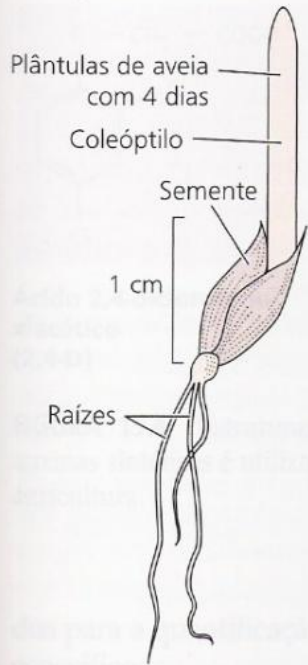
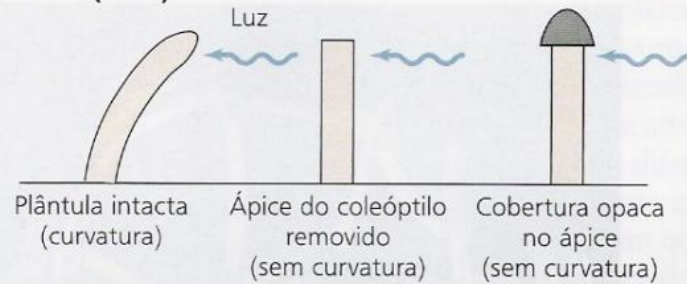


# **8. Movimentos de Crescimento**

Tropismos e Nastismos

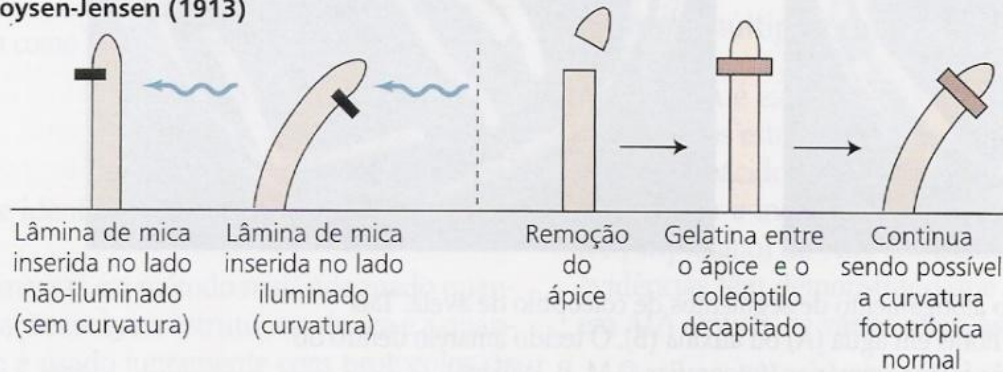


### Darwin (1880)



A partir dos experimentos de fototropismo em coleóptilos, Darwin concluiu, em 1880, que um estímulo de crescimento é produzido no ápice do coleóptilo e transmitido para a zona de crescimento.

### Boysen-Jensen (1913)



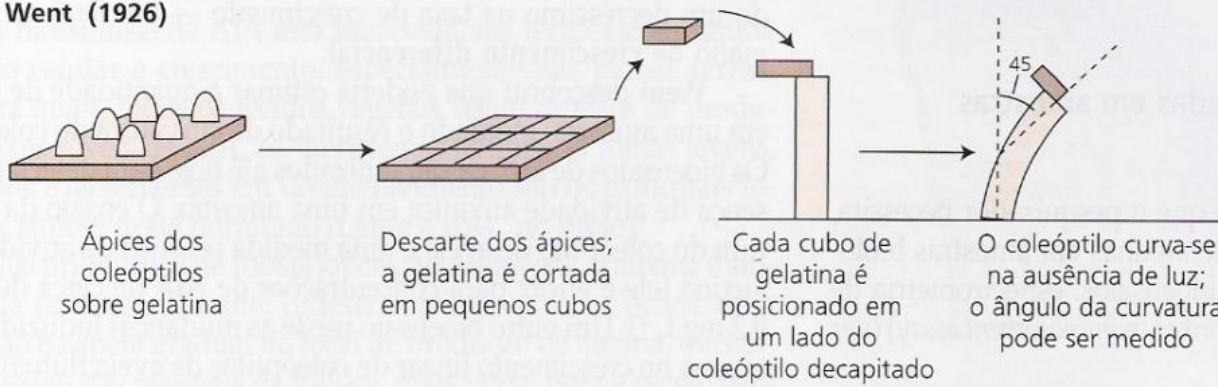
Em 1913, P. Boysen-Jensen descobriu que o estímulo do crescimento passava pela gelatina, mas não através de barreiras impermeáveis à água, como a mica.

### Paál (1919)

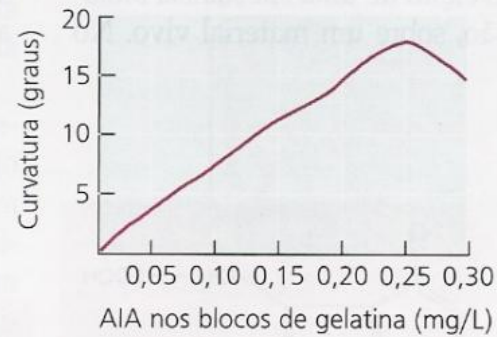
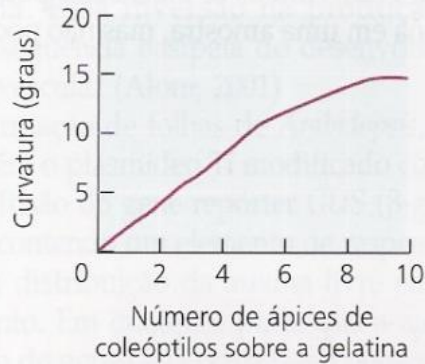


