimbiontes, constitui uma nova área da Biotecnologia Vegetal. Mas os vírus são “parasitas” celulares, competindo por recursos ou desencadeando processos de morte celular antes do tempo. Dificilmente a infecção viral leva à morte de todo o vegetal. Então, qual a importância desse tipo de processo? Reflita um pouco antes de prosseguir...

Se você pensou na redução da capacidade de produção da planta, acertou: quando infectadas, crescem menos e, conseqüentemente, produzem menos! Normalmente as folhas apresentam áreas de lesão ou anormalidades em seu limbo, como enrugamentos e bolhosidades, que diminuem a capacidade fotossintética. Diminuindo as taxas de fotossíntese, diminui-se o fornecimento de fotoassimilados para as estruturas em crescimento, como flores e frutos.

E por que a cultura de meristema está associada à limpeza clonal? Repetidamente nos referimos ao meristema como a estrutura potencialmente embrionária, pois suas células indiferenciadas formarão todo o corpo da planta. Então, ele tem abaixo de si os tecidos já

completamente diferenciados, como epiderme, parênquima, xilema, floema etc. Mas entre a região em que a diferenciação está completa e o meristema propriamente dito, há um local em que as células ainda não estão completamente diferenciadas. Assim, o meristema encontra-se protegido do que circula pelos sistemas de transporte da planta, como os vírus, que não possuem capacidade própria de locomoção e dependem do xilema e do floema para serem levados e distribuídos para outras áreas, ainda não infectadas.

Você deve estar pensando que eles poderiam passar pelo interior das células; isso de fato é muito comum para os vírus, já que alguns deles conseguem sintetizar as proteínas que são capazes de facilitar o seu transporte via plasmodesmata de células adjacentes. Mas uma outra característica das células meristemáticas evita esse processo: elas estão constantemente se dividindo e não possuem ligações desse tipo entre seus protoplasmas. Dessa forma, a cultura de meristemas é uma ótima ferramenta para garantir a obtenção de plantas livres de vírus, que serão posteriormente multiplicadas na micropropagação, tais como as plantas apresentadas na **Figura 29.2**, que foram originadas da cultura de meristemas de batata-doce.

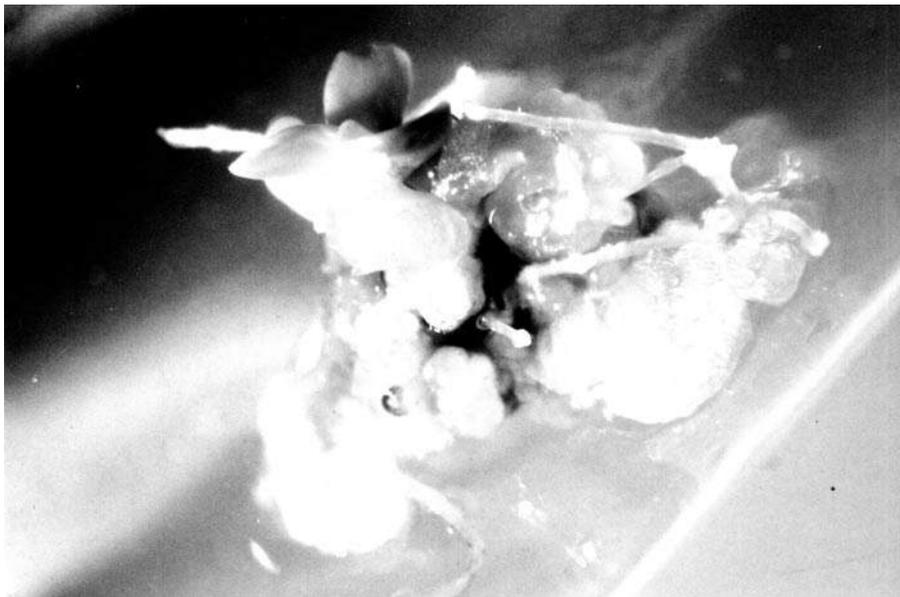


Figura 29.3: Cultura de meristemas de batata-doce.

Embriogênese somática

O processo de formação de embriões – ou embriogênese – é obviamente dependente da fusão das células sexuais, o que implica o estabelecimento da fase de reprodução assexuada, ou seja, da floração, polinização, fecundação e frutificação. Algumas plantas, especialmente as lenhosas, demoram um tempo significativamente maior para fazê-lo do que as de crescimento rápido. Além disso, outras têm problemas após o estabelecimento da fase sexual, ocasionando diminuição do número de flores, frutos e sementes viáveis. Mas em condições de laboratório, tais dificuldades podem ser removidas pela indução da produção de embriões a partir de células não-sexuais – do corpo –, em grego, *soma*. Assim, a embriogênese somática caracteriza-se como um dos eventos mais marcantes da totipotência das células vegetais! O que para humanos é ainda considerado ficção científica, para muitas plantas em cultura já está perfeitamente estabelecido.

Os embriões assim obtidos regeneram plantas inteiras, que podem ser multiplicadas na micropropagação. Esses embriões podem ser também utilizados no processo de transgenia, ou encapsulados, formando as sementes sintéticas, que podem ser utilizadas em programas de reflorestamento.

Protoplastos e a hibridização somática

Quando a parede da célula vegetal é removida, todo o seu conteúdo protoplasmático fica exposto, e a célula passa a ser denominada protoplasto (Figura 29.4). Isso não ocorre em condições naturais, e foi primeiramente obtido por Klercker, em 1892, através de cortes sucessivos de tecidos em meio isotônico. Dependendo da área de corte, o protoplasma era liberado da parede celular e a célula não arrebentava, pois as condições osmóticas em que se encontrava eram idênticas às de seu conteúdo. Posteriormente, diversos cientistas observaram que os fungos – saprófitas – eram capazes de digerir a parede das células e iniciarem a busca pelas substâncias responsáveis por essa ação. Eles isolaram diversas enzimas aptas para digerir a parede celular e, em 1960, Cocking, E.C. conseguiu obter protoplastos através de digestão enzimática, o que aumentou muito a eficiência do processo.

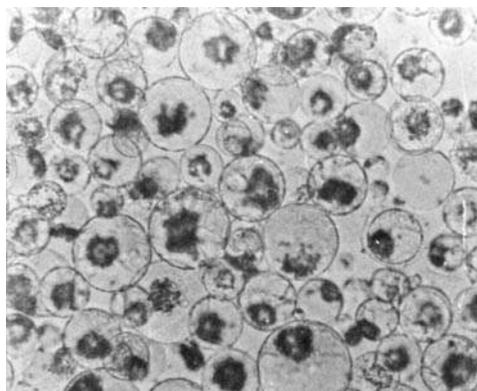


Figura 29.4: Protoplastos de calos de pecíolo de batata-doce.

Como dissemos na Aula 20, a totipotência das células vegetais seria definitivamente comprovada em 1971, por Takebe, I. *et al.*, que conseguiram a regeneração de uma planta de tabaco inteira a partir de um único protoplasto. Além dessa notável aplicação, os protoplastos são também utilizados:

- nos estudos da absorção de íons, pois a parede celular não permite o acoplamento dos sensores normalmente utilizados para tal;
- nos estudos estruturais e ultra-estruturais, garantindo uma preparação mais limpa;
- no isolamento das organelas celulares, como núcleo e vacúolos;
- na transformação genética, realizada pela absorção de DNA exógeno, que é comprometida pela presença da parede celular;
- na hibridização somática, ou seja, na criação de novos híbridos a partir da fusão de células somáticas.

A hibridização somática é um item à parte nos programas de melhoramento genético: não é um processo de melhoramento clássico, baseado em cruzamentos controlados dos indivíduos que apresentam a característica de interesse (via polinização artificial, na fecundação cruzada entre diferentes indivíduos da mesma espécie); nem é um processo de transgenia, pois não há introdução de novos genes. O que ocorre é a fusão de células somáticas de dois indivíduos de mesma espécie. Essa fusão pode ser induzida quimicamente, pelo uso de altas concentrações de cálcio ou PEG (polietileno glicol), ou através da aplicação de correntes elétricas. Em ambos os casos, há a desestabilização da membrana plasmática, que permite a fusão das duas células. O híbrido resultante segue normalmente as etapas da micropropagação.

Cultura de calos e a dediferenciação celular

Na **Figura 29.5**, você observa uma massa aparentemente amorfa, em que não há definição de estruturas ou do tipo celular que a originou. A figura mostra um calo, obtido a partir do pecíolo da folha de batata-doce em meio de cultura, contendo auxina e citocinina. Repare que uma estrutura completamente diferenciada e com crescimento determinado, o pecíolo, perdeu suas características, formando o calo.

Como a diferenciação celular foi perdida, o processo é denominado desdiferenciação celular. Não é mais possível identificar claramente as estruturas que o caracterizam, e ocorre apenas um pequeno número de células especializadas (de xilema e floema, as mais comuns, que não chegam a formar um sistema de vasos). Alguns autores também afirmam que essas massas de células possuem um crescimento bastante intenso e desorganizado. Elas podem ser dissociadas em meio de cultura líquido, formando suspensões de células; esta técnica é denominada cultura de células em suspensão.

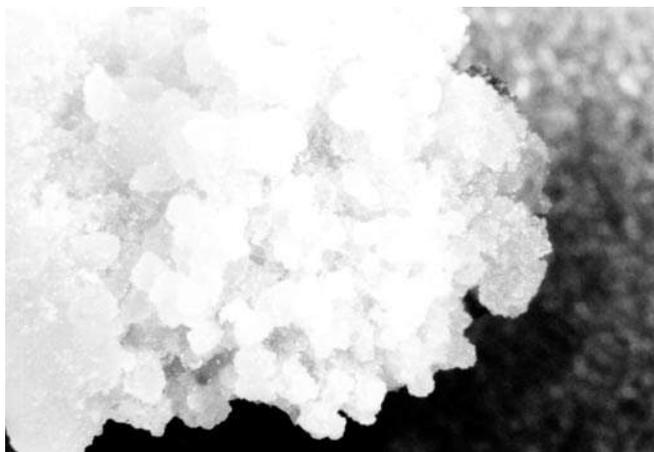


Figura 29.5: Calo obtido a partir de pecíolo de batata-doce em meio de cultura com concentrações equitativas de auxinas e citocininas.

Mas qual o objetivo de se induzir a desdiferenciação celular na formação do calo? Em condições específicas e sob o balanço hormonal adequado, um grupo de células – ou até apenas uma célula do calo – pode reassumir um padrão de determinação celular, formando novas estruturas, inclusive um novo organismo.

Essa conduta também pode ser utilizada a fim de facultar a geração de produtos do metabolismo do vegetal que tenham qualquer relevância; este processo é mais fácil e vantajoso do que aquele outro de esperar a planta crescer e produzir o composto para, então, extraí-lo. Outra aplicabilidade bastante interessante é que esse sistema pode ser expandido para dimensões industriais, através do uso de biorreatores. Os biorreatores são equipamentos muito semelhantes aos fermentadores, que possibilitam a utilização de microrganismos na indústria de cerveja, vinho, fármacos etc.

Em ambos os sistemas, as culturas são mantidas em crescimento controlado, recebendo os nutrientes necessários para tal, do mesmo modo que ocorre no frasco de cultura em laboratório.

Antes de passarmos ao próximo item, vamos rever o que discutimos até o momento, nas Atividades 1 e 2.

ATIVIDADES



1. A cultura de células, tecidos e órgãos de plantas consiste em um sistema de cultivo em ambiente com luminosidade e temperatura controladas, e os nutrientes e hormônios que as plantas recebem são fornecidos em concentrações previamente estabelecidas. Nesse ambiente, as plantas crescem dentro de frascos, livres de contaminantes, como fungos e bactérias. Discorra sob a importância da manutenção de um ambiente asséptico para o sucesso do estabelecimento da cultura *in vitro*.

RESPOSTA COMENTADA

Se você citou que os fungos e bactérias, quando em um ambiente rico, como é o meio de cultura fornecido às plantas, irão contaminar a cultura, é porque entendeu que tais organismos são capazes de se multiplicarem muito mais rapidamente que o vegetal, e o objetivo é estabelecer uma cultura de células, tecidos ou órgãos de plantas, e não de fungos e bactérias! De mais a mais, muitos fungos, além dos nutrientes do meio, também se alimentam das próprias plantas, inviabilizando o estabelecimento da cultura.

2. A micropropagação é uma ferramenta indicada para a multiplicação clonal de plantas, especialmente de genótipos previamente selecionados, que apresentam, pelo menos, uma característica relevante. No caso das plantas utilizadas para uso agrícola, é produzido grande número de clones que podem ser levados aos campos de cultivo, e a cultura resultante não apresentará variabilidade genética. Quais as implicações ambientais desse processo e que estratégias podem ser adotadas para evitá-las? Em que condições esse processo pode também ser utilizado para o resgate de populações de plantas ameaçadas ou sob risco de extinção?

RESPOSTA COMENTADA

Caso sua resposta tenha incluído uma discussão sob os efeitos deletérios da homogeneidade genética, principalmente a maior suscetibilidade a estresses bióticos ou abióticos que os clones possuem, você respondeu corretamente a questão. Na eventualidade de um ataque por qualquer agente biológico, como insetos e fungos, o padrão de resposta seria igual, do mesmo modo que para a falta de água, ou o excesso de íons no solo etc. E assim, é recomendável que mais de um clone seja utilizado, e que a mesma estratégia deva ser adotada no caso dos indivíduos raros ou sob risco de extinção. Se, além disso, você incluiu em sua resposta a possibilidade de iniciar a cultura in vitro por sementes é porque entendeu que esse material é capaz de apresentar variabilidade genética, o que não ocorre com as gemas, e enriqueceu sua resposta com brilhantismo. Mas no caso de você ter cometido algum erro, ou não ter concluído a resposta plenamente, volte ao texto correspondente, antes de prosseguir.