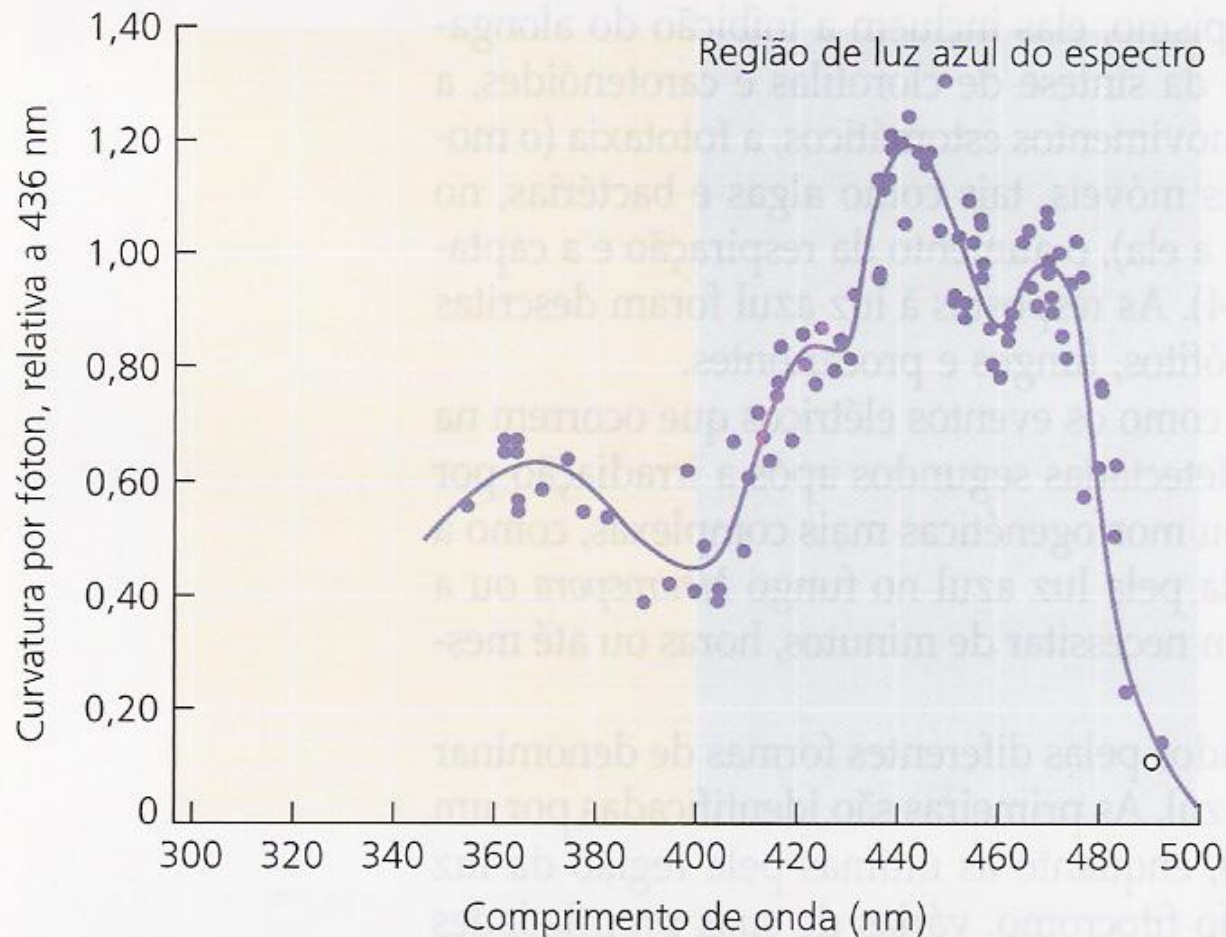
Em 1919, A. Paál forneceu evidências de que o estímulo promotor de crescimento produzido no ápice do coleóptilo era de natureza química.

### Went (1926)

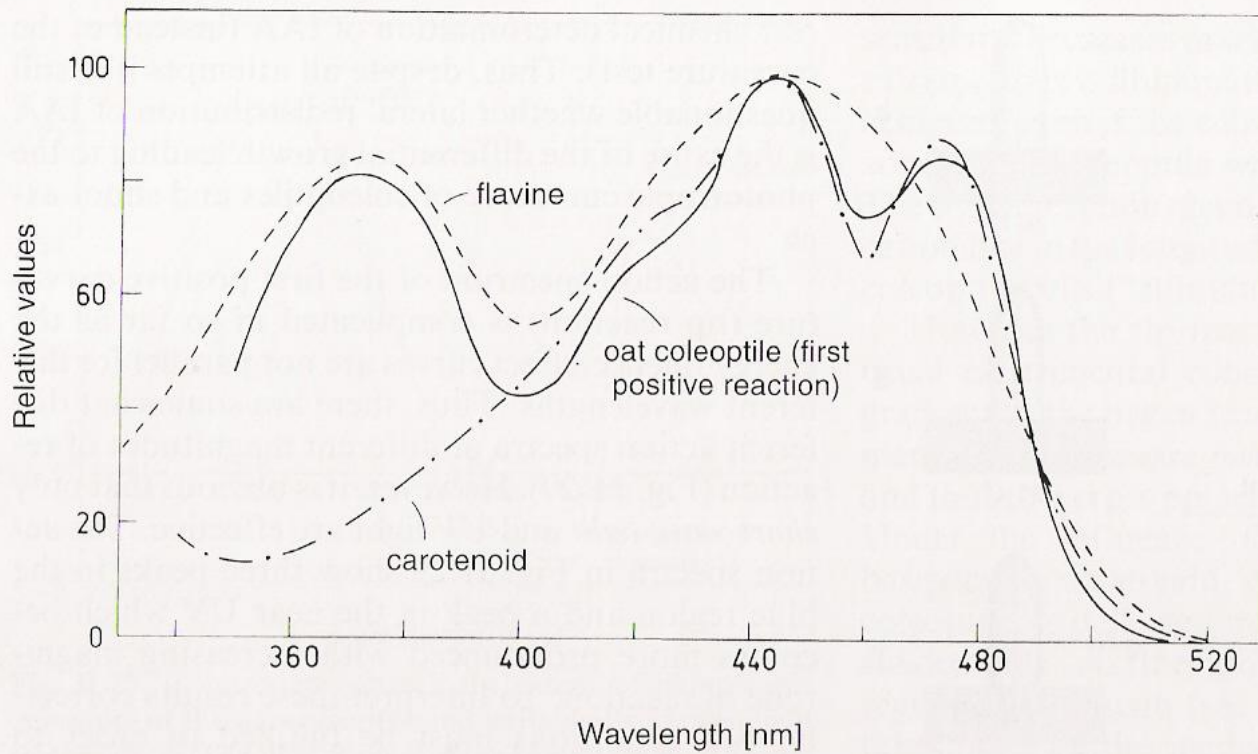


Em 1926, F.W. Went demonstrou que a substância ativa em promover o crescimento pode se difundir em cubos de gelatina. Ele descobriu, ainda, um ensaio de curvatura de coleótilo para análise quantitativa de auxina.





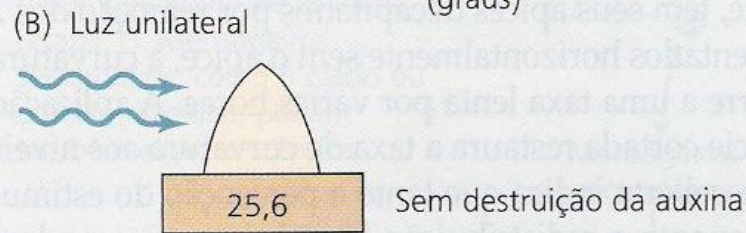
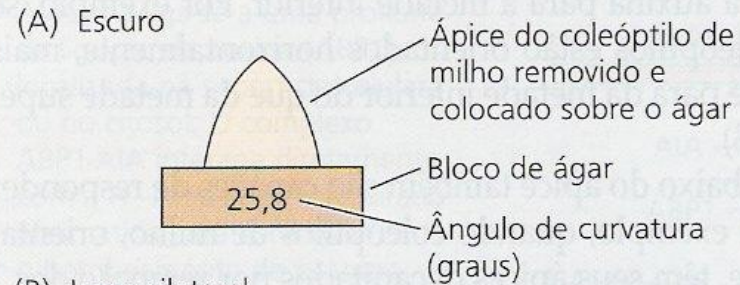
**FIGURA 18.1** Espectro de ação para o fototropismo estimulado pela luz azul, em coleóptilos de aveia. Um espectro de ação mostra a relação entre uma resposta biológica e os comprimentos de onda da luz absorvida. O padrão de “três dedos” na região dos 400 a 500 nm é característico de respostas específicas à luz azul (Thimann e Curry, 1960).



**Fig. 31.30.** Comparison of the phototropic action spectrum of the oat coleoptile (first phototropic curvature) and the absorption spectra of carotenoids and flavines. Only the

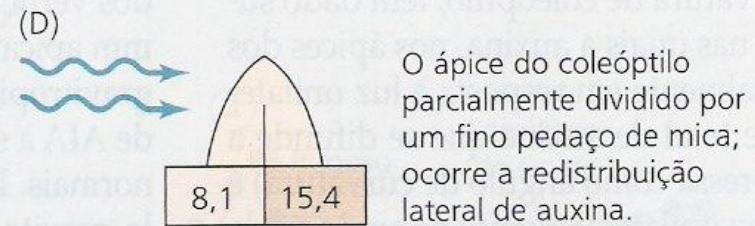
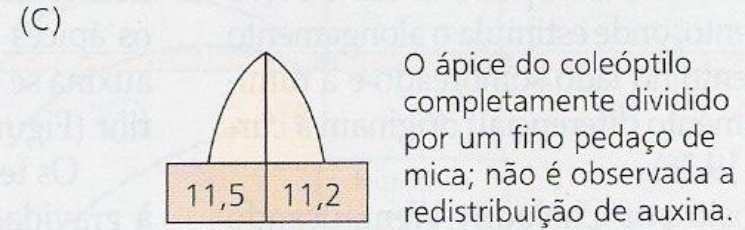
general characteristics have been considered. (After Shropshire and Withrow)

### Blocos de ágar não-divididos



A luz unilateral não causa fotodestruição da auxina no lado iluminado.

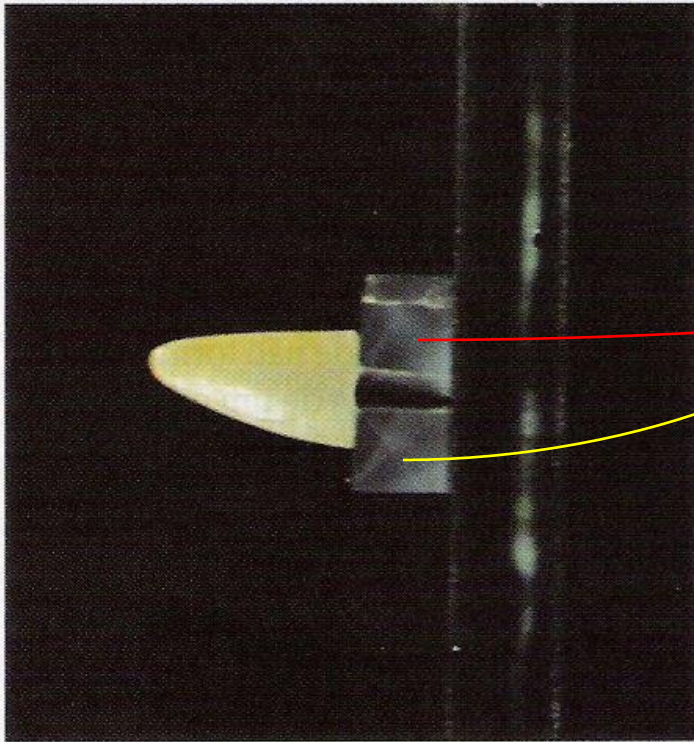
### Blocos de ágar divididos



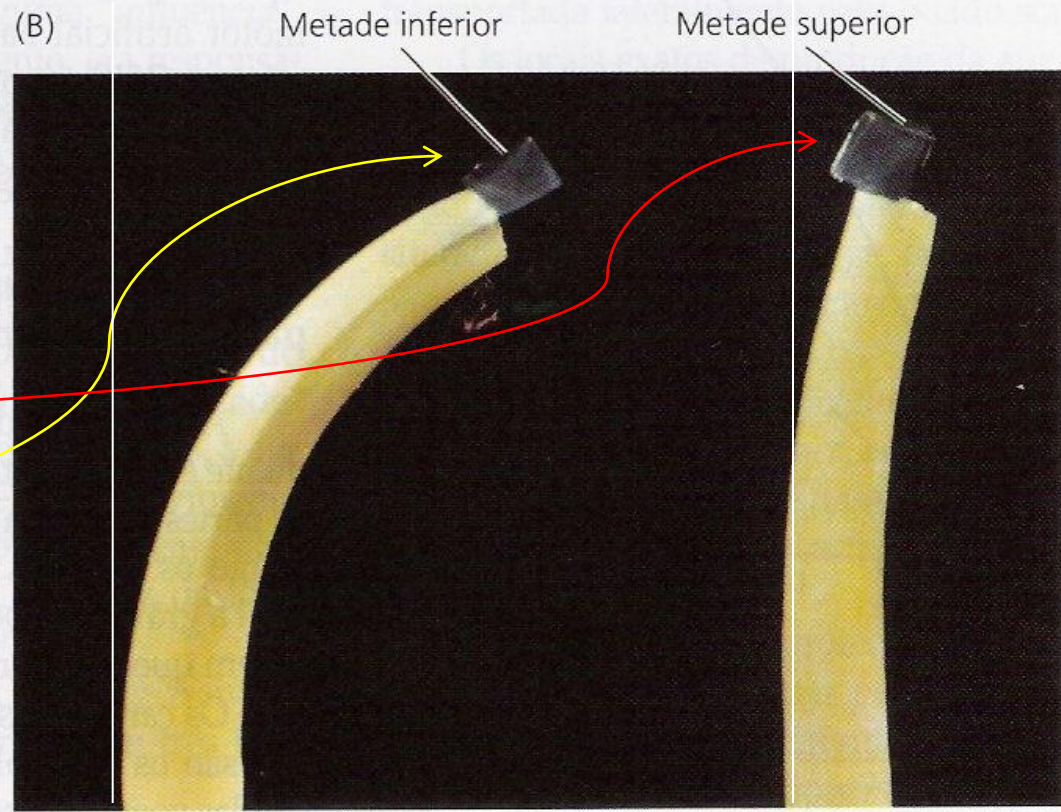
A auxina é transportada lateralmente para o lado sombreado na extremidade do coleóptilo.

**FIGURA 19.27** Evidência de que a redistribuição lateral da auxina é estimulada pela luz unidirecional em coleóptilos de milho.