TRANSGENIA EM PLANTAS: APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES LEGAIS E AMBIENTAIS

O advento da Biologia Molecular, já discutido em uma disciplina específica, tornou possível retirar um gene de uma espécie e introduzi-lo em outra. No Brasil, a Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995 (que você poderá obter na íntegra em vários dos *sites* citados ao final da aula), estabelece os princípios e meios para a transgenia em território nacional (Artigo 1º), bem como define o que vem a ser um organismo geneticamente modificado (Artigo 3º):

Art. 1º Esta Lei estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização no uso das técnicas de engenharia genética na construção, cultivo, manipulação, transporte, comercialização, consumo, liberação e descarte do organismo geneticamente modificado (OGM), visando a proteger a vida e a saúde do homem, dos animais e das plantas, bem como o meio ambiente.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, define-se:

I – organismo – toda entidade biológica capaz de reproduzir e/ou de transferir material genético, incluindo vírus, príons e outras classes que venham a ser conhecidas;

II – ácido desoxirribonucléico (ADN), ácido ribonucléico (ARN) – material genético que contém informações determinantes dos caracteres hereditários transmissíveis à descendência;

III – moléculas de ADN/ARN recombinante – aquelas manipuladas fora das células vivas, mediante a modificação de segmentos de ADN/ARN natural ou sintético que possam multiplicar-se em uma célula viva, ou ainda, as moléculas de ADN/ARN resultantes dessa multiplicação. Consideram-se, ainda, os segmentos de ADN/ARN sintéticos equivalentes aos de ADN/ARN natural;

IV – organismo geneticamente modificado (OGM) – organismo cujo material genético (ADN/ARN) tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética;

V – engenharia genética – atividade de manipulação de moléculas ADN/ARN recombinante.

Parágrafo único. Não são considerados como OGM aqueles resultantes de técnicas que impliquem a introdução direta, num organismo, de material hereditário, desde que não envolvam a utilização de moléculas de ADN/ARN recombinante ou OGM, tais como: fecundação in vitro, conjugação, transdução, transformação, indução poliplóide e qualquer outro processo natural;

Art. 4º – Esta Lei não se aplica quando a modificação genética for obtida através das seguintes técnicas, desde que não impliquem a utilização de OGM como receptor ou doador:

I – mutagênese;

II – formação e utilização de células somáticas de hibridoma animal;

III – fusão celular, inclusive a de protoplasma, de células vegetais, que possa ser produzida mediante métodos tradicionais de cultivo;

IV – autoclonação de organismos não-patogênicos que se processe de maneira natural.

Mas será que qualquer pessoa pode montar um laboratório em casa e construir um OGM? Essa lei impede que isso aconteça: todos os laboratórios que trabalham com OGM estão devidamente registrados e, segundo o parágrafo 2 do artigo segundo, as atividades com OGM “são vedadas a pessoas físicas enquanto agentes autônomos e independentes, mesmo quando mantenham vínculo empregatício ou qualquer outro com pessoas jurídicas”. Logo, somente pessoas jurídicas podem fazê-lo; por exemplo, instituições de ensino e pesquisa, como as universidades, a Embrapa e a Fiocruz, ou empresas, depois de devidamente autorizadas, podem montar laboratório. Também é obrigatória a criação de uma comissão interna de biossegurança, que funciona sob a supervisão do Conselho Técnico Nacional de Biossegurança. Está em tramitação, desde outubro de 2003, um Projeto de Lei de Biossegurança que estabelece normas e procedimentos necessários à liberação de OGMs.

Desde 2001, porém, cabe à Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio)/Ministério da Ciência e Tecnologia, emitir parecer sobre a segurança dos OGMs e seus derivados. A lei exige a apresentação do Certificado de Qualidade em Biossegurança, expedido pela CTNBio, para pesquisas com OGMs, definidos como organismos cujo material genético tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética. Também é função do CTNBio cadastrar as instituições e os profissionais que trabalham com OGMs, e esse cadastro deve ser publicado no *Diário Oficial da União*.

Vamos então rever as principais etapas da obtenção de um organismo geneticamente modificado, no caso, o primeiro transgênico de grande importância comercial produzido, a bactéria *Escherichia coli*, transformada com o gene da insulina humana, apresentado na **Figura 29.6**. O gene foi retirado de uma célula humana e introduzido na bactéria, que passou a produzir a forma da proteína humana. Atualmente, esse é o principal processo de fabricação de insulina, pois o processo anterior, de extração e purificação de insulina de porco, era mais caro e ainda ocasionava reações alérgicas nos diabéticos que a utilizavam.

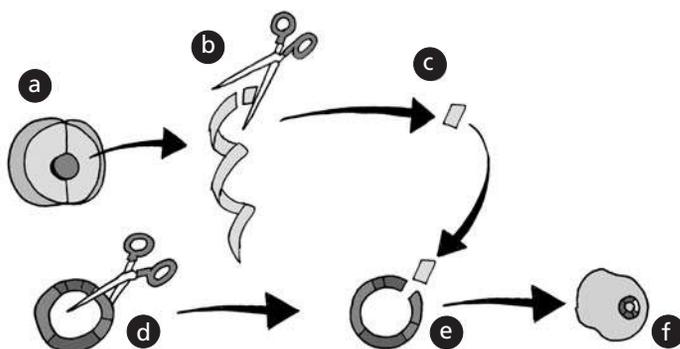


Figura 29.6: O gene da insulina está presente no núcleo da célula humana (a). Após a extração do DNA e com o auxílio de enzimas de restrição (b), o gene da insulina é isolado (c). O transgene é construído a partir do plasmídeo de bactérias, que após ser aberto (d), recebe o gene da insulina humano (e), previamente isolado. A seguir, o transgene é inserido em uma bactéria, que irá se multiplicar, produzindo assim a insulina humana (f).

Por certo que este não constitui um exemplo de engenharia genética de plantas; mas, atualmente, diversos laboratórios de pesquisa buscam a produção de proteínas recombinantes em plantas, e os principais exemplos são:

- hormônio do crescimento humano, em soja, girassol e tabaco;
- alfa-interferon, em arroz;
- albumina humana, em tabaco e batata;
- colágeno, em tabaco;
- vários tipos de anticorpos recombinantes, em soja e tabaco;
- vacinas tais como: da hepatite B, em tomate, banana e alface; raiva, em tomate; toxina B da cólera, em tabaco e batata; diarreia, em alface e tomate, entre outras.

As primeiras gerações de transgênicos propiciaram a obtenção de plantas com enriquecimento nutricional e melhores características agrônômicas, principalmente pelo aumento do teor protéico em sementes, a resistência a insetos, é vírus e herbicidas. A possibilidade de produção em larga escala de vacinas em plantas é considerada uma nova e revolucionária geração de transgênicos. As vantagens desses processos são enormes. Juntamente com a produção de proteínas com ações terapêuticas diversas e de anticorpos, que possuem um alto valor no mercado, as vacinas obtidas são estruturalmente idênticas às produzidas no organismo de onde o gene foi retirado; elas são produzidas em grandes quantidades e em pouco tempo, pois são utilizadas plantas de ciclo curto, o que resulta em baixo custo de produção. As plantas assim transformadas são denominadas fábricas biológicas, biofábricas, ou, ainda, biorreatoras, pois dispensam a utilização industrial dos fermentadores e biorreatores tradicionais.

Os avanços e benefícios associados à utilização de OGMs de plantas são enormes, e você pode observar que a velocidade com que novos progressos são obtidos também é notável:

1973: O plasmídeo Ti da bactéria *Agrobacterium tumefaciens* foi identificado e a ele foi atribuída a capacidade de se introduzir no genoma da planta; ou seja, é uma agente natural de transformação genética e, conseqüentemente constitui o método de transformação mais utilizado.

- 1983: Primeira planta de tabaco transgênica.
- 1985: Primeira planta transgênica resistente a insetos.
- 1987: Primeira planta transgênica tolerante a um herbicida.
- 1988: Primeiro cereal transgênico.
- 1990: Primeiro caso de comercialização de uma planta transgênica, na China: o tabaco resistente ao vírus do tabaco.
- 1994: Primeiro legume transgênico comercializado – Tomate Flavr savr – que apresenta retardo na senescência, pois a formação do etileno é inibida.
- 1997: Primeiro tabaco capaz de produzir hemoglobina.
- 1999: Aproximadamente, 40 milhões de hectares de plantas transgênicas cultivadas em todo o mundo.
- 2000: Seqüenciamento do genoma de *Arabidopsis thaliana*.
- 2002: 58,740 milhões de hectares de plantas transgênicas cultivadas em todo o mundo.

E como estes OGMs são construídos? Didaticamente, os métodos de transformação foram divididos em indiretos e diretos.

Métodos indiretos: dependem da utilização de bactéria ou vírus, que funcionam como vetores da transformação, ou sejam, levam o gene recombinante e garantem a sua integração ao genoma da planta. O vetor bacteriano mais utilizado é o *Agrobacterium tumefaciens*, sendo tal estratégia aquela que possibilitou, até o momento, a obtenção do maior número de transgênicos. Já a transformação mediada por vetores virais, dentre eles o vírus CaMV, ou Caulimovírus, é bem menos corriqueira.

Métodos diretos: neste caso, o gene recombinante é inserido na célula sem a participação de bactérias ou vírus. Podem ser utilizados células intactas e órgãos em culturas, como embriões somáticos, calos, ápices meristemáticos etc., ou ainda protoplastos de diferentes origens (de órgãos diferenciados ou de calos).

No caso dos protoplastos, podem ser utilizados agentes químicos que facilitem a ligação e a passagem do DNA pela membrana, como o PEG e o fosfato de cálcio, citados no item Protoplastos e hibridização somática, e também poliornitina e polilisina. Mas a transformação pode ser também obtida pela aplicação de um campo elétrico de alta voltagem, em períodos muito curtos; esse campo de alta voltagem é capaz de tornar a membrana plasmática permeável ao DNA, de forma reversível, em um equipamento próprio denominado eletroporador. Alternativamente, através de microinjeção, com auxílio de microscópio e de uma micropipeta, o DNA pode ser inserido no núcleo ou no citoplasma do protoplasto. Este processo, no entanto, é mais comum na transformação de células animais.

As limitações de tais métodos, principalmente a capacidade de transformação do *Agrobacterium tumefaciens*, pouco efetiva em monocotiledôneas, como os cereais, e a dificuldade de obtenção de plantas inteiras em algumas espécies, a partir de protoplastos, levaram ao desenvolvimento de um método de transformação direta, bastante eficiente para células e tecidos intactos. O DNA é literalmente jogado dentro da célula, através do bombardeamento de partículas de tungstênio ou de ouro, contendo o segmento de gene recombinante. O aparelho funciona como um canhão, em que as partículas microscópicas (de 1 a 4 μm) carregadas com o DNA recombinante bombardeiam as células, arrastadas em gás hélio, e o equipamento é calibrado de modo a não destruir as células.

Assim são produzidos os diferentes tipos de OGM de plantas. Observe, porém, que os métodos de obtenção dependem de um sistema de cultura *in vitro* que possibilite a regeneração de plantas inteiras e que tenha sido estabelecido previamente. Mas do que depende a liberação das plantas para o ambiente? É exatamente o que discutiremos a seguir.

OGMs e meio ambiente

Existe um conjunto de normas e procedimentos que devem ser seguidos e que, em nosso caso, estão sendo agora agrupados no Projeto de Lei de Biossegurança, em tramitação no Congresso Nacional. Mas ainda está em vigor a resolução nº 305 do Conama – Conselho Nacional de Meio Ambiente –, de 12 de junho de 2002, em que se encontram listadas as exigências necessárias à liberação, como:

- Licenciamento ambiental para área confinada.
- Licenciamento ambiental para pesquisa de campo.
- Licenciamento ambiental para liberação comercial.
- Licenciamento ambiental em áreas com restrição.

O principal objetivo das licenças é controlar a liberação de transgênicos no meio ambiente, e a instituição ou empresa que a solicita deve garantir que o OGM não seja capaz de induzir qualquer alteração ambiental. Mas no caso das plantas comestíveis outras exigências fazem-se necessárias, tais como as explicitadas na Instrução Normativa do CTNBio nº 20, de 11/12/2001, que dispõe sobre as normas para avaliação da segurança alimentar de plantas geneticamente modificadas ou de suas partes. É necessário que sejam definidos uma série de critérios. Por exemplo:

- Questões relativas ao organismo doador.
- Questões relativas à planta receptora.
- Questões relativas à proteína expressa no OGM.
- Questões relativas à qualidade nutricional, especificamente:
 - aos novos carboidratos ou carboidratos modificados;
 - aos óleos ou gorduras novos ou modificados;
- Questões relativas à alergenicidade.

Até o momento, a liberação de OGMs de plantas está associada ao Princípio da Equivalência Substancial, internacionalmente aceito: os alimentos transgênicos devem conter os mesmos nutrientes que os convencionais. Mas esse princípio tem recebido muitas críticas, por ser considerado “pseudocientífico” e não estar totalmente regulamentado; ele é avaliado pela medição quantitativa dos componentes do indivíduo, como as proteínas totais, lipídeos, açúcares. Considerando-se que as proteínas resultantes da transgenia não modificam muito o *pool* de proteínas totais, o ideal seria que fossem realizadas avaliações qualitativas das proteínas produzidas, entre outros testes relacionados às características do transgênico. E é exatamente o que propõe o nosso projeto de lei de biossegurança! Essa lei engloba todas as normas de segurança e os mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo,

a liberação no meio ambiente e o descarte de OGMs e seus derivados, com o objetivo de estimular o avanço científico na área de biossegurança e biotecnologia; de proteger a vida, a saúde humana, animal e vegetal; e de proteger o meio ambiente, em atendimento ao **Princípio da Precaução**.



O Princípio da Precaução, proposto por Testar, J., em 2001, afirma que "a ausência de certeza não pode retardar a adoção de medidas preventivas que evitem o surgimento de danos graves e irreversíveis". Ele representa exatamente o oposto da idéia expressa no dito popular: "Se mal não faz, bem poderá fazer." Devem-se adotar medidas preventivas que garantam que "a ausência de evidência não pode ser tomada como evidência da ausência". Mais uma vez, fazendo referência aos ditos populares, é equivalente ao famoso "O seguro morreu de velho".

Dessa forma, estão disponíveis no país os instrumentos legais que viabilizam e regulam os aspectos relacionados aos OGMs, condizentes com as exigências de segurança ambiental e humana. Faltou abordar, no entanto, as questões éticas relacionadas, e também as principais discussões que a transgenia tem suscitado em nossa sociedade.

OGMs: ética e bioética

Para as plantas, a discussão sobre as questões éticas é substituída pela preocupação com os efeitos ambientais de sua liberação. A ética diz respeito às pesquisas com seres humanos. A pesquisa ética implica consentimento livre e esclarecido dos indivíduos-alvo (autonomia); compromisso em buscar o máximo de benefícios com o mínimo de danos (beneficência); garantia de que danos previsíveis serão evitados (não-maleficência) e preocupação com a relevância social da pesquisa, no sentido de buscar vantagens para os sujeitos pesquisados e a sociedade (justiça e equidade). Logo, esta definição não é cabível às plantas e aos animais, e tornou-se necessária a adequação deste conceito para permitir a inclusão de tais organismos.

Foi o que aconteceu em 1971, quando Potter, A.R. (1971), em seu livro *Bioethics: a bridge to the future*, apresentou a primeira versão do termo bioética, como sendo o compromisso global com o equilíbrio e a preservação dos ecossistemas na relação com seres humanos. Posteriormente, em 1979, no livro *The principles of bioethics*, Tom Beauchamp e James Childress propõem uma linha principalista, que

determina que o desenvolvimento científico deve ocorrer segundo os princípios da não-maleficência, justiça, beneficência e autonomia. A essa idéia foi acrescido também o Princípio da Precaução, proposto por Testar, J., em 2001. E assim, como as plantas e animais não são capazes de manifestar opinião, cabe-nos garantir que a criação de organismos geneticamente modificados seja benéfica e vantajosa à sociedade, sem, contudo, causar qualquer malefício ao ambiente.

De fato, entre 1985 e 2000, a União Européia realizou uma extensa análise e, em um documento final, afirmou que “não foi encontrado qualquer risco à saúde humana ou ao meio ambiente, além dos já percebidos nas plantas convencionais”.

Esse estudo incluiu os principais tipos de OGMs de plantas, independente do método de transformação utilizado. Mas, então, por que tantas organizações não-governamentais, especialmente o Greenpeace, e alguns pesquisadores são contra a liberação de OGMs? As argumentações estão baseadas principalmente no Princípio da Precaução, no tempo relativamente curto (três a cinco anos) em que alguns transgênicos foram produzidos e liberados; e também questionamentos bastante enfáticos sobre a real eficiência e os benefícios sociais dos transgênicos, que são produzidos e comercializados por grandes empresas multinacionais.

A FDA – Food and Drug Administration – órgão americano equivalente ao nosso Ministério da Agricultura, divulgou recentemente um estudo que compara a capacidade de produção entre a soja normal e a geneticamente modificada, com resistência a um tipo de herbicida, fabricada pela empresa que também comercializa esse transgênico. Em alguns casos, a soja geneticamente modificada foi até menos produtiva que a tradicional.

No caso do Brasil, devemos considerar que atingimos os patamares de produção mundial graças ao melhoramento genético tradicional dado à soja e à seleção de linhagens de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, que se associam simbioticamente às raízes (conforme foi anteriormente discutido na Aula 19 de Botânica I). A produção de soja em nosso país já é realizada sem a obrigatoriedade da adição de grandes quantidades de adubos nitrogenados, o que compromete a ciclagem de nutrientes e a cadeia alimentar, levando à eutrofização dos cursos d'água. Além disso, economicamente se reflete no menores custos de produção, e, conseqüentemente, em melhores preços no mercado internacional,

tornando nosso produto mais competitivo. De fato, a utilização de um tipo de soja resistente a herbicidas tem implicações extremamente benéficas ao ambiente, pois a quantidade desses agentes liberados é sensivelmente reduzida. Mas, infelizmente, os benefícios financeiros e ambientais decorrentes ainda não foram cientificamente comprovados.

Dependendo do processo de transformação utilizado, diversos são os tipos de danos potenciais ao meio ambiente, como os listados a seguir:

- transferência do transgene por cruzamentos sexuais (para espécies afins) ou Transferência do transgene no ecossistema, pela transferência e expressão em outras espécies, através de cruzamentos sexuais não específicos ou;
- transferência não-sexual ou horizontal (ex.: plantas para bactérias);
- alteração do fenótipo da planta;
- reações adversas na alimentação de animais;
- recombinação ilegítima/fragmentação do DNA;
- reação imunogênica ou reação alérgica em humanos;
- recombinação com vírus de plantas.

Efeitos:

- deslocamento ou eliminação de espécies não domesticadas;
- exposição de espécies a novos patógenos ou a agentes tóxicos;
- criação de plantas daninhas ou resistentes a pragas;
- erosão da diversidade genética;
- alteração ou interrupção da ciclagem de nutrientes e energia.

Repare que essas possibilidades não representam atrocidades biológicas: foram descritas anteriormente em casos específicos, que ocorreram em outras circunstâncias, necessariamente não associadas aos OGMs e, conseqüentemente, existe a possibilidade de ocorrerem também nessas circunstâncias.

Um dos objetivos desta aula é a discussão dos conceitos éticos e das questões ambientais relacionadas à Biotecnologia Vegetal, o que necessariamente implica o fornecimento de subsídios para que tal

discussão seja desenvolvida, de acordo com uma postura acadêmica, em que a comprovação dos fatos seja criteriosa e independente de conceitos ideológicos, quaisquer que sejam. Dessa forma, não há pretensão de convencê-lo do que é melhor ou pior, pois não estamos tratando de uma disputa entre torcidas. Historicamente, os avanços da Ciência são sempre uma fonte de especulações catastróficas ou miraculosas. Lembre-se de que um dos grandes cientistas mundiais e um dos mais importantes deste país, o Dr. Oswaldo Cruz, foi literalmente execrado, no século passado, pela firme condução de campanhas de vacinação contra a febre-amarela, consideradas “insanas e diabólicas” à época.

CONCLUSÃO

As aplicabilidades da Biotecnologia Vegetal são amplas e têm despertado grande interesse na sociedade. As técnicas relacionadas à multiplicação de indivíduos que apresentam uma ou mais características de interesse auxiliam no melhoramento genético tradicional, mas também podem ser utilizadas nos estudos da fisiologia do desenvolvimento de plantas. A construção de organismos geneticamente modificados, que abre infindáveis possibilidades de utilização das plantas, constitui, certamente, o conjunto das técnicas que têm centralizado as mais acirradas discussões, principalmente relacionadas à segurança biológica e ambiental dos transgênicos.

RESUMO

A Biotecnologia Vegetal abrange um conjunto de procedimentos que visa à obtenção de um produto ou de um processo, utilizando plantas inteiras ou suas partes. Dentre esses procedimentos, podemos destacar:

- os que preconizam a multiplicação de plantas inteiras, de suas células e tecidos ou de órgãos, em condições de cultivo asséptico, ou de cultura;
- os que proporcionam a transformação genética de plantas, pela introdução de genes de interesse, retirados de outros organismos.

A manipulação de plantas envolvendo a transgenia possui mecanismos legais específicos, que controlam todas as etapas do processo, incluindo a liberação do organismo geneticamente modificado no ambiente. Os conceitos éticos relacionados à transgenia são abordados na Bioética, que inclui o compromisso global com o equilíbrio e preservação dos ecossistemas.

ATIVIDADES FINAIS

1. Quais as principais vantagens e desvantagens da multiplicação de plantas associadas à micropropagação?

RESPOSTA COMENTADA

Se você citou como vantagens a possibilidade de multiplicação de indivíduos que apresentam características de interesse, tanto para a agricultura como para a indústria farmacêutica ou ainda a possibilidade de recuperação de indivíduos raros ou ameaçados de extinção, entendeu perfeitamente os benefícios relacionados a esse processo. Se incluiu como principal desvantagem a constituição de populações homogêneas, composta por indivíduos clonados, mais suscetíveis a estresse, completou perfeitamente sua resposta.

2. Defina a engenharia genética de plantas.

RESPOSTA COMENTADA

A engenharia genética de plantas abrange os procedimentos metodológicos necessários à inclusão de um gene de interesse no vegetal a ser transformado. Esse gene foi retirado de um outro organismo. A obtenção do gene de interesse está vinculada à Biologia Molecular, enquanto a manutenção e multiplicação da planta transformada depende da cultura in vitro.

3. Quais são as possibilidades de dano ambiental associadas à engenharia genética de plantas?

RESPOSTA COMENTADA

Se você citou que existe a possibilidade de transferência do transgene para outros organismos (para espécies afins ou para outras espécies, através de cruzamentos sexuais não específicos, ou ainda para bactérias); ou a alteração do fenótipo da planta; o surgimento de reações adversas na alimentação de animais que comprometem o seu desenvolvimento; a possibilidade de recombinação ilegítima ou de fragmentação do DNA e, finalmente, o surgimento de reações imunogênicas ou alergênicas em humanos, entendeu perfeitamente o objetivo da questão. Mas caso não tenha feito isso, retorne ao texto ou fale com seu tutor.

4. A Bioética é uma transposição dos princípios éticos que norteiam o desenvolvimento científico. Elabore um texto versando sobre os principais pontos de discussão associada à utilização de plantas geneticamente modificadas.

RESPOSTA COMENTADA

O Princípio da Precaução norteia as discussões relacionadas aos transgênicos. Seguindo os preceitos do desenvolvimento científico, todas as possibilidades de dano ambiental ou biológico devem ser testadas. A velocidade com que os OGMs de plantas são obtidos e liberados tem sido objeto de críticas contundentes, assim como os tipos de testes realizados, para a comprovação de sua segurança. Se um ou mais desses aspectos foi abordado em seu texto, parabéns. Caso contrário, retorne ao item correspondente e releia o texto, antes de prosseguir para a próxima aula.

AUTO-AVALIAÇÃO

Se ao término desta aula persistirem dúvidas a respeito das principais técnicas relacionadas à Biotecnologia Vegetal e às implicações ambientais associadas a sua utilização, retorne ao texto correspondente ou contate o tutor, antes de prosseguir para a próxima aula.

INFORMAÇÕES SOBRE A PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, discutiremos as principais estratégias de conservação da diversidade biológica brasileira, incluindo os aspectos legais envolvidos e os instrumentos de conservação utilizados. Considerando-se que nosso país possui a maior diversidade biológica do planeta – também denominada megabiodiversidade –, é fundamental que você conheça os mecanismos comumente utilizados em sua proteção.

A conservação da biodiversidade

AULA

30

Meta da aula

Apresentar a evolução do conceito de Conservação e os instrumentos que a viabilizam, destacando os tipos de Unidades de Conservação do Brasil.

objetivos

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de:

- Descrever a evolução do conceito de Conservação.
- Diferenciar Conservação *in situ* e Conservação *ex situ*, apontando seus principais instrumentos.
- Identificar os diferentes tipos de Unidades de Conservação brasileiros.

Pré-requisitos

Alguns conceitos introduzidos na primeira aula da disciplina Botânica I são necessários para o entendimento desta aula, tais como: biodiversidade ou diversidade biológica, ecossistema, paisagem, serviços do ecossistema. Caso não se lembre do significado de algum destes termos, releia a introdução daquela aula.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a Conservação tem sido entendida como uma disciplina e se relaciona à gestão da crise ambiental. O seu conteúdo possui uma base teórica e utiliza modelos aplicados a situações reais. É uma ciência que ultrapassa a perspectiva única de registrar catástrofes; na verdade, instrumentaliza suas previsões, bem como elabora as bases científicas para evitá-las (BARBAULT, 1997).

Essa disciplina de síntese utiliza os princípios da Antropologia, da Biologia, da Economia, da Geografia, da Sociologia, dentre outras, visando à manutenção e utilização da diversidade biológica sobre o planeta.

Ao longo dos anos, o conceito de Conservação da Biodiversidade foi evoluindo:

- inicialmente, a preocupação se restringia à proteção de reservas de caça e pesca;
- depois, à proteção de espécies ameaçadas (ex.: urso-panda) ou com estoques comerciais em declínio, em decorrência do uso intensivo (ex.: baleia);
- em seguida, com prioridade para a proteção de ecossistemas de alto valor estético/cultural e relevantes para a proteção de espécies ameaçadas (ex.: pantanal mato-grossense);
- posteriormente, considerou-se a proteção de ecossistemas representativos da Biodiversidade, ou seja, centros de riqueza e **ENDEMISMOS** de espécies (ex.: Floresta ou Mata Atlântica);
- seguiram-se medidas voltadas para a preservação da variabilidade genética de interesse para o melhoramento de espécies animais (gado bovino) e vegetais (soja);
- na atualidade, surge o interesse para a conservação da Biodiversidade com vistas à sua disponibilização para **BIOTECNOLOGIA** (matrizes) e para a manutenção das funções ecológicas essenciais ao equilíbrio do planeta e que tanto servem ao Homem – os serviços do ecossistema (veja a Aula 1 de Botânica I);
- e, finalmente, a preocupação volta-se para a conservação da Biodiversidade também com vistas à sua **UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL**.

Uma das definições mais abrangentes de Conservação foi feita por Paiva (1999): “é a utilização sustentável dos recursos naturais renováveis e dos ecossistemas e a utilização racional dos recursos naturais não renováveis com proteção dos ecossistemas explorados”. O que se pretende com esta definição é garantir que a utilização dos recursos renováveis, ou seja, a flora e a fauna, possam ser utilizados, sem qualquer tipo de risco. Repare que as ações conservacionistas mais antigas excluía qualquer possibilidade de uso, mesmo que sustentável!

ENDEMISMO

Ocorrência de uma determinada espécie em uma área restrita.

BIOTECNOLOGIA

Significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica (Convenção sobre Diversidade Biológica, 1992).

UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL

Significa a utilização de componentes da diversidade biológica de modo e em ritmo tais que não levem, a longo prazo, à diminuição da diversidade biológica, mantendo assim seu potencial para atender às necessidades e aspirações das gerações presentes e futuras. (Convenção sobre Diversidade Biológica, 1992).

Assim, a conservação não é uma ação estática: ela abrange diversas áreas do conhecimento – é interdisciplinar! Quando dissemos anteriormente que, além dos aspectos biológicos obviamente relacionados, também estão associadas questões sociológicas, antropológicas e econômicas, estamos incluindo a espécie humana no contexto da conservação. Para realizá-la, não basta apenas isolar uma área onde nada deve ser tocado ou estudado. Muitíssimo ao contrário: a conservação engloba um conjunto de ações que objetivam tanto conhecer e preservar, como também utilizar os recursos de forma criteriosa, garantindo, assim, que estejam disponíveis inclusive para as gerações futuras.

Nós devemos encarar esse tópico como um assunto estratégico, de tão importante que é ao país. Na aula anterior, discutimos as potencialidades e as aplicações da biotecnologia de organismos vegetais: um dos grandes passos está na utilização de um ou mais genes do organismo e não mais do organismo inteiro, como fazemos há milênios. O domínio dessa tecnologia permite que o gene assuma um caráter distinto de sua ação biológica: ele adquire um valor comercial. Muitos dos pensadores contemporâneos o consideram a moeda do futuro.

E qual é a importância disso? Nosso país é considerado por diversas organizações internacionais como aquele que detém a maior diversidade biológica do planeta, muitas vezes denominada Megabiodiversidade! Lembre-se de que a diversidade biológica está baseada na diversidade genética e, assim, somos os detentores do maior cofre do futuro. Mas não adianta apenas manter o cofre fechado, sem que a riqueza seja compartilhada pela população: é necessário que a utilização desses recursos seja realizada de forma sustentável, o que depende de conhecimento. Todas essas potencialidades só se tornarão reais através do domínio das técnicas relacionadas e dos instrumentos legais que garantam a conservação dos ambientes de onde a moeda – os genes – foram retirados.