(A)



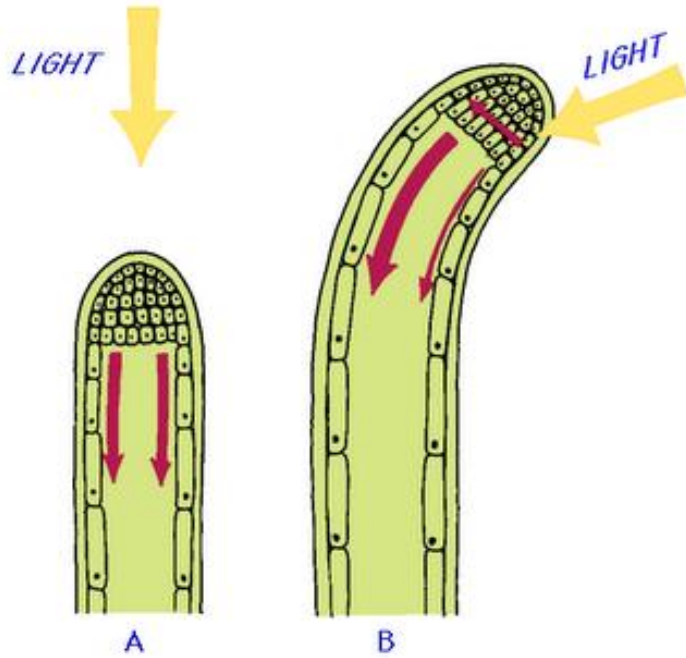
(B)



**FIGURA 19.28** A auxina é transportada para a região inferior da extremidade do coleótilo de aveia posicionado horizontalmente. (A) A auxina das metades superiores e inferiores de um ápice na posição horizontal difunde-se em dois blocos de ágar. (B) O bloco de ágar da metade inferior (esquerda) induz uma curvatura maior no coleótilo decapitado do que o bloco de ágar da metade superior (direita) (fotografia © M. B. Wilkins).

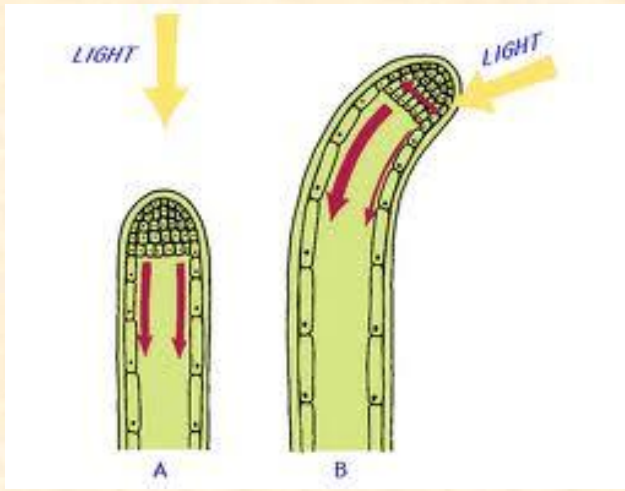


Experiência de  
Ciências do  
7º ano.



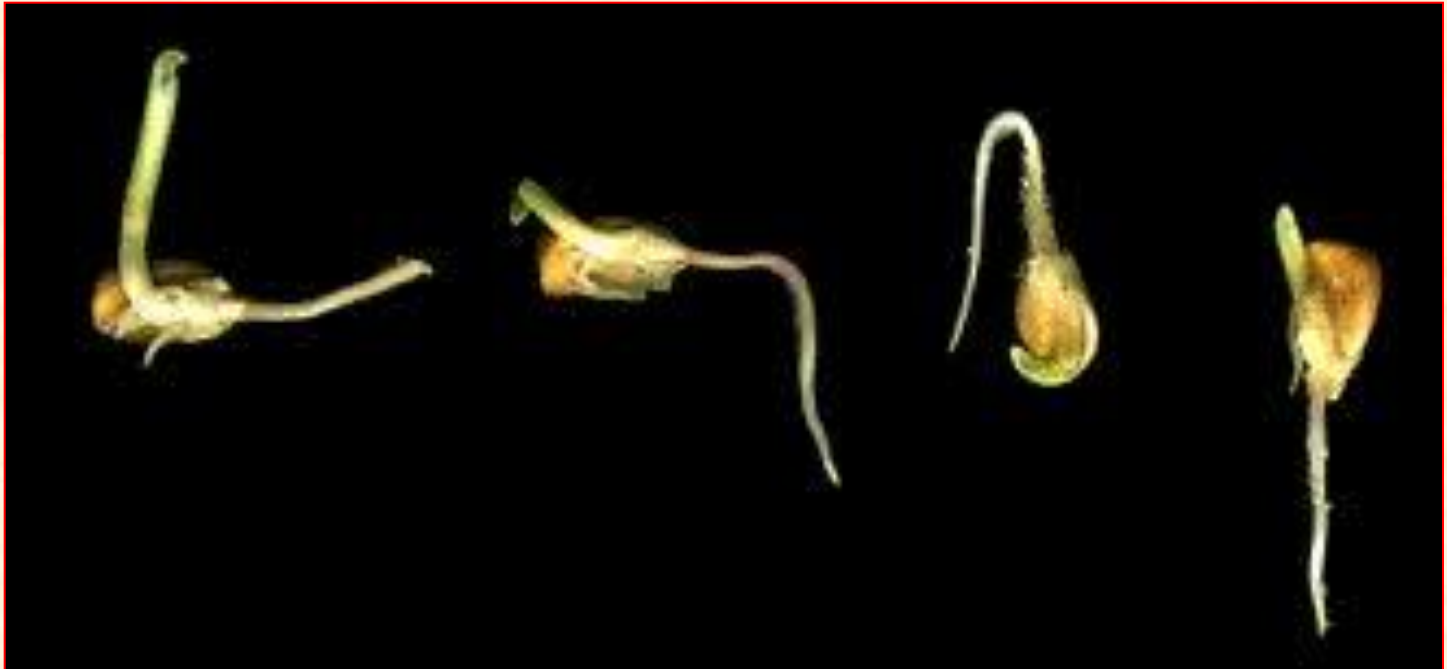
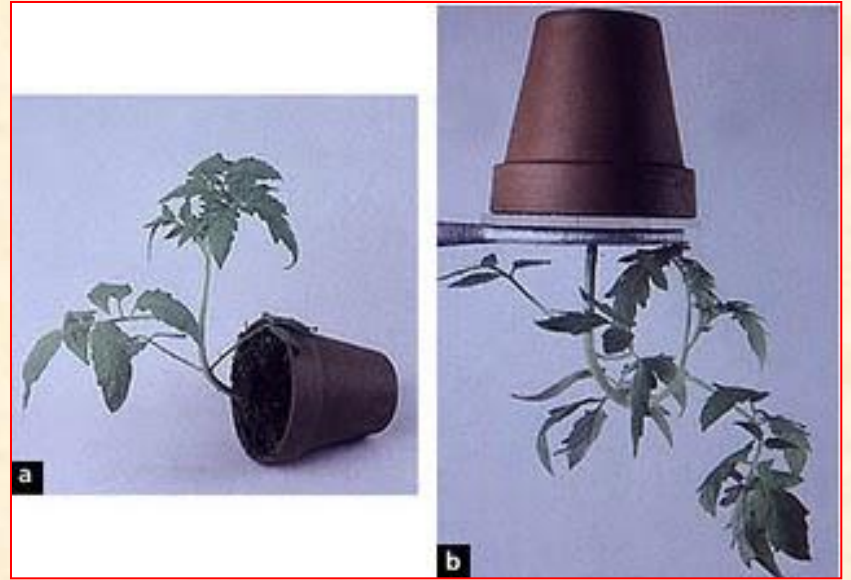
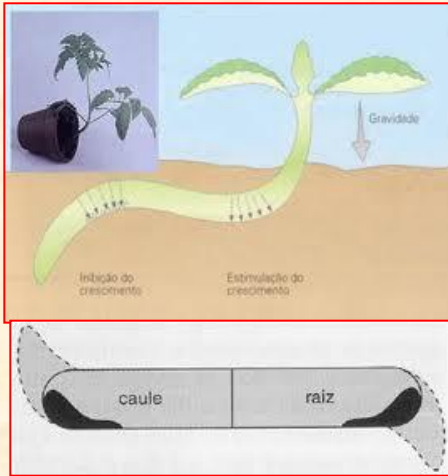