No Brasil, o principal instrumento legal de conservação é o Decreto número 2.519, de 16 março de 1998. Esta Lei é, na verdade, a promulgação do texto final de uma das mais importantes e famosas ações conservacionistas do planeta: a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, 1992), realizada na cidade do Rio de Janeiro, em 1992, ou ECO-92. Você poderá obtê-la na íntegra, no *site* do Ministério do Meio Ambiente (<http://www.mma.gov.br>),

assim como o restante da legislação ambiental vigente e outras informações e imagens sobre os principais biomas, as florestas brasileiras, as plantas e os animais em extinção, os órgãos vinculados ao ministério, como o Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, o Conama, Conselho Nacional do Meio Ambiente, entre outros. Não deixe de consultá-lo!

A CDB reconhece o direito soberano dos países sobre seus recursos biológicos, mas inclui também a preocupação com a conservação e o uso da Biodiversidade para todo o planeta. Foi a primeira convenção internacional que reconheceu o conceito de soberania nacional sobre os recursos biológicos, vinculando-os ao bem comum da Humanidade, incluindo as diferentes formas de manejo, pela conservação *in situ* e *ex situ* (que discutiremos a seguir), o uso sustentável e a biotecnologia.

ATIVIDADE



1. Como está sendo conceituada atualmente a Conservação da Biodiversidade?

RESPOSTA COMENTADA

Uma boa definição de Conservação é a dada por Paiva (1999): "é a utilização sustentável dos recursos naturais renováveis e dos ecossistemas e a utilização racional dos recursos naturais não renováveis com proteção dos ecossistemas explorados".

Entende-se por utilização dos recursos naturais renováveis de forma sustentável o uso desses recursos abaixo do nível de reposição e sem colocar em risco a sua produção. Nesse caso, tanto a fauna como a flora constituem recursos naturais renováveis e estão intimamente relacionados. Assim, sua utilização só deve ser feita levando em consideração o conjunto. Já o uso racional dos recursos naturais não renováveis diz respeito a sua utilização de forma criteriosa e

parcimoniosa. Se sua resposta incluiu esse conceito, parabéns, você atingiu o objetivo da questão. Caso tenha associado uma ação de isolamento ao objeto de conservação, atribuiu a esse conceito um caráter estático, deve retornar ao texto anterior ou contatar o tutor

Mas vamos aproveitar e estender um pouco mais esta discussão: uma questão importante que destacamos aqui é a manutenção das funções ecológicas essenciais ao equilíbrio do planeta, ou seja, a conservação dos ecossistemas. Você já imaginou como o Homem ficaria sem os “serviços do ecossistema”? Veja, a seguir, a relação dos serviços que os sistemas ecológicos prestam ao Homem, que discutimos na Aula 1 de Botânica I:

1. regulação da composição química da atmosfera (controle da poluição);
2. regulação do clima (controle da temperatura);
3. controle da erosão do solo (proteção do solo);
4. retenção de sedimentos (enriquecimento do solo);
5. produção de alimentos (cadeia alimentar);
6. produção de matérias-primas (medicamentos, cosméticos etc.);
7. absorção e reciclagem de resíduos gerados por ação humana (esgotamento);
8. regulação dos fluxos hidrológicos (controle de água);
9. suprimento de água (estocagem e retenção de água);
10. regulação de distúrbios (proteção contra tempestades, controle de inundações, recuperação de secas etc.);
11. processos de formação do solo (aterramento: barro, saibro, terra-preta);
12. ciclo de nutrientes (cadeia alimentar);
13. polinização (reprodução das plantas, fornecimento de mel);
14. controle biológico (regulação de populações: pragas);
15. refúgio para populações residentes e migrantes (conservação *in situ*);
16. recursos genéticos (base da biodiversidade);
17. recreação e cultura (lazer).

Se você associou um ou mais destes benefícios à sua resposta, extrapolou o objetivo inicial da questão com brilhantismo. Passemos então a conhecer os principais instrumentos de conservação.

OS INSTRUMENTOS DA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE: CONSERVAÇÃO *IN SITU* EX *SITU*

A conservação da biodiversidade é realizada através de dois conjuntos de mecanismos: a conservação *in situ* e a conservação *ex situ*.

A conservação *in situ*, do latim no lugar, é aquela que se dá no local onde o objeto de conservação ocorre. O Artigo 2º da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, 1992) define conservação *in situ* como “a conservação de ecossistemas e habitats naturais e a manutenção e recuperação de populações viáveis de espécies em seus meios naturais e, no caso de espécies domesticadas ou cultivadas, nos meios onde tenham desenvolvido suas propriedades características”. Já a conservação *ex situ*, ou fora do lugar, refere-se “à conservação de componentes da diversidade biológica fora de seus habitats naturais”.

A Conservação da diversidade biológica de cada país pode ser feita de diversas maneiras. A conservação *in situ* tem o foco na preservação de genes, espécies e ecossistemas em seu ambiente próprio, por exemplo, estabelecendo áreas protegidas, reabilitando ecossistemas degradados e aprovando leis para proteger espécies ameaçadas. No Brasil, as áreas de proteção estão organizadas no SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO – SNUC, que também é um instrumento legal: Lei 9.985, de 18 de julho de 2000. Já a conservação *ex situ* utiliza herbários, coleções zoológicas, jardins botânicos e zoológicos e bancos de germoplasma ou ainda bancos de genes.

Nesta aula, vamos nos deter na proteção de áreas naturais, um instrumento da conservação *in situ* fundamental para a preservação da biodiversidade. Você pode também buscar informações sobre as formas de conservação *ex situ* em sua região, verificando a ocorrência de Jardins Botânicos ou de Zoológicos e também de coleções biológicas como os herbários – de plantas – ou de coleções zoológicas.

A PROTEÇÃO DE ÁREAS NATURAIS

A história da criação das áreas naturais protegidas é reflexo da evolução do conceito de Conservação da Biodiversidade.

Como analisamos anteriormente, o conceito original de conservação enfocava uma única espécie afetada e depois passou a dar ao ecossistema o valor intrínseco que lhe é devido. Dessa maneira,

partiu para a conservação de áreas silvestres com diversos objetivos. Alguns deles eram conflitantes entre si, o que determinou a necessidade de criação de tipos distintos de unidades de conservação ou categorias de manejo, como veremos a seguir.

Assim evoluiu o conceito de sistema de Unidades de Conservação, que é o conjunto organizado de diferentes categorias de Unidades de Conservação que, planejado, manejado e administrado como um todo, é capaz de viabilizar os objetivos nacionais de conservação, que estão expressos no Sistema Nacional de Unidades de Conservação, ou SNUC.

AS CATEGORIAS E OS TIPOS DE MANEJO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

A forma de utilização das áreas protegidas são declaradas no momento de sua criação, ou em seu ato declaratório; devem estar explicitadas em seus regulamentos e nos **PLANOS DE MANEJO**, assim como suas respectivas peculiaridades, que permitem a identificação das seguintes tipologias de Unidades de Conservação:

Unidades de proteção integral ou de uso indireto: a função primordial é preservar a Natureza, e o uso indireto de seus recursos naturais é garantido pelo poder público. A “sustentabilidade” (ecológica, ambiental, social, política e econômica) dessas Unidades está intimamente ligada ao mecanismo de implantação, de jurisdição e à menor participação social no processo de gestão. Logo, possui um tipo de gestão centralizadora que necessita de grandes investimentos, especialmente alocados no processo de fiscalização. Ex.: Parques Nacionais, Reservas Biológicas, Estações Ecológicas, Refúgios da Vida Silvestre e Monumentos Naturais.

Unidades de uso sustentável ou de manejo sustentável ou de uso direto: permite compatibilizar a conservação com o uso sustentável de uma parte de seus recursos naturais, daí a denominação de uso direto. Não predomina o direito de propriedade por parte do poder público, podendo ocorrer em áreas particulares, como no caso de Reserva Particular do Patrimônio Natural, RPPN. De modo geral, possui mais intensa participação social em sua gestão. Esse tipo de gestão descentralizada proporciona maior proteção a essas Unidades, com menores investimentos em processos de fiscalização. Ex.: Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Florestas Nacionais e Reservas Extrativistas e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

PLANO DE MANEJO

O manejo é compreendido como um conjunto de ações que visam a assegurar a conservação da diversidade biológica do ecossistema associado. Toda e qualquer unidade de conservação deve possuir um plano de manejo, ou seja, um estudo detalhado da forma de conservação e/ou utilização (manejo) dos recursos disponíveis. Esse documento é baseado nas especificidades do ambiente em questão e inclui, além do levantamento das características bióticas e abióticas, a melhor forma de proteção e utilização da unidade. Por exemplo, o Plano de Manejo pode incluir a restrição de acesso, total ou parcial, a determinadas áreas da unidade, ou ainda a sugestão de abertura de trilhas para facilitar o acesso e a preservação dos indivíduos, entre outras medidas.

As principais Unidades de Conservação (U.C.) são:

I. de proteção integral ou de uso indireto:

a) Parque Nacional (PN)

Essa categoria engloba áreas relativamente extensas de terra ou água (Parques Marinhos) que contenham formações ou paisagens de significado nacional, em que espécies de plantas ou de animais, sítios geomorfológicos e habitats sejam de grande interesse científico, educacional e de recreação. O Parque Nacional contém um ou mais ecossistemas que não sofreram alterações materiais por exploração e ocupação humana. A área deve ser sempre manejada, objetivando manter seu estado natural ou o mais próximo possível do natural. Os visitantes podem ter acesso, sob condições especiais, com fins educacionais, culturais e recreativos. As terras devem sempre pertencer ao Poder Público.

b) Estação Ecológica

Área representativa de ecossistemas naturais, destinada à proteção do ambiente natural, à realização de pesquisas básicas e aplicadas e ao desenvolvimento da Educação conservacionista; a visitação está associada a essas atividades. São áreas criadas pela União, Estados e Municípios em suas terras, que detêm a responsabilidade de sua administração.

c) Reserva Biológica (ReBio)

São áreas que possuem ecossistemas importantes ou espécies da flora e da fauna de importância científica. Em geral não comportam acesso público, exceto a visitação vinculada a atividades de pesquisa ou educacionais, não possuindo normalmente belezas cênicas significativas ou valores recreativos. Frequentemente, contêm ecossistemas ou comunidades frágeis, áreas de importante diversidade biológica ou geológica, ou seja, de particular importância para a conservação de recursos genéticos. Seu tamanho é determinado pela área requerida para os objetivos científicos a que se propõe, garantindo sua proteção. A propriedade dessas áreas deve ser do Poder Público.

d) Monumento Natural

Preconiza a preservação de sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica; podem estar situados em áreas públicas ou privadas.

e) Refúgio da Vida Silvestre

Seu objetivo básico é preservar áreas de ocorrência de espécies, e/ou aquelas onde ocorre reprodução ou migração; suas terras também podem ser públicas ou privadas.

II. de uso sustentável ou de manejo sustentável ou de uso direto:

f) Floresta Nacional (Flona)

São extensas áreas que apresentam condições para produção e exploração de madeira de maneira manejada, produção de águas, produção de fauna silvestre e oferecem condições de recreação ao ar livre; são, assim, consideradas áreas de uso múltiplo. Suas terras são de posse e domínios públicos. Nas Flonas é permitida a permanência de populações tradicionais, que já habitavam suas terras quando da criação da unidade, em conformidade com o seu regulamento e seu Plano de Manejo.

g) Reserva Indígena

São áreas destinadas às sociedades indígenas. Geralmente são isoladas e deve-se manter sua inacessibilidade. Há uma forte dependência do homem que aí vive, de seu meio natural para alimentação, abrigo e outras condições básicas de vida. Os objetivos de manejo são proporcionar o modo de vida de sociedades que vivem em harmonia e em dependência do meio ambiente, evitando um distúrbio pela moderna tecnologia e, em segundo plano, realizar pesquisas sobre a evolução do homem e sua interação com a terra.

h) Reserva Extrativista

As Reservas Extrativistas são espaços territoriais destinados à exploração auto-sustentável e à conservação dos recursos naturais renováveis, por populações tradicionais. Em tais áreas é possível materializar o desenvolvimento sustentável, equilibrando interesses ecológicos de conservação ambiental, com interesses sociais de melhoria de vida das populações que ali habitam. Objetivam a proteção da cultura e dos meios de subsistência das populações tradicionais, permitindo-lhes a utilização sustentável dos recursos naturais. Existem duas modalidades de Reservas Extrativistas: da Amazônia e Marinhas.

i) Área de Relevante Interesse Ecológico – (ARIE)

Áreas que possuam características naturais extraordinárias ou abriguem exemplares da biota regional, exigindo cuidados especiais de proteção por parte do Poder Público. Serão preferencialmente declaradas quando tiverem extensão inferior a 5.000 ha e houver pequena ou nenhuma ocupação humana por ocasião do ato declaratório.

j) Área de Proteção Ambiental (APA)

Áreas do Território Nacional de interesse para a proteção ambiental, a fim de assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais. Dentre os princípios que regem o exercício do direito de propriedade, o Poder Executivo estabelecerá normas, limitando ou proibindo:

- a implantação e o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, capazes de afetar mananciais de água;
- a realização de obras de terraplanagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais;
- o exercício de atividades capazes de provocar uma acelerada erosão das terras e/ou um acentuado assoreamento das coleções hídricas;
- o exercício de atividades que ameacem extinguir, na área protegida, as espécies raras da biota regional.

l) Reserva da Fauna

Objetiva a proteção da fauna e, concomitantemente, a realização de estudos que viabilizem o manejo e a utilização sustentável dos recursos.

m) Reserva de Desenvolvimento Sustentável

São áreas onde populações tradicionais realizam atividades sustentáveis de exploração dos recursos naturais e, ao longo de gerações, conseguem subsistir, preservando a diversidade biológica local.

n) Reserva Particular do Patrimônio Natural

Como a denominação explícita, são áreas de proteção situadas em terras de domínio privado. Assim como ocorre nas UCs sob responsabilidade do poder público, o objetivo primordial é a proteção ambiental, associada a atividades de pesquisa científica, educação ambiental e, também, a atividades recreativas.

Na **Tabela 30.1** estão relacionados os principais tipos de unidades de conservação do Estado do Rio de Janeiro e os municípios onde estão situadas. Caso sua cidade não esteja citada, verifique se a prefeitura não possui uma área de conservação sob sua responsabilidade. Procure visitar essas áreas; é a melhor forma de conhecer a diversidade biológica de sua região!

Na sede de cada uma dessas UCs devem estar disponíveis o regulamento e o Plano de Manejo. Neles estarão também discriminadas as formas de gestão da UC: as unidades federais encontram-se sob a responsabilidade direta do Ibama – MMA, enquanto as estaduais e municipais, estão submetidas aos respectivos órgãos ambientais competentes (secretarias do meio ambiente). Mas em cada uma delas está incluída a participação em sua gestão de representantes da sociedade local, de universidades etc. Caso tenha interesse na preservação ambiental de sua região, procure participar ativamente: visite a UC mais próxima e informe-se sobre as atividades lá desenvolvidas.

Tabela 30.1: Tipos de Unidades de Conservação do Estado do Rio de Janeiro e Municípios onde estão situadas

Tipo de Unidade de Conservação	Localização
Unidades de proteção integral	
Parque Nacional do Itatiaia	Itatiaia e Resende
Parque Nacional da Serra dos Órgãos	Teresópolis, Guapimirim, Magé e Petrópolis
Parque Nacional da Serra da Bocaina	Paraty e Angra dos Reis
Parque Nacional da Tijuca	Rio de Janeiro
Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba	Magé, Carapebus, e Quissamã
Parque Estadual da Chacrinha	Rio de Janeiro
Parque Estadual da Pedra Branca	Rio de Janeiro
Parque Estadual da Ilha Grande	Ilha Grande – Angra dos Reis
Parque Estadual da Serra da Tiririca	Niterói
Parque Estadual do Desengano	Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos
Parque Estadual Marinho do Aventureiro	Ilha Grande – Angra dos Reis
Estação Ecológica dos Tamoios	Angra dos Reis e Paraty
Reserva Biológica da Praia do Sul	Ilha Grande – Angra dos Reis
Reserva Biológica de Juatinga	Paraty
Reserva Biológica de Araras	Petrópolis
Reserva Biológica e Arqueológica de Guaratiba	Rio de Janeiro
Reserva Biológica do Tinguá	Duque de Caxias, Queimados, Nova Iguaçu, Japeri, Miguel Pereira e Petrópolis
Reserva Biológica de Poço das Antas	Silva Jardim
Reserva Biológica da União	Casimiro de Abreu, Rio das Ostras e Macaé

Unidades de uso sustentável	
Área de Proteção Ambiental de Gericinó-Mendanha	Rio de Janeiro e Nilópolis
Área de Proteção Ambiental de Jacarandá	Teresópolis
Área de Proteção Ambiental da Bacia dos Frades	Teresópolis
Área de Proteção Ambiental de Petrópolis	Petrópolis, Magé, Duque de Caxias e Guapimirim
Área de Proteção Ambiental de Guapimirim	Guapimirim
Área de Proteção Ambiental da Mantiqueira	Itatiaia e Resende
Área de Proteção Ambiental de Tamoios	Angra dos Reis
Área de Proteção Ambiental de Cairuçu	Angra dos Reis e Paraty
Área de Proteção Ambiental de Mangaratiba	Mangaratiba
Área de Proteção Ambiental de Maricá	Maricá
Área de Proteção Ambiental de Massambaba	Saquarema, Araruama e Arraial do Cabo
Área de Proteção Ambiental da Serra de Sapiatiba	São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande
Área de Relevante Interesse Ecológico das Ilhas Cagarras	Rio de Janeiro
Floresta Nacional Mário Xavier	Seropédica
Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo	Arraial do Cabo
Reserva Particular do Patrimônio Natural	29 reservas criadas até abril de 2001, em diversas cidades do estado

Fonte : Atlas das Unidades de Conservação da Natureza do Estado do Rio de Janeiro. 2001.

ATIVIDADE



2. Vamos ver se você assimilou bem as principais diferenças entre os diversos tipos de Unidades de Conservação. Com relação ao acesso, cite qual a diferença entre os Parques e as Reservas.

RESPOSTA COMENTADA

Você com certeza já visitou algum parque público. Foi necessário pedir autorização a algum órgão público fiscalizador? Certamente não, pois os parques possuem, entre outros, objetivos recreativos.

Contrariamente aos parques, as reservas geralmente não comportam acesso ao público. Para visitá-las, é necessário pedir autorização ao Ibama (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), justificando sua solicitação. Se além desta diferença você citou que essas visitas estão vinculadas a atividades educacionais, complementou perfeitamente sua resposta. Mais uma vez, recomendo que visite a página do Ibama (<http://www.ibama.gov.br>), pois lá você encontrará mais informações sobre as Unidades de Conservação, incluindo o procedimento necessário para a realização desse tipo de visita.

AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL

Atualmente, o Brasil é um país de grande diversidade biológica, possuindo entre 10 e 20% do número total de espécies mundiais (BRASIL, 1998). Já comentamos isso na primeira aula da Botânica I. Segundo o **Quadro 30.1**, em nosso país, o sistema federal de Unidades de Conservação cobre 39.068.000 ha ou 4,59%, sendo 15.890.000 ha ou 1,87% de UCs de uso indireto e 23.178.000 ha ou 2,72% de UCs de uso direto. Além disso, alguns estados brasileiros também têm seus sistemas próprios de UCs, que cobrem 23.796,2 mil ha (ou 3,54% do território nacional). Destas, 21% são de uso indireto (0,74% do território nacional) e 79% de uso direto (2,8% do território nacional). As Unidades Federais e as Estaduais somadas chegam a uma área de aproximadamente 64 milhões de hectares.

Quadro 30.1: Número de Unidades de Conservação no Brasil e área ocupada (BRASIL, 1998)

	Categoria	Nº	Área total (ha)	% do país
Uso indireto	Parques Nacionais	36		
	Reservas Biológicas	23		
	Estações Ecológicas	21		
	Reservas Ecológicas	5		
	Áreas de Relevante Interesse Ecológico	18		
Subtotal	Uso indireto	103	15.889.543	1,87
Uso sustentável	Áreas de Proteção Ambiental	24		
	Florestas Nacionais	46		
	Reservas Extrativistas	11		
	Subtotal	Uso sustentável	81	23.178.668
TOTAL	Unidades de Conservação Federais	184	39.068.211	4,59

O DESAFIO DA CONSERVAÇÃO

Hoje, o grande desafio da Conservação da Biodiversidade está em atender ao mesmo tempo às necessidades ambientais e às metas de desenvolvimento econômico. Contudo, as tecnologias e as formas de disseminação capazes de universalizar as metas de preservação ambiental e crescimento econômico são ainda pouco experimentadas e devem ser aprimoradas.

Nesse contexto, a educação, de maneira geral, é um dos processos mais importantes para auxiliar na conservação da Biodiversidade. Entre os diversos segmentos, a Educação Ambiental tem-se destacado e exerce um papel fundamental na Conservação da Diversidade Biológica, pois é um processo de tomada de consciência da realidade ambiental.

CONCLUSÃO

No Brasil, a conservação da biodiversidade *in situ* é realizada através de ações legais que possibilitam a regulamentação dos diferentes tipos de unidade de conservação no país. A discriminação entre esses tipos é primordialmente baseada na forma de sua utilização, entre unidades de proteção integral ou unidades de uso sustentável.

RESUMO

O conceito de Conservação evoluiu ao longo do tempo, estando hoje voltado para a conservação da Biodiversidade, com vistas à sua utilização sustentável. A história da criação das áreas naturais protegidas é reflexo dessa evolução. Hoje temos um Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) com diferentes categorias de Unidades de Conservação (UCs), que viabiliza os objetivos nacionais de conservação.

A Conservação da diversidade biológica se instrumentaliza através da conservação *in situ* e da conservação *ex situ*. A primeira se preocupa em preservar a diversidade genética de espécies e ecossistemas em seu ambiente próprio. A conservação *ex situ* utiliza herbários, coleções zoológicas, jardins botânicos e zoológicos e bancos de genes para conservar espécies.

ATIVIDADES FINAIS

1. Elabore um texto sobre o conceito atual de conservação da biodiversidade. Inclua suas impressões pessoais sobre a importância desse conceito.

RESPOSTA COMENTADA

Se seu texto abordou questões relativas à evolução do conceito de conservação, incluindo os aspectos relacionados ao uso sustentável dos benefícios ambientais, baseado em sólidos conhecimentos da dinâmica e funcionamento do sistema sob proteção, além da interferência humana, você entendeu perfeitamente o que vem a ser conservação.

Parques Nacionais, Reservas Biológicas, Estações Ecológicas, Refúgios da Vida Silvestre e Monumentos Naturais e indicou que estes dois últimos tipos de UC são os únicos de uso indireto que podem ocorrer em áreas particulares, atingiu o objetivo da questão. Parabéns, e passe para a próxima atividade. Caso tenha encontrado alguma dificuldade em discriminar as UCs de uso direto ou indireto, ou não tenha conseguido responder totalmente à questão, retorne ao texto correspondente, ou contate seu tutor.

AUTO-AVALIAÇÃO

Se ao término desta aula o conceito de conservação da biodiversidade brasileira, incluindo a possibilidade de uso sustentável de seus benefícios, assim como os principais instrumentos de conservação utilizados no país estiverem perfeitamente claros para você, parabéns, você aproveitou corretamente o conteúdo da aula. Caso persista alguma dúvida, retorne ao texto correspondente ou converse com o seu tutor.

A “dura vida” de uma planta

AULA

31

Meta da aula

Rever conceitos relativos ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais relacionando-os a fatores endógenos e externos às plantas, abordados nas disciplinas de Botânica I e Botânica II.

objetivo

Ao final desta aula, você deverá ser capaz de descrever os processos morfológicos e fisiológicos relacionados ao desenvolvimento do esporófito e do gametófito de uma Angiosperma e às pressões ambientais às quais estão sujeitos.

Pré-requisito

Esta é uma aula de revisão; portanto, é necessário que você tenha estudado todas as aulas que compõem Botânica II e equacione dúvidas que possa vir a ter sobre Botânica I.

INTRODUÇÃO

Agora que você já cursou Botânica I e está terminando Botânica II, deve ter percebido o quanto é equivocada a imagem que algumas pessoas fazem das plantas. Você deve ter entendido que elas são seres complexos que, como os animais, durante toda a vida têm de resolver diversos problemas relacionados à própria sobrevivência. Como não se movimentam, utilizam o crescimento e a dispersão para alcançar melhores condições de sobrevivência. Nesta aula, vamos acompanhar a vida de uma Angiosperma, a partir do zigoto até a reprodução sexuada. Você verá vários termos em letras maiúsculas; ao final da aula, terá uma atividade relacionada a eles.

IMPACTO ANTRÓPICO

É o dano causado pelo Homem ao meio ambiente.

UM NOVO ESPORÓFITO

Adentraremos agora uma porção de Mata Atlântica ainda preservada numa encosta de morro no Estado do Rio de Janeiro, cercada de áreas que sofreram forte **IMPACTO ANTRÓPICO**. Numa superfície de vegetação menos densa, na borda da mata e da área impactada, um arbusto em fase de floração chama atenção por sua inflorescência frondosa (**Figura 31.1**). Suas flores são de um rosa muito intenso; será que elas já foram polinizadas? Se foram, isso significa que já começou a formação de um novo **ESPORÓFITO** em cada flor polinizada!



Figura 31.1: Planta em fase reprodutiva. Detalhe da inflorescência.

Como você viu na Aula 10, a fase dominante nas Angiospermas é o esporófito, nesse caso, o arbusto com a inflorescência. Os gametófitos estão no interior dos ovários (gametófitos femininos) e dos grãos de pólen (gametófitos masculinos).

Por causa das nervuras reticuladas das folhas, sabemos que se trata de uma DICOTILEDÔNEA (Botânica I, Aula 17) e, como é um arbusto, concluímos que é lenhosa. Para se ter certeza da espécie, é preciso preparar uma **EXSICATA** e levá-la para ser identificada. Vamos, agora, continuar acompanhando esse arbusto por mais uns dias, para sabermos o que acontece em sua vida e rever suas várias fases de desenvolvimento e crescimento.

Você deve recordar que um novo esporófito, com características genéticas próprias, desenvolve-se a partir de divisões de uma única célula, o ZIGOTO, que é produto de reprodução sexuada. O zigoto está contido no ÓVULO; nas Angiospermas, ele fica encerrado no OVÁRIO de uma flor. Como você pode ver na **Figura 31.2.a**, o zigoto já apresenta um pólo superior e um inferior, pois a parte apical da célula contém quase todo o citoplasma, enquanto a parte basal (voltada para a micrópila) é praticamente constituída por um grande vacúolo.

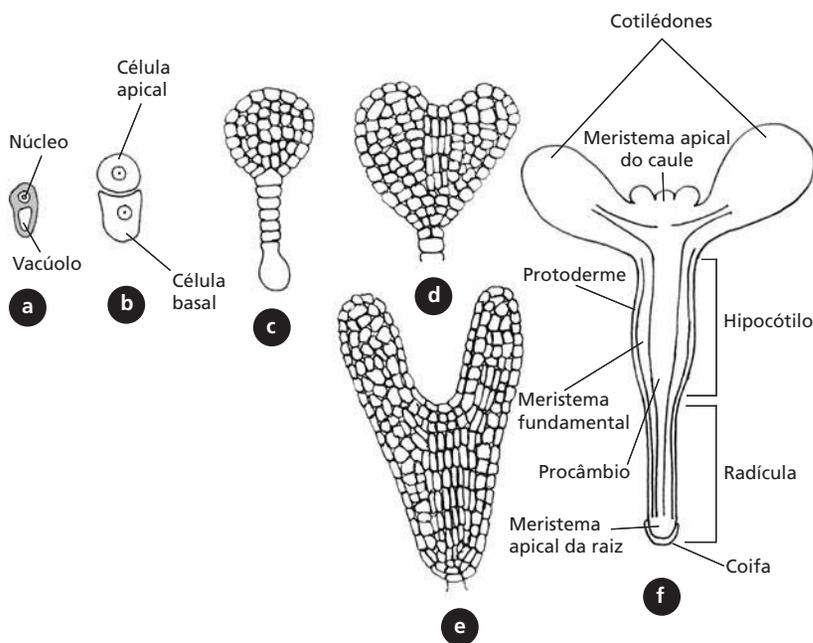


Figura 31.2: Embriogênese em diferentes fases.