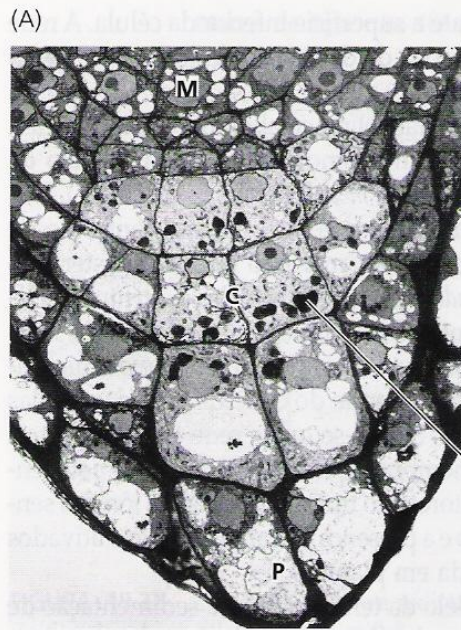




# Fototropismo





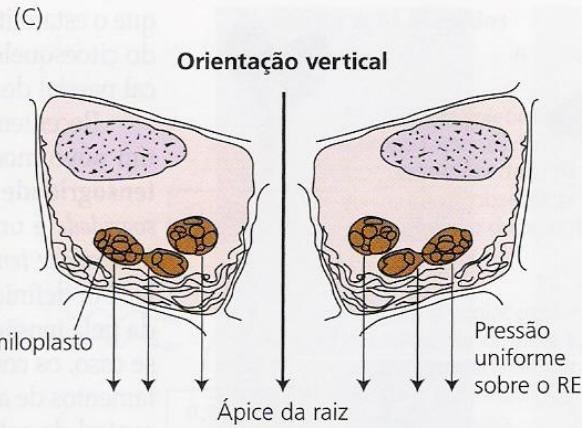


Estatólito

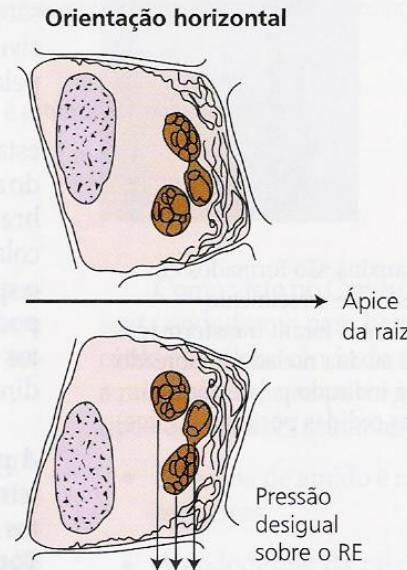


Estatólito

Retículo endoplasmático

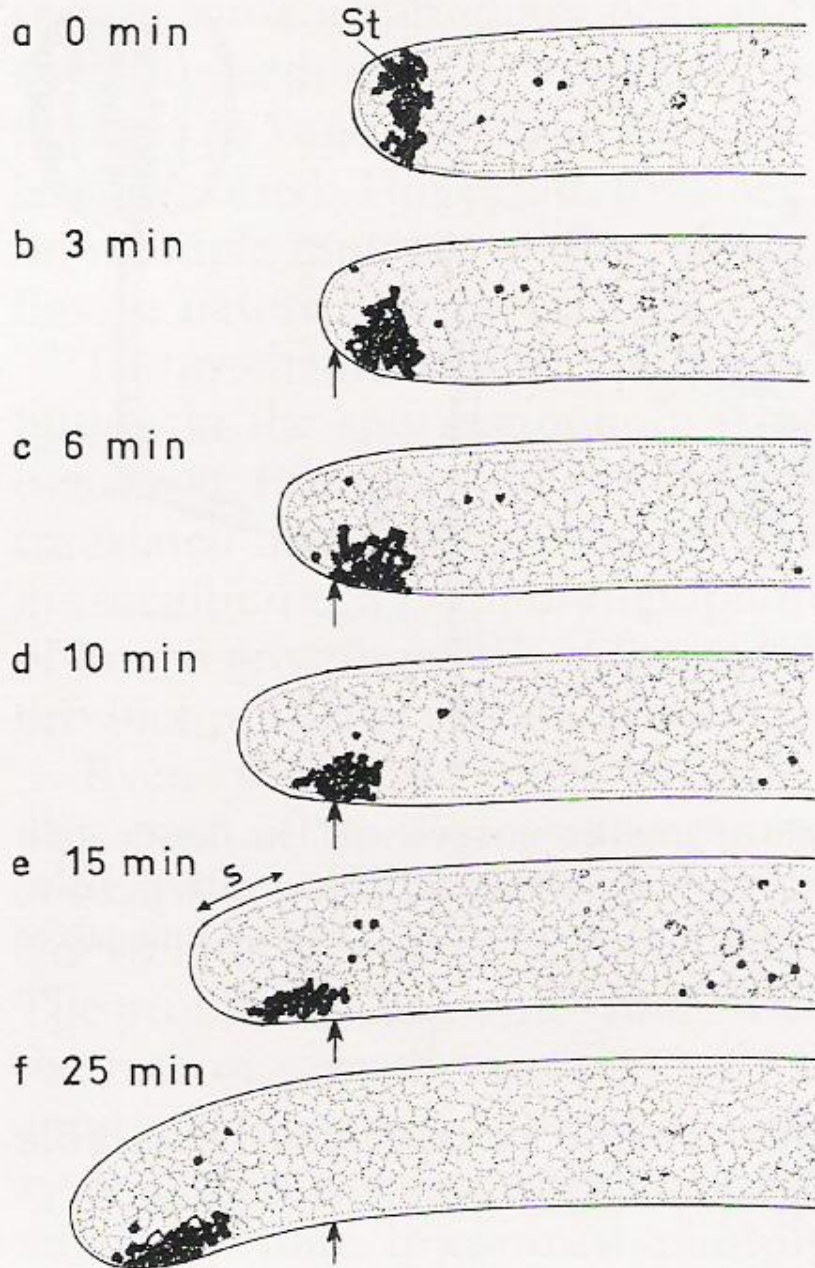


Os amiloplastos tendem a sedimentar em resposta à reorientação da célula e a permanecerem apoiados sobre o RE. Quando a raiz é orientada verticalmente, a pressão exercida pelos amiloplastos sobre o RE é igualmente distribuída.



Em orientação horizontal, a pressão sobre o RE é desigual em cada lado do eixo vertical da raiz.

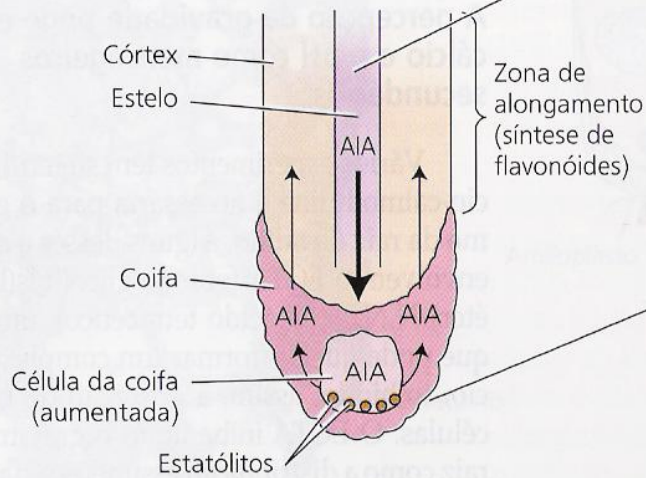
**FIGURA 19.30** A percepção da gravidade pelos estatócitos em *Arabidopsis*. (A) Electromicrografia da extremidade da raiz, apresentando o meristema apical (M), a columela (C) e as células periféricas (P). (B) Vista ampliada da célula da columela, indicando os amiloplastos sedimentados sobre o retículo endoplasmático na base da célula. (C) Diagrama das mudanças que ocorrem durante a reorientação da posição vertical para a horizontal (A, B cedidas por John Kiss; C, baseado em Sievers e cols., 1996, e Volkann e Sievers, 1979).



**Fig. 31.37 a–f.** Serial photographs of a rhizoid of *Chara foetida* after placing in the horizontal position at time  $t=0$ . The initial phase and the start of curvature are shown. *Arrows* indicate identical points on the cell wall. Curvature occurs in the new growth of the cell tip. The start of the reaction is marked by inhibition of growth at the lower surface (**d** and **e**, *arrows*). The upper surface (**e**, *area S*) flattens at the start of curvature. *St* Statoliths. (After Sievers and Schröter 1971.) Further descriptive information: At  $20^{\circ}\text{C}$  the rhizoid grows at a rate of approximately  $120\ \mu\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ . The nucleus is approximately  $250\ \mu\text{m}$  away from the tip. The more basal, older parts of the rhizoid contain the usual large central vacuole

*Estatólitos* =  $\text{BaSO}_4$

(A) **Orientação vertical**



1. O AIA é sintetizado na parte aérea e transportado pelo estelo até a raiz.

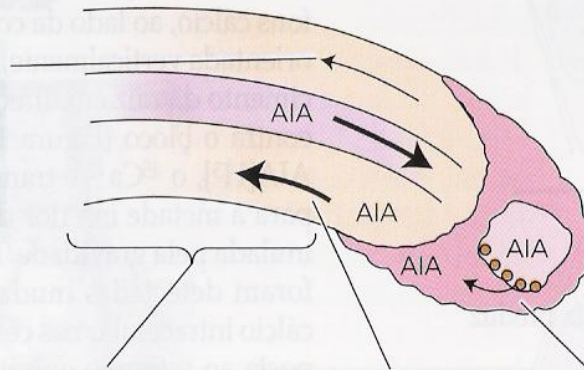
2. Quando a raiz está na posição vertical, os estatólitos da coifa sedimentam na base das células. A auxina, transportada em direção acrópeta na raiz através do estelo, é distribuída igualmente em ambos os lados da coifa. O AIA é, então, transportado em direção basípeta do córtex para a zona de alongamento, onde regula o alongamento celular.

**FIGURA 19.33** Modelo proposto para a redistribuição da auxina durante o gravitropismo em raízes de milho (Hasenstein e Evans, 1988).

**AUX**

(B) **Orientação horizontal**

6. O decréscimo de auxina na metade superior estimula o crescimento desta região. Como resultado, a raiz curva-se para baixo.