EXSICATA

É uma amostra de material vegetal herborizado, utilizado para determinação da espécie (taxonomia) e diversos outros estudos. A herborização é feita ao se colocar um ramo, de preferência florido, em folha de jornal; prensa-se tudo até que a planta seque. Uma vez seca, ela é, então, afixada em uma folha de cartolina branca (camisa), com todos os dados do local, da própria planta, data e nome do coletor, anotados em uma ficha. Essa folha é, então, colocada dentro de uma outra folha dobrada de papel pardo (saia). Exsicatas podem ser utilizadas para estudos, mesmo após várias décadas.

Com o passar das horas de observação, notamos que as flores são visitadas por beija-flores e abelhas, mas apenas os beija-flores tocam nos estames ou estigmas (Aula 11) durante a visita (Figura 31.3). Eles devem ser os polinizadores dessa espécie, e as abelhas, as pilhadoras (ladras de néctar). A polinização ocorre quando os grãos de pólen (Figura 31.4), em contato com o estigma, germinam e crescem até o óvulo, em que a fertilização ocorre. Se as flores foram polinizadas, é porque, já deve haver embriões em desenvolvimento dentro delas.



Figura 31.3: Beija-flor durante o voo de visita a uma inflorescência.

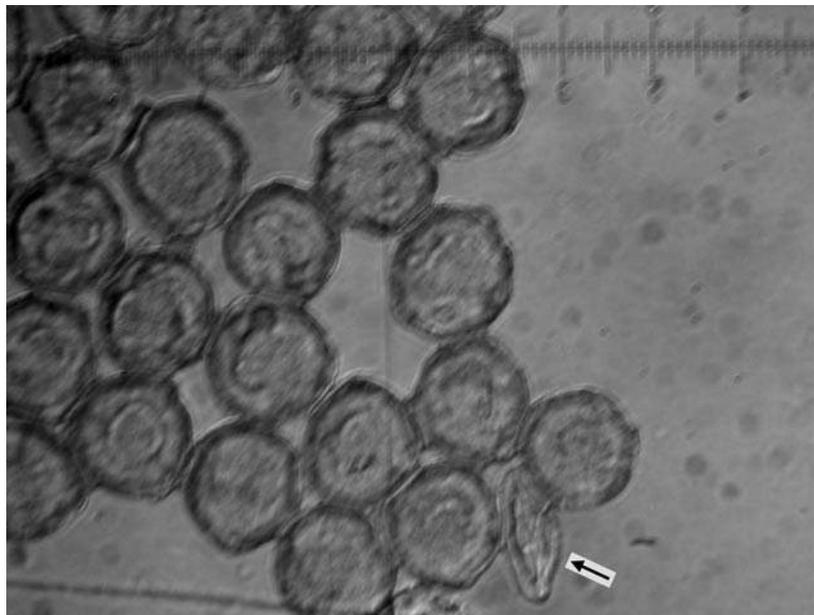


Figura 31.4: Grãos de pólen. Note um grão germinando (seta).

Vamos acompanhar o desenvolvimento do embrião a partir do zigoto? Esse processo é denominado EMBRIOGÊNESE. Para facilitar a leitura, observe a **Figura 31.2**.

O zigoto sofre uma primeira divisão transversal, originando duas células (**Figura 31.2.b**):

- célula basal → vai originar o suspensor através de divisões transversais;
- célula apical → vai originar a maior parte do embrião através de divisões nos dois sentidos.

O suspensor é o suporte do embrião que o introduz profundamente no tecido nutritivo (endosperma); ele ainda fornece, ao embrião, nutrientes e reguladores de crescimento, especialmente GIBERELINAS.

A célula apical sofre várias divisões, formando uma estrutura mais ou menos esférica: é o seu estádio globular (**Figura 31.2.c**). Posteriormente, nas laterais da região superior do embrião, são formadas, por divisões celulares, duas protuberâncias que formarão os COTILÉDONES da nossa planta, já que ela será uma dicotiledônea. O embrião está agora na fase cordiforme (**Figura 31.2.d**) (em monocotiledôneas, apenas um primórdio cotiledonar cresce). Mais tarde, na fase de torpedo, ele é um cilindro alongado (**Figura 31.2.e**); por fim, torna-se quiescente (células quiescentes são aquelas que cessam as divisões celulares) e desidrata-se parcialmente. O suspensor tem vida curta e não é mais observado nessa fase. A semente agora está madura.

Vamos observar, na **Figura 31.2.f**, a aparência do embrião na semente madura? Um eixo curto, chamado hipocótilo-radícula, é estabelecido.

- No ápice do eixo, entre os cotilédones, podemos observar o MERISTEMA APICAL DO CAULE.
- Na base do eixo, a RADÍCULA, com o MERISTEMA APICAL DA RAIZ protegida por uma coifa.

O que você leu até agora fez com que recordasse o que é polaridade? Ainda não? Então, releia a Aula 20.

Além da polaridade, determinada pelo PADRÃO APICAL-BASAL de desenvolvimento do embrião (pólo superior e pólo inferior), outro padrão também já está estabelecido no embrião, o PADRÃO RADIAL. Se você observar o hipocótilo de fora para dentro, verá que as células não são todas iguais, ou seja, já houve um início de diferenciação (**Figura 31.2.f**) (Aula 20):

- externamente, temos a PROTODERME, no interior da qual observamos o MERISTEMA FUNDAMENTAL;
- no centro, temos o PROCÂMBIO.

Esses dois padrões, o apical-basal e o radial, estarão presentes durante toda a vida da planta.



As células da protoderme, meristema fundamental e procâmbio, sofreram apenas uma diferenciação parcial no embrião.

Lembre-se de que durante a embriogênese, ocorreu também a transformação do óvulo em semente e do ovário em fruto, conforme vamos rever a seguir.

ATIVIDADE



1. Durante esta aula, você acompanhou o desenvolvimento do embrião da nossa planta, uma dicotiledônea, até a semente estar madura. Que diferenças você observa entre ele e um embrião de monocotiledônea (Aula 16)?

RESPOSTA

O que caracteriza as monocotiledôneas é a formação, no embrião, de apenas um cotilédone. Além disso, podem ocorrer outras diferenças, como a presença de uma bainha revestindo a plúmula (coleóptilo) e de uma outra revestindo a radícula (coleoriza); pode ocorrer também a presença do escutelo, com função de transferir nutrientes para o embrião em desenvolvimento.

COMENTÁRIO

O embrião maduro, dependendo da espécie, pode ser mais ou menos complexo. Pode constar apenas do eixo hipocótilo radícula, que é encimado por um ou dois cotilédones no caso de Monocotiledônea, ou Dicotiledônea, respectivamente, ou pode constar de outras estruturas como as já descritas aqui.

A SEMENTE

Durante o desenvolvimento embrionário, o óvulo sofreu outras modificações para transformar-se em semente. Você se lembra que no momento da fecundação a OOSFERA fecundada (zigoto) dá origem ao embrião (Aula10)? Além da oosfera, também o MESOCISTO é fecundado, originando uma célula triplóide. Através de mitoses, essa célula origina um tecido triplóide, o ENDOSPERMA, responsável pela reserva de substâncias nutritivas. Os integumentos do óvulo da planta-mãe transformam-se em tegumento ou TESTA da semente (Aula 16).



Na maioria das plantas da classe dicotiledônea, os cotilédones armazenam nutrientes que serão utilizados na germinação. Durante o desenvolvimento do embrião, eles se tornam espessos e são preenchidos com amido, óleo ou proteínas, enquanto que o endosperma murcha. Nas monocotiledôneas, os cotilédones mantêm-se finos e o endosperma permanece presente na semente madura; durante a germinação, o cotilédone age como um tecido de absorção e digestão, transferindo nutrientes do endosperma para o embrião.

Durante a fase inicial do desenvolvimento das sementes, o conteúdo de ÁCIDO ABSCÍSICO aumenta. Esse aumento é importante por prevenir a germinação prematura e estimular a produção de proteínas de reserva (Aula 24). A semente em desenvolvimento é, também, uma fonte de AUXINA, a qual está envolvida na formação do fruto. Assim, à medida que o óvulo se transformava em semente, já se podia observar o fruto (que se originou do ovário).

O FRUTO

As paredes do ovário se desenvolveram e sofreram profundas modificações para dar origem ao **PERICARPO**. A planta-mãe do embrião produz frutos carnosos do tipo baga, com muitas sementes pequenas (Aula 14). O amadurecimento desse fruto inclui a digestão enzimática da pectina (componente da LAMELA MÉDIA e também um dos componentes das PAREDES CELULARES – Botânica I, Aula 7), o que faz com que a parte carnosa do fruto amoleça, e o amido, os ácidos orgânicos e/ou óleos presentes nas células do mesocarpo sejam transformados em açúcares, tornando-a saborosa para os dispersores.

PERICARPO

É o conjunto de tecidos que forma o envoltório do fruto: epicarpo, mesocarpo e endocarpo.

Além disso, a clorofila, que dava a aparência de fruto verde, foi degradada e pigmentos carotenóides foram produzidos. Assim, a cor do fruto agora se destaca da folhagem, demonstrando que ele está maduro. Como você deve recordar, o amadurecimento dos frutos é promovido pelo etileno (Aula 23), que promove também a abscisão do fruto maduro.

A DISPERSÃO

Nesse momento, o jovem esporófito está maduro, protegido por uma semente, que se encontra dentro de um fruto que se destaca da folhagem por sua coloração avermelhada. Esse arbusto com seus inúmeros frutos coloridos atrai muitos pássaros. Eles comem vários frutos e vão embora adentrando a mata. Lá, um deles defeca, e as sementes intactas vão parar no chão. Por serem pequenas, elas entram facilmente no solo. Passam-se vários dias e as sementes não germinam. Isso acontece quando as condições não são adequadas à germinação; a semente, portanto, permanece **dormente**.

ATIVIDADE



2. Como você acabou de ler, apesar de a semente ter passado pelo trato digestivo do pássaro e, provavelmente, teve a testa danificada, o estado de dormência da semente foi mantido. Que outros fatores poderiam estar envolvidos?

RESPOSTA COMENTADA

É provável que inibidores do crescimento estivessem presentes, impedindo que o embrião retomasse o crescimento e a semente germinasse, pois a dormência pode ser mantida tanto por fatores externos (luz, disponibilidade de água) como internos (inibidores de crescimento, testa de difícil ruptura).



Dormência em sementes é um mecanismo que provoca atraso no processo de germinação, proporciona tempo adicional para dispersão das sementes e/ou previne a germinação sob condições ambientais desfavoráveis. Os embriões dormentes, em geral, possuem baixos teores de giberelina e altos de ácido abscísico (ABA).

A GERMINAÇÃO

Como já vimos, o embrião fica protegido dentro da semente, que pode sofrer um período variável de dormência até que as condições para germinação sejam favoráveis. No caso da nossa planta, a germinação aconteceu após quatro anos, por causa da abertura de uma clareira na mata, através da queda de uma árvore. A clareira permitiu que luz suficiente chegasse até a superfície do solo onde estava a nossa semente, o que provocou a quebra da dormência (Aula 24).

O fitocromo é o principal sensor de luz para semente. Ele passa da forma inativa (F_V) para a ativa (F_{VR}) (Aula 26) pela incidência de luz solar direta (que tem um balanço favorável entre o comprimento de onda vermelho e vermelho longo). Na forma biologicamente ativa, o fitocromo desencadeia uma série de processos fisiológicos, como a síntese de proteína. O embrião começa a produzir enzimas que enfraquecem a testa, a qual é composta de esclereídeos (células com paredes secundárias lignificadas) que restringem a entrada de água (Aula 16). Em seguida, ocorre a entrada de água, e o embrião retoma o crescimento interrompido ainda na planta-mãe (Aula 24).

Com a quebra da dormência, as reservas que, no caso do nosso embrião, estavam contidas nos cotilédones foram mobilizadas, fornecendo energia para que as divisões celulares recomeçassem. Como você já deve saber, a giberelina atua na quebra da dormência e na mobilização das reservas energéticas da semente (Aulas 22 e 24), sendo importante também por estimular o alongamento celular. Dessa forma, o embrião vence a testa da semente, lançando a raiz ao solo (gravitropismo positivo) e a região apical para cima (fototropismo positivo), conforme você vai rever mais adiante. Nesse momento, a auxina é fundamental. Caso você esteja com dúvidas, reveja (Aula 26) como ocorre a resposta fototrópica mediada pelo receptor celular, conhecido como FOTOTROPINA. Nesse momento, nossa planta encontra-se em fase de plântula. Essa é a fase mais frágil do ciclo de vida das espécies vegetais.

Quando a plântula alcança a luz, o alongamento do caule é reduzido; isso permite que as reservas energéticas possam ser utilizadas na expansão foliar e na produção de substâncias essenciais às plantas, como a clorofila, de forma que a plântula possa começar a produzir seu próprio alimento. A redução do alongamento do caule ocorre graças aos receptores celulares que percebem a luz (Aula 26):

- criptocromo → sensível à luz azul
- fitocromo → sensível à luz vermelha e vermelho longo

No epicótilo (porção acima dos cotilédones), as folhas são produzidas pelo meristema apical do caule e os entrenós se alongam.

Diversas sementes da mesma espécie e de outras também germinaram com a abertura da clareira e com a conseqüente maior incidência de luz direta no solo. Mas assim como nossa plântula, várias outras sofreram ataques de herbívoros. Na nossa planta, esse tipo de ataque desencadeou a produção de terpenóides, o que desestimulou esses animais a continuar se alimentando dela (Aula 28). De uma grande quantidade de sementes germinadas apenas algumas atingiram a maturidade. Ainda bem que nossa planta conseguiu vencer mais essa etapa! Com o gasto de energia e de matéria-prima (esqueleto carbônico e nutrientes), seu crescimento ficou comprometido. Mas o que importa é sobreviver!

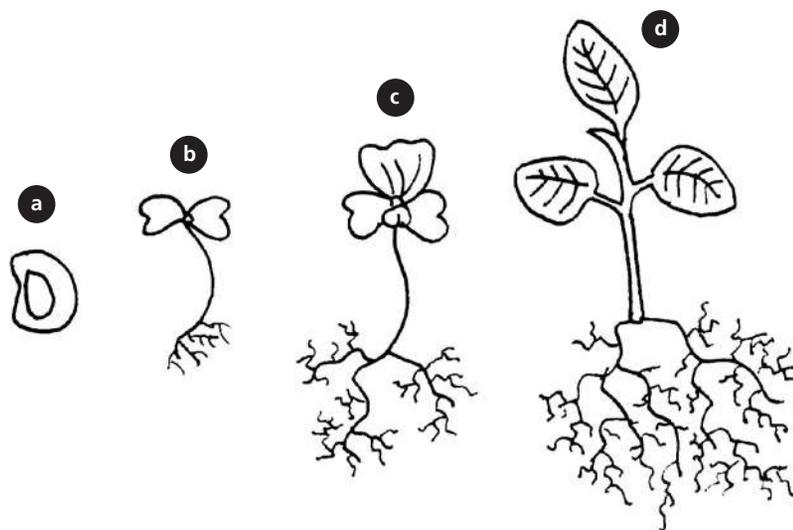


Figura 31.5: Desenho esquemático da semente (a), da plântula em três fases do desenvolvimento (b, c, d).