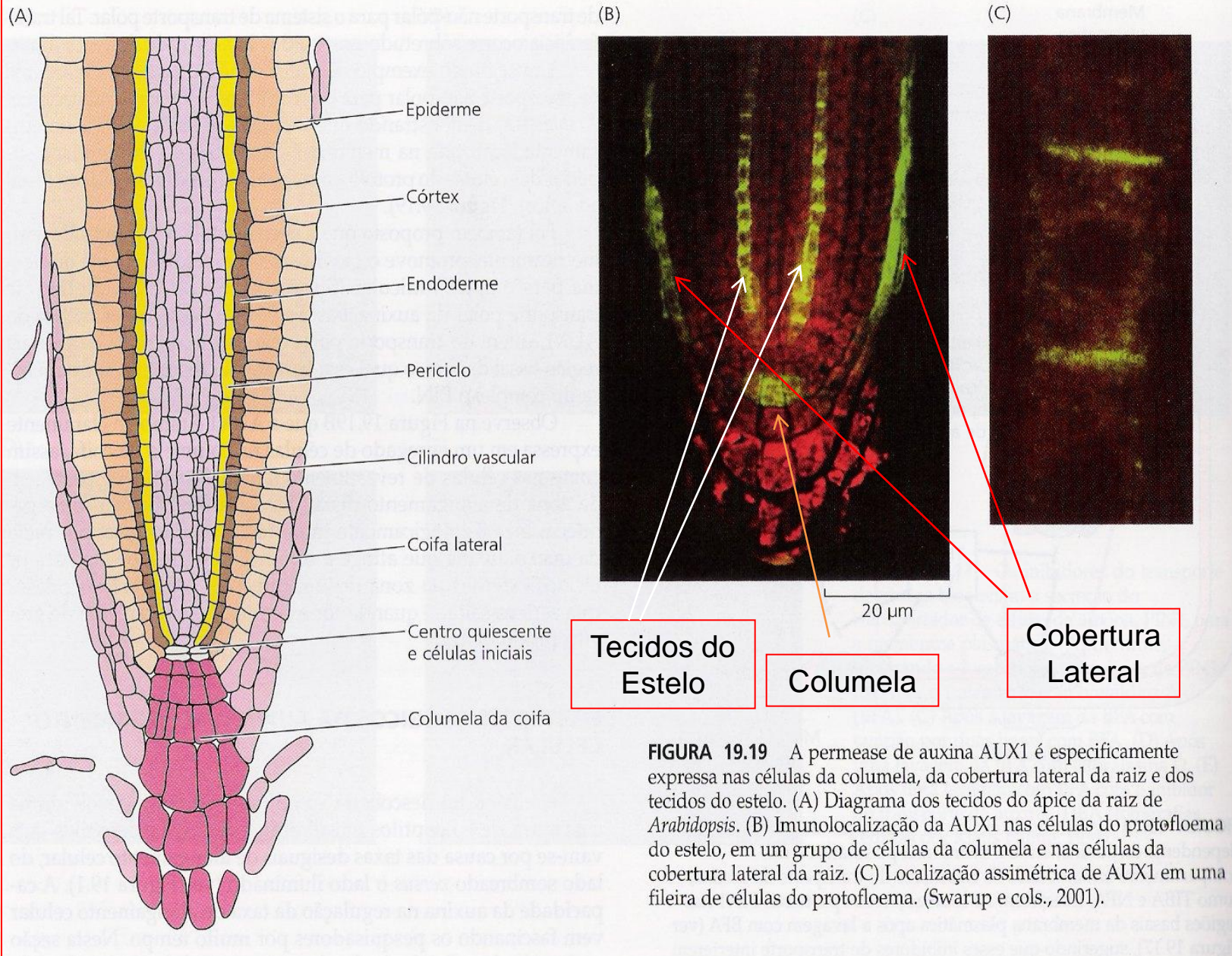


5. A alta concentração de auxina na metade inferior da raiz inibe o crescimento.

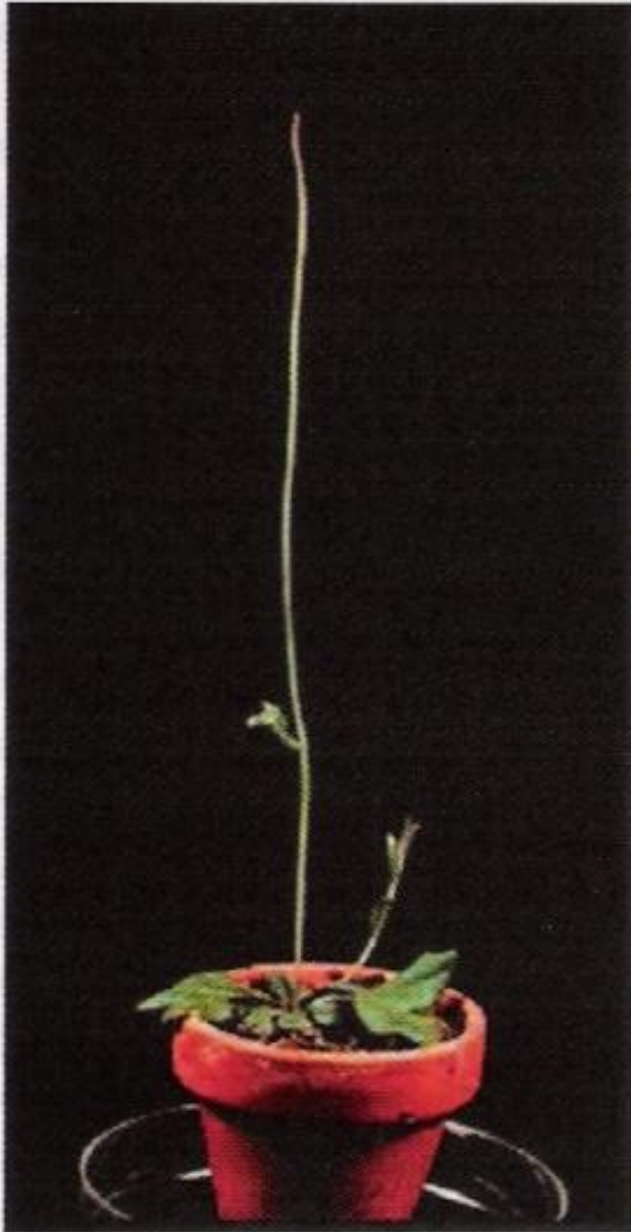
4. A maior parte da auxina da coifa é então transportada em direção basípeta no córtex na metade inferior da raiz.

3. Em uma raiz horizontal, os estatólitos sedimentam para a lateral das células da coifa, desencadeando o transporte polar de AIA para a metade inferior da coifa.

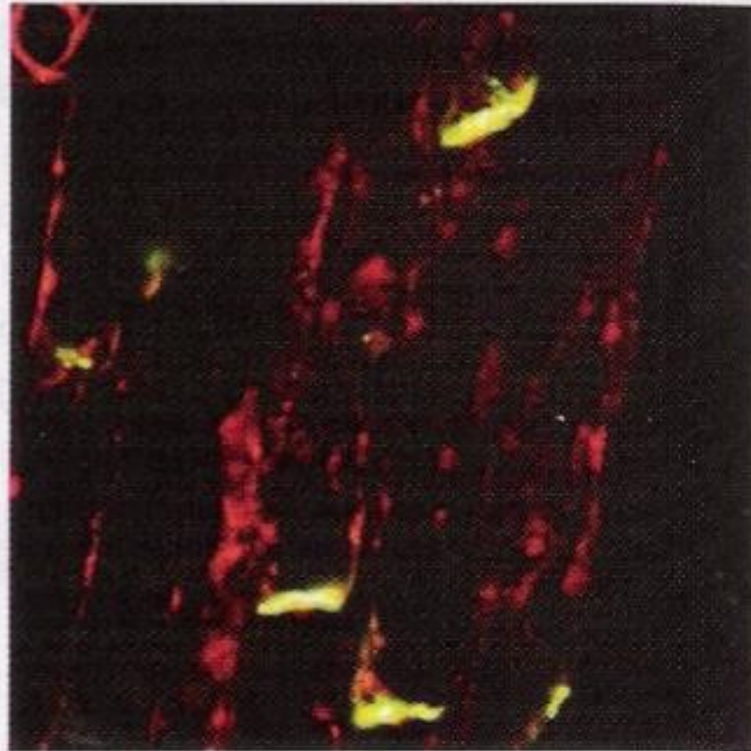
**PIN**



(A)



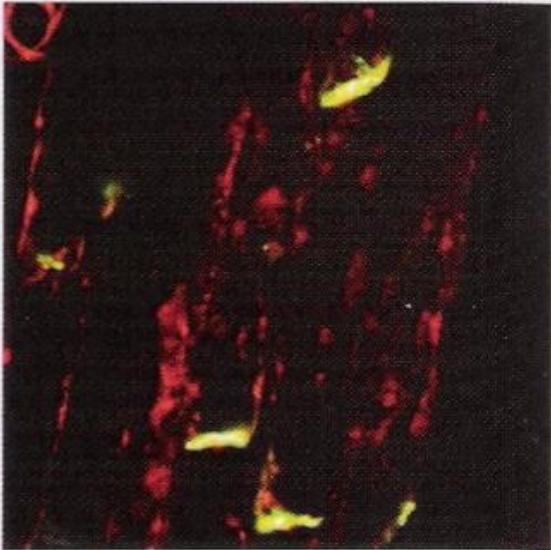
(B)



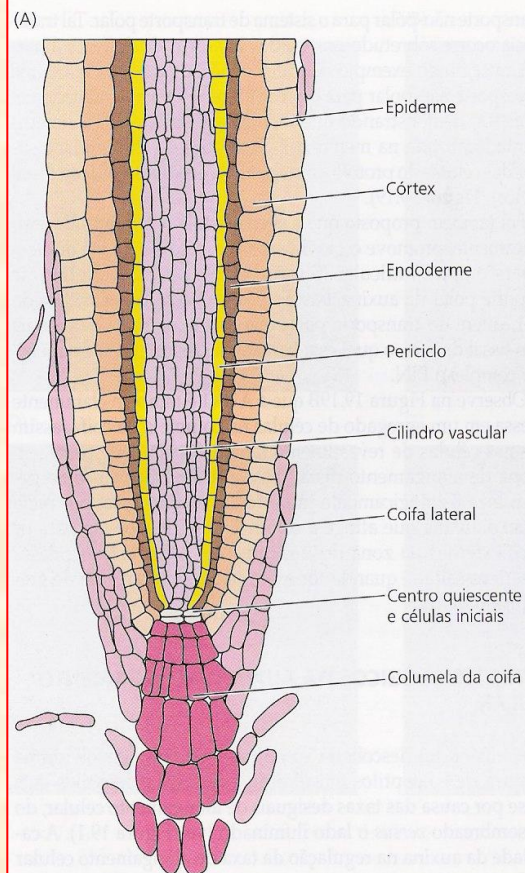
**FIGURA 19.14** O mutante *pin1* de *Arabidopsis* (A) e a localização da proteína PIN1 nas extremidades basais das células condutoras por microscopia de imunofluorescência (B) (cedida por L. Gälweiler e K. Palmer).