O CRESCIMENTO PRIMÁRIO

Você já aprendeu em Botânica I (Aula 6) que os tecidos responsáveis pelo crescimento primário das plantas são os meristemas apicais, isto é regiões que permanecem embrionárias, cujas células se dividem para formar todo o corpo das plantas.

Com o reinício das divisões durante a germinação, recomeça também o processo de DIFERENCIAÇÃO celular. Você já sabe que os meristemas apicais (caule e raiz) são responsáveis pelo crescimento primário das plantas. Mas como elas crescem? Ora, para que elas cresçam, é necessária a entrada de água nos vacúolos das novas células produzidas por divisões das iniciais meristemáticas. Com a entrada de água, as células sofrem aumento irreversível de volume; assim, a planta aumenta de tamanho. A auxina é responsável por aumentar a elasticidade da parede celular, permitindo sua expansão (Aula 20).



Lembre-se de que quando uma célula meristemática se divide em duas, uma das células-filha vai permanecer meristemática (inicial) e a outra vai sofrer diferenciação (derivada). Dessa forma, os meristemas se autoperpetuam, ou seja, sempre existirão células indiferenciadas (meristemáticas).

Com o processo de diferenciação das células derivadas dos meristemas apicais, observamos o desenvolvimento dos três sistemas de tecidos que você já conhece: o SISTEMA DE REVESTIMENTO, O SISTEMA FUNDAMENTAL E O SISTEMA VASCULAR (Botânica I, Aulas 7, 8, 9 e 10). Assim, já temos todos os tecidos cumprindo suas funções: a EPIDERME revestindo e protegendo todos os órgãos da planta (Botânica I, Aula 7); o XILEMA levando a água absorvida pela raiz para todas as células (Botânica I, Aulas 9 e 20); o FLOEMA trazendo os produtos da fotossíntese para as regiões de consumo (Botânica I, Aulas 10 e 21); o PARÊNQUIMA, tecido fundamental das plantas e também onde estão localizados os cloroplastos, responsáveis pela fotossíntese (Botânica I, Aula 8); o COLÊNQUIMA e o ESCLERÊNQUIMA, responsáveis pela sustentação. Como você deve recordar, o colênquima é responsável pela sustentação das regiões que ainda estão se alongando e o esclerênquima pelas regiões mais velhas (mais distantes do ápice), onde o alongamento já cessou (Botânica I, Aula 8).

Voltamos a visitar nossa planta após uns 40 dias e vimos que ela cresceu muito. O sistema radicular se ramificou e se aprofundou, espalhando-se cada vez mais no solo, a fim de absorver água e substâncias nela dissolvidas, além de ancorar a planta. Vimos que a DOMINÂNCIA APICAL foi quebrada e as gemas axilares se desenvolveram e promoveram a ramificação do caule. Você deve se lembrar de que na axila de cada folha ocorre uma GEMA (Botânica I, Aula 23). Para recordar o papel da auxina na dominância apical, veja a Aula 21.

O arbusto se expande através da atividade das gemas axilares, que produzem novos ramos. Em cada ramo, novas folhas são formadas e se expandem para captar a luz necessária para a fotossíntese. O transporte basípeto (em direção à base) da auxina, que é produzida nos primórdios foliares e nas folhas jovens, influencia a formação de tecidos vasculares nos ramos que se alongam. A auxina influencia, também, a junção dos traços vasculares de folhas em desenvolvimento aos feixes vasculares no caule (Aula 21).

Na base das folhas da nossa planta existem glândulas que produzem secreções: são os nectários extraflorais. Essas secreções são ricas em açúcares e são coletadas por formigas. Durante as observações de campo, vimos a tentativa de um inseto comer uma folha de nosso arbusto, mas as formigas rapidamente se mobilizaram e o expulsaram. As formigas, então, defendem a planta em troca de comida. Percebemos aí uma relação mutualística entre as formigas e o nosso arbusto!

ESTRESSE HÍDRICO

Estamos em maio; vários dias extremamente quentes fizeram com que o solo onde germinou nossa planta, e que possui baixa cobertura vegetal, sofresse muita perda d'água. Isso causou a redução do POTENCIAL HÍDRICO do solo. A plântula, por sua vez, começou a sofrer estresse hídrico, o que ficou claro pela aparência um tanto murcha das folhas. Colocando esmalte na face abaxial das folhas, aguardando uns minutos para que seque, retirando-o e levando-o ao microscópio, observamos que os estômatos estão fechados. O ácido abscísico (ABA) foi o sinalizador para as células estomáticas do estado hídrico da planta.

Entretanto, poucos dias mais se passaram e observamos que, embora o solo ainda estivesse muito seco, as folhas já não estavam com aparência murcha. Sabemos que foi o fechamento estomático que permitiu a elas o aumento do potencial hídrico. Voltamos a colocar uma película de esmalte e observamos que as folhas estão com os estômatos abertos. Isso significa uma melhoria no estado hídrico geral da planta, ou seja, ela está conseguindo retirar água do solo, embora ele continue seco. Para tanto, a planta reduziu mais o potencial hídrico das células da superfície dos pêlos radiculares. É provável que essa redução tenha ocorrido graças ao mecanismo de OSMORREGULAÇÃO, que provoca o acúmulo de sais e de substâncias orgânicas naquelas células, aumentando a força osmótica e, assim, reduzindo o potencial hídrico a valores inferiores ao do solo. Isso permite que a planta retire mais água do solo. Novamente, o ABA foi o sinalizador para as células da raiz do estado hídrico da planta. Assim, nossa planta vence mais uma luta pela sobrevivência!



ATIVIDADE

3. Se você tivesse de criar uma hipótese para iniciar uma pesquisa, diria que plantas de deserto investem mais nos produtos da fotossíntese na produção de substâncias alelopáticas ou em proteínas que auxiliam na resistência à dessecação?

RESPOSTA

Proteínas que ajudam na resistência à dessecação.

COMENTÁRIO

Como se trata de uma planta de deserto, podemos concluir que ela sofre períodos de estresse hídrico e que é preciso sobreviver a eles; e também que não seria uma prioridade a exclusão de outras plantas a sua volta (alelopatia), pois a densidade de plantas no deserto é, em geral, baixa. Em ambientes extremos, os fatores abióticos, mais que a competição, limita o crescimento e o sucesso das espécies.

O CRESCIMENTO SECUNDÁRIO

A planta agora já está tão alta que o seu caule fino não suportaria um aumento da copa sem que ela tombasse; além disso, o xilema primário não daria conta de levar água para um número maior de folhas e ramos. Da mesma forma, o floema primário não seria suficiente para levar os produtos da fotossíntese realizada por um número maior de folhas. Assim, nas regiões mais antigas da raiz e do caule (as mais distantes dos ápices), teve início o crescimento secundário. Como você já viu em Botânica I, Aula 6, o crescimento secundário é promovido pelos meristemas laterais, O CÂMBIO VASCULAR e o FELOGÊNIO. Você deve se recordar de que a auxina estimula as células cambiais a se dividirem para formar elementos de xilema e floema secundários (Aula 21). Para recordar como o felogênio e o câmbio se instalam em caules e raízes, recorra às Aulas 18 e 23, Botânica I.



Não esqueça que os meristemas apicais continuam trabalhando, produzindo um grande número de folhas, as gemas axilares produzindo novos ramos, enquanto os meristemas laterais (câmbio e felogênio) promovem o engrossamento do tronco e das regiões mais antigas da raiz.

ATIVIDADE



4. É correto afirmar que todas as Angiospermas apresentam crescimento primário, mas só algumas apresentam crescimento secundário? Explique.

RESPOSTA COMENTADA

Sim, é correto. Todas as Angiospermas apresentam crescimento primário. No caso das espécies herbáceas, esse tipo de crescimento é responsável pela formação de todo o corpo da planta. No caso das espécies subarbusivas, arbustivas e arbóreas, o crescimento primário ocorre durante o início do seu desenvolvimento e, posteriormente, nas regiões mais jovens dos ramos caulinares e das raízes. Com relação ao crescimento secundário, as plantas herbáceas não o apresentam, enquanto as demais (subarbusivas, arbustivas e arbóreas) apresentam sempre.

A FLORAÇÃO

A nossa planta agora já é um arbusto e está prestes a atingir a maturidade. Dizemos que uma planta atingiu a maturidade quando ela é capaz de reproduzir-se sexuadamente. Para que a reprodução sexuada ocorra, a planta deve produzir flores. Entretanto, em função dos diversos ataques de herbívoros sofridos por nossa planta e pelo período de seca que ela passou, não observamos esse ano a produção de flores. Voltaremos no próximo para verificar.

Realmente, no ano seguinte, as inflorescências majestosas estão presentes (Figura 31.6). Vamos rever essa fase do desenvolvimento de uma planta.

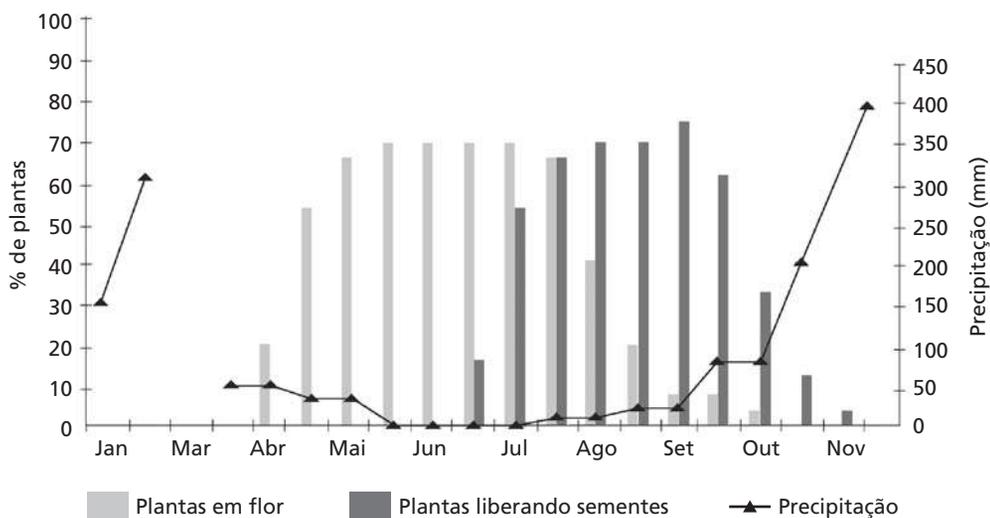


Figura 31.6: Porcentagem de plantas iniciando a floração e em estágio de liberação de sementes ao longo de meses.

Desenvolvimento floral

Após a evocação floral, os meristemas apicais do caule sofrem profundas modificações e passam a produzir, em vez de folhas, sépalas, pétalas, estames e carpelos, que constituirão as flores. Mas o que deu início à fase reprodutiva da nossa planta (evocação floral), ou seja, o que fez com que os meristemas apicais dessem flores? Existem fatores internos e externos que controlam o desenvolvimento da planta. Entre os externos, encontra-se a temperatura, que é percebida indiretamente pelo fotoperíodo, cujo receptor são os fitocromos (Aula 26). Isso porque no verão os dias são mais quentes e o período de luz é mais longo. O hormônio, ou conjunto de hormônios que leva a informação ao meristema apical é chamado florigeno. Entre os fatores internos encontra-se o estágio de desenvolvimento da planta (fase juvenil e fase adulta).

As flores estão dispostas em inflorescências racemosas do tipo cacho. O arbusto apresenta muitas flores abertas, disponibilizando grande quantidade de néctar aos visitantes que aparecem em muitas flores. Poderíamos pensar que os polinizadores estivessem transferindo pólen de uma flor para outra, na mesma planta, promovendo assim a autofertilização. No caso de nossa planta, entretanto, apresenta-se um mecanismo de **auto-incompatibilidade**, em que os grãos de pólen não germinam sobre estigma de flores da mesma planta! Pode se dizer, então, que todas as sementes formadas são originadas de FERTILIZAÇÃO CRUZADA.

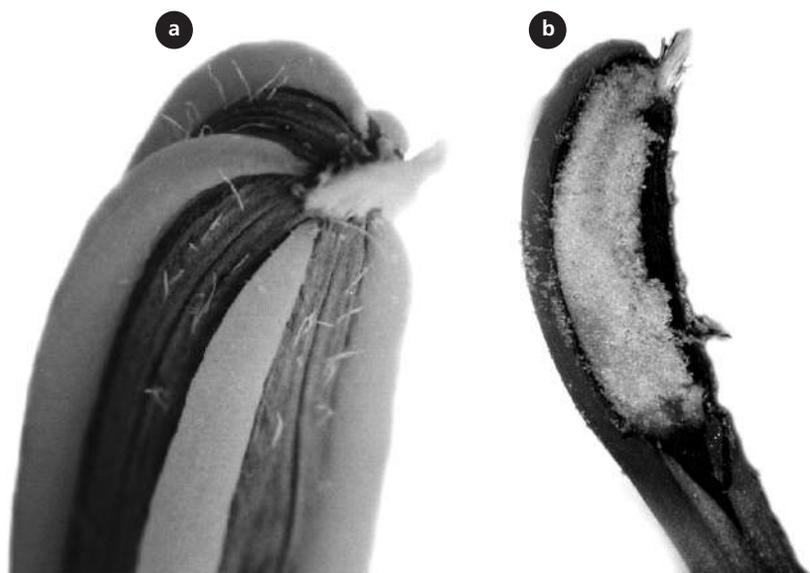


Figura 31.7: Órgãos reprodutivos masculinos, detalhe do tubo das anteras (as anteras são soldadas formando um tubo) (a), antera com grãos de pólen (b).



Figura 31.8: Órgãos reprodutivos femininos, detalhe do estigma e estilete saindo do tubo das anteras.



As plantas podem ser autocompatíveis ou auto-incompatíveis. As auto-incompatíveis só dão origem a sementes oriundas de fertilização cruzada e as autocompatíveis podem originar sementes tanto de fertilização cruzada como de autofertilização, pois os grãos de pólen da própria planta são capazes de fecundar os óvulos. Além disso, as plantas autocompatíveis podem se autopolinizar ou não.

OS GAMETÓFITOS

Masculino

Você deve recordar, na Aula 11, que enquanto os estames se desenvolvem, células dentro das anteras (Figura 31.9.a) sofrem meiose para produzir, cada uma, quatro micrósporos haplóides (Figura 31.9.b). Cada um deles vai se desenvolver em um grão de pólen (Figura 31.9.c). Os micrósporos sofrem posteriormente duas mitoses, produzindo um núcleo germinativo e dois núcleos reprodutivos (Figura 31.9.d, e). O gametófito masculino é constituído do grão de pólen com o tubo polínico e os três núcleos (Figura 31.9.e).

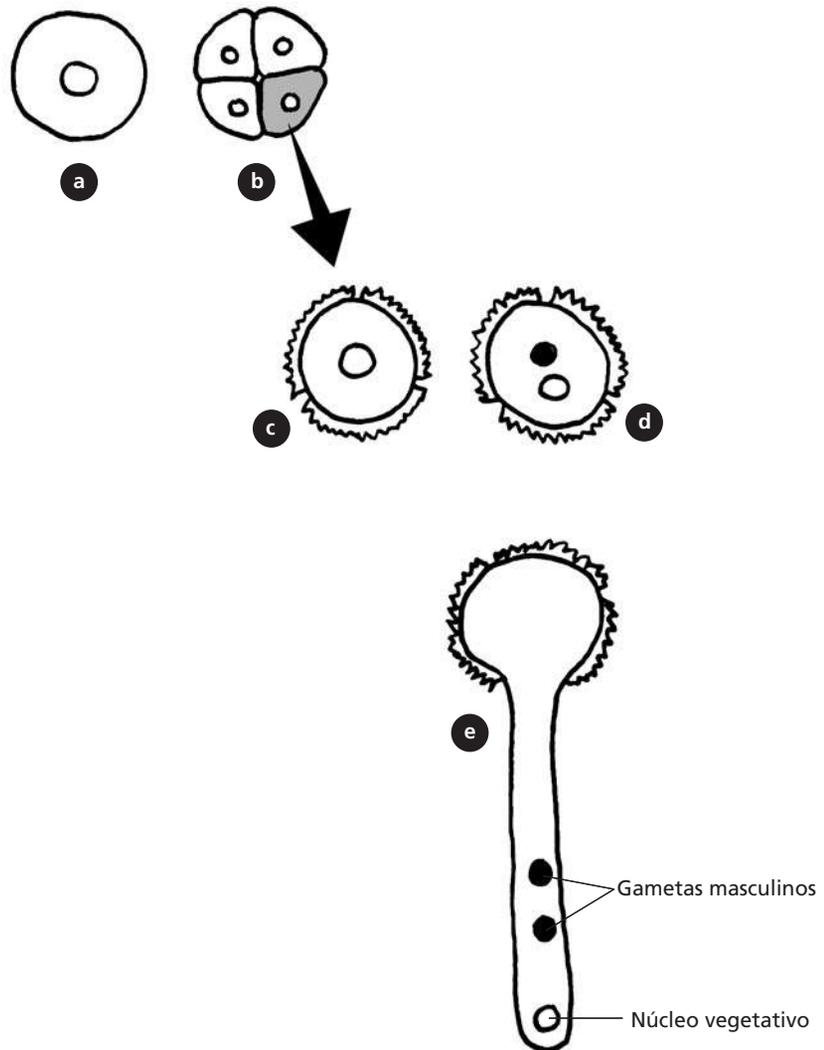


Figura 31.9: Formação dos micrósporos e, posteriormente, do gametófito masculino.

Feminino

Dentro do ovário (Figura 31.10), em cada rudimento seminal (óvulo), uma célula vai sofrer meiose. Das quatro células resultantes, três degeneram e uma sofre três mitoses para formar o saco embrionário, que é o gametófito feminino (Figura 31.11). O tubo polínico leva os dois núcleos reprodutivos (gametas masculinos) até o saco embrionário (Figura 31.11), onde um vai fecundar a oosfera (gameta feminino) e o outro vai fecundar o mesocisto (formado pela fusão dos dois núcleos polares) para desenvolver o endosperma triplóide.

A oosfera fecundada, ou zigoto, (Figura 31.2) representa o início da geração esporofítica e vai desenvolver-se no embrião.



Figura 31.10: Ovário cortado transversalmente expondo os inúmeros óvulos.

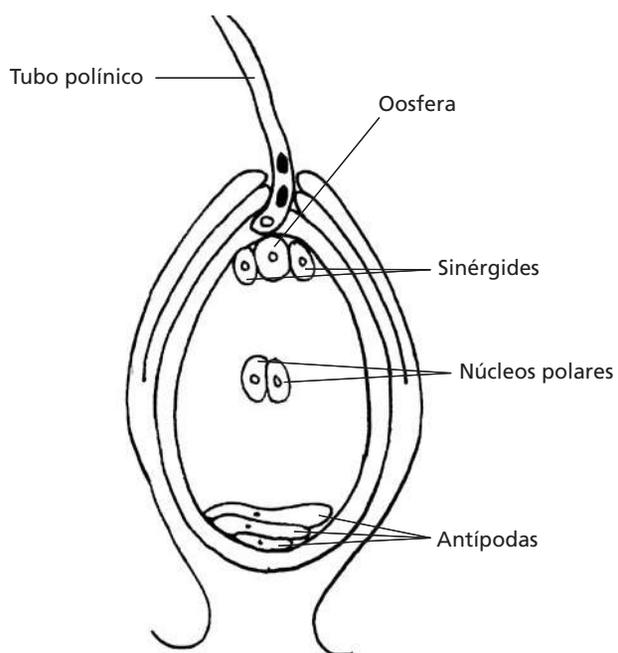


Figura 31.11: Gametófito feminino dentro de um rudimento seminal. Podem ser observadas as três antípodas, as duas sinérgides, a oosfera (gameta feminino) e os núcleos polares. Observa-se também o tubo polínico trazendo os dois gametas masculinos.

Planta parasita

APRESSÓRIO

Órgão de contato, de cujo interior surgem raízes finas, os haustórios – órgãos chupadores que penetram no corpo da hospedeira, absorvendo os alimentos.

Num certo dia de campo, vimos uma semente grudada num dos galhos de nossa planta. Ela veio nas fezes de um pássaro e rapidamente germinou, lançando uma raiz modificada, o **APRESSÓRIO**. Ela se chama erva-de-passarinho (Loranthaceae), pois ele é o vetor dessa semente. As folhas da erva-de-passarinho produzem clorofila, ou seja, elas são capazes de produzir glicose através da fotossíntese. Trata-se, portanto, de uma **hemiparasita**, pois suga água e sais minerais da planta hospedeira. Uns dias depois, observamos a presença de um grande número de formigas se alimentando da erva-de-passarinho, o que impediu que ela continuasse se desenvolvendo.

ATIVIDADE

5. Você então saberia dizer a qual tecido da planta hospedeira a raiz da planta parasita estaria conectada?

RESPOSTA

Ao xilema.

COMENTÁRIO

As folhas da erva-de-passarinho possuem clorofila e são capazes de produzir glicose através da fotossíntese; assim, a erva-de-passarinho precisa de uma planta hospedeira apenas para conseguir água e sais minerais. Trata-se, portanto, de uma hemiparasita, pois uma parasita propriamente dita retira também seiva elaborada, parasitando, dessa forma, o floema.



CONCLUSÃO

As plantas, como quaisquer outros seres vivos, estão sujeitas a dificuldades de ordem biótica e abiótica. Para sobreviverem e se reproduzirem, elas precisam criar barreiras morfológicas e fisiológicas a fim de não sucumbirem a essas pressões ambientais. As alternativas que surgiram ao longo da evolução das plantas, entretanto, diferem muito daquelas dos animais, principalmente porque nas plantas não encontramos comportamento que nos animais permite-lhes que busquem água, que cacem e fujam e que se acasalem. Talvez nas plantas possamos dizer que, juntamente com o crescimento vegetativo e reprodutivo, os metabólitos secundários cumpram esses papéis, pois são eles que protegem as plantas do Sol e dos herbívoros, e que enrijecem seus tecidos e atraem os polinizadores.

RESUMO

Durante a vida de uma planta, desde a produção de um novo esporófito até a maturidade reprodutiva, ocorrem diversos processos relacionados ao seu crescimento e desenvolvimento, os quais são fundamentais para sua sobrevivência. A partir de células meristemáticas, através de divisões seguidas de diferenciação, são formados os tecidos primários e secundários que cumprem as funções de revestimento, preenchimento, sustentação e condução. As divisões celulares, o crescimento e a diferenciação são regulados por substâncias denominadas hormônios, produzidos pelo metabolismo das células. Além dos fatores endógenos, as plantas precisam reconhecer e reagir a fatores ambientais como luz, umidade e temperatura. Precisam reconhecer também o centro de gravidade da Terra e combater ou deter patógenos, herbívoros e parasitas, utilizando-se, por vezes, de relações com outros seres. Esta aula permitiu rever os referidos processos, através do acompanhamento da vida de uma planta hipotética.

ATIVIDADE FINAL

Faça seu próprio glossário de termos botânicos. Para tal você deve definir todos os termos que foram escritos em letras maiúsculas nesta aula.

RESPOSTA

Os termos encontram-se definidos nos cadernos de Botânica I e Botânica II. É importante que você retorne ao texto, caso não consiga definir alguns termos.

AUTO-AVALIAÇÃO

Não deixe esta aula sem ter entendido todos os pontos, pois nela utilizamos vários conceitos trabalhados em Botânica I e Botânica II. Procure retornar às aulas em que você sentiu dúvida. Não se esqueça de que é uma boa oportunidade de rever e sedimentar melhor os conceitos de Botânica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chegamos ao final do estudo de Botânica, obrigatório em seu Curso; esperamos que você tenha se tornado mais ávido por observar e conhecer melhor o mundo vegetal. As disciplinas de Botânica lhe deram embasamento teórico e prático para compreender e distinguir os principais grupos de plantas, seus estádios de desenvolvimento, e de que forma elas respondem ao ambiente que as cerca. E, finalmente, mas não menos importante, é bom que você tenha compreendido que o Planeta, na forma que o conhecemos, depende inteiramente da vida vegetal. Esta é uma mensagem que precisa ser passada de maneira clara às novas gerações para que a espécie humana, num futuro próximo, não fique num beco sem saída.

Botânica II

Referências

Aula 21

SALISBURY, Frank B.; ROSS, Cleon W. *Plant Physiology*. 4.ed. California: Wadsworth, 1992. 682p.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Plant Physyology*. 3.ed. Suderland: Sinauer Associetes, 2002. 690p.

Aula 22

SALISBURY, Frank B.; ROSS, Cleon W. *Plant Physiology*. 4.ed. California: Wadsworth, 1992. 682p.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Plant Physyology*. 3.ed. Suderland: Sinauer Associetes, 2002. 690p.

Aula 23

SALISBURY, Frank B.; ROSS, Cleon W. *Plant Physiology*. 4.ed. California: Wadsworth, 1992. 682p.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Plant Physyology*. 3.ed. Suderland: Sinauer Associetes, 2002. 690p.

Aula 24

NULTSCH, Wilhelm. *Botânica geral*. 10.ed. Porto Alegre: ArtMed, 2000.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: ArtMed, 2004.

Aula 26

BRIGGS, W. R.; CHRISTIE, J. M. Phototropins 1 and 2: versatile plant-blue light receptors. *Trends in Plant Sciences*, v. 7, p. 204-210, 2002.

NULTSCH, Wilhelm. *Botânica geral*. 10.ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Aula 28

BRUIN, Jan; SABELIS, Maurice W.; DICKE, Marcel. Do plants tap SOS signals from their infested neighbours. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 10, p. 167-170, 1995.

BUCHANAN, B. B.; GRUÍSSEM, W.; JONES, R.L. Biochemistry and molecular biology of plants. *American Society of Plant Physiologists*, Rockville, Maryland, 2000. 1367p.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 690p.

Aula 29

GANDER, Eugen S.; MARCELLINO, Lucilia H.; ZUMSTEIN, Pidi. *Biotechnologia para pedestres*. Brasília,DF: Embrapa/SPI, 1996. 66p.

TORRES, Antonio Carlos; CALDAS Linda Styer; BUSO, José Amauri. *Cultura de tecidos e transformação genética de plantas*. Brasília,DF: Embrapa/SPI, 1998. 864p. 2v.

SITES RECOMENDADOS

ASSOCIAÇÃO Nacional de Biossegurança. Disponível em: <www.anbio.org.br>.

BIOTECHNOLOGY Industry Organization. Disponível em: <www.bio.org/aboutbio/guide2000/guide00_toc.html>.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Recursos Genéticos e Biotecnologia. Disponível em: <www.cenargen.embrapa.br>.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br>.

CONSELHO de Informações sobre Biotecnologia. Disponível em: <www.cib.org.br>.

ORGANIZACIÓN de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. LA Biotecnología en Alimentación y la Agricultura. Disponível em: <http://www.fao.org/biotech/index_glossary.asp?lang=es>.

REVISTA Biotecnologia Ciência e Tecnologia. Disponível em: <www.biotecnologia.com.br>.

SOCIEDADE Brasileira de Biotecnologia. Disponível em: <www.sbbiotec.org.br>.

Aula 30

BARBAULT, R. *Biodiversité: introduction à la biologie de la conservation*. Paris: Hachette, 1997. 159p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente dos Recursos Naturais Renováveis. *Primeiro Relatório Nacional para a Conservação sobre Diversidade Biológica, Brasil*. Brasília,DF: MMA, 1998. 283p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Convenção Sobre Diversidade Biológica*. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 19 nov. 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 19 nov. 2004.

PAIVA, Melquíades Pinto. *Conservação da fauna brasileira*. Rio de Janeiro: Interciência, 1999. 260p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro. *Atlas das Unidades de Conservação da Natureza do Estado do Rio de Janeiro*. São Paulo: Metalivros, 2001. 48p.

Aula 31

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, Beatriz.; CARMELLO-GUERREIRO, Sandra Maria. *Anatomia vegetal*. Viçosa: UFV, 2003.

NULTSCH, Wilhelm. *Botânica geral*. 10.ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

RAVEN, Peter; EVERT, Ray; EICHORN, Susan. *Biologia vegetal*. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ISBN 85-7648-041-7



9 788576 480419



UENF
Universidade Estadual
do Norte Fluminense



Universidade Federal Fluminense
uff



SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ministério
da Educação