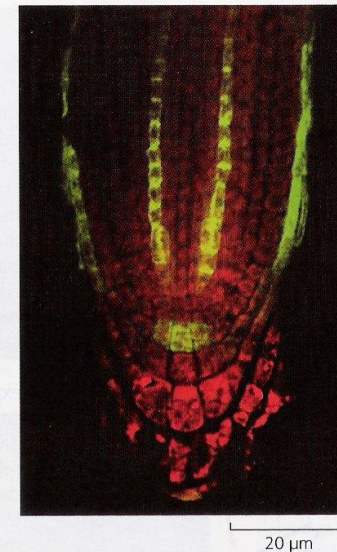
(B)



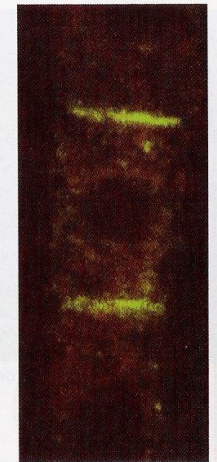
**FIGURA 19.14** O mutante *pin1* de *Arabidopsis* (A) e a localização da proteína PIN1 nas extremidades basais das células condutoras por microscopia de imunofluorescência (B) (cedida por L. Gälweiler e K. Palmer).



(B)

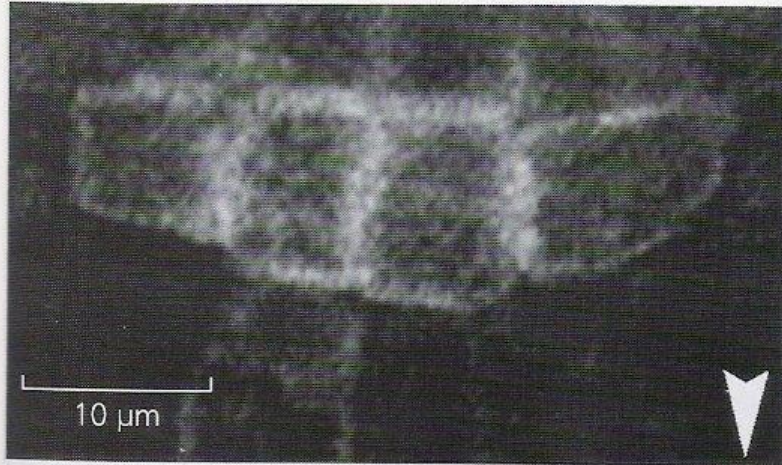


(C)

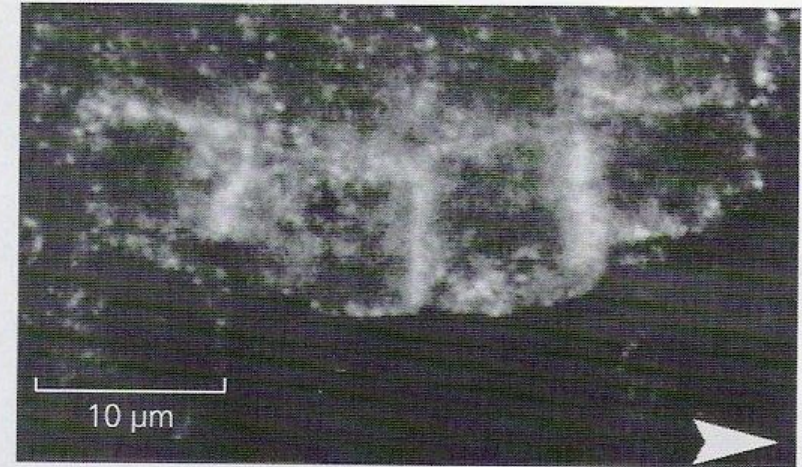


**FIGURA 19.19** A permease de auxina AUX1 é especificamente expressa nas células da columela, da cobertura lateral da raiz e dos tecidos do estelo. (A) Diagrama dos tecidos do ápice da raiz de *Arabidopsis*. (B) Imunolocalização da AUX1 nas células do protofloema do estelo, em um grupo de células da columela e nas células da cobertura lateral da raiz. (C) Localização assimétrica de AUX1 em uma fileira de células do protofloema. (Swarup e cols., 2001).

(A) Orientação vertical



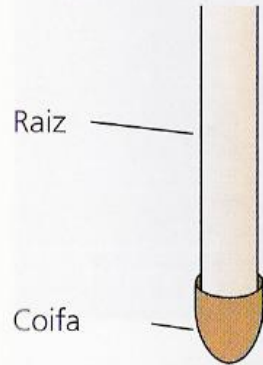
(B) Orientação horizontal



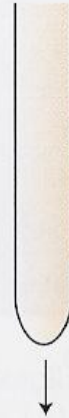
**FIGURA 19.34** Alteração da localização do transportador PIN3 de efluxo de auxina durante o gravitropismo de raiz em *Arabidopsis*. (A) Em uma raiz orientada verticalmente, a PIN3 está distribuída de modo uniforme ao redor das células da columela. (B) Dez minutos após ser orientada horizontalmente, a PIN3 apresentou sua localização alterada para a metade inferior das células da columela. A fotografia em (B) foi reorientada de modo que o lado inferior está na direita (a direção da gravidade está indicada por setas) (Friml e cols., 2002, cedidas por Klaus Palme).

(A)

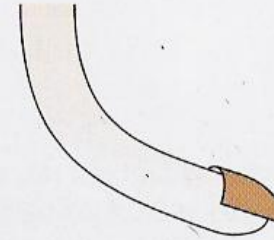
Raiz-controlre com a coifa, verticalmente orientada.



A remoção da coifa da raiz vertical estimula um pequeno crescimento por alongamento.

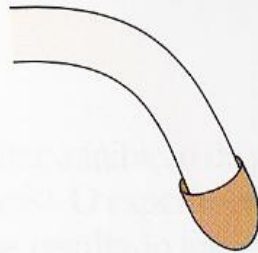


A remoção da metade da coifa leva à curvatura da raiz da posição vertical para o lado em que a coifa foi mantida.

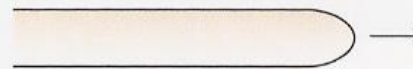


(B)

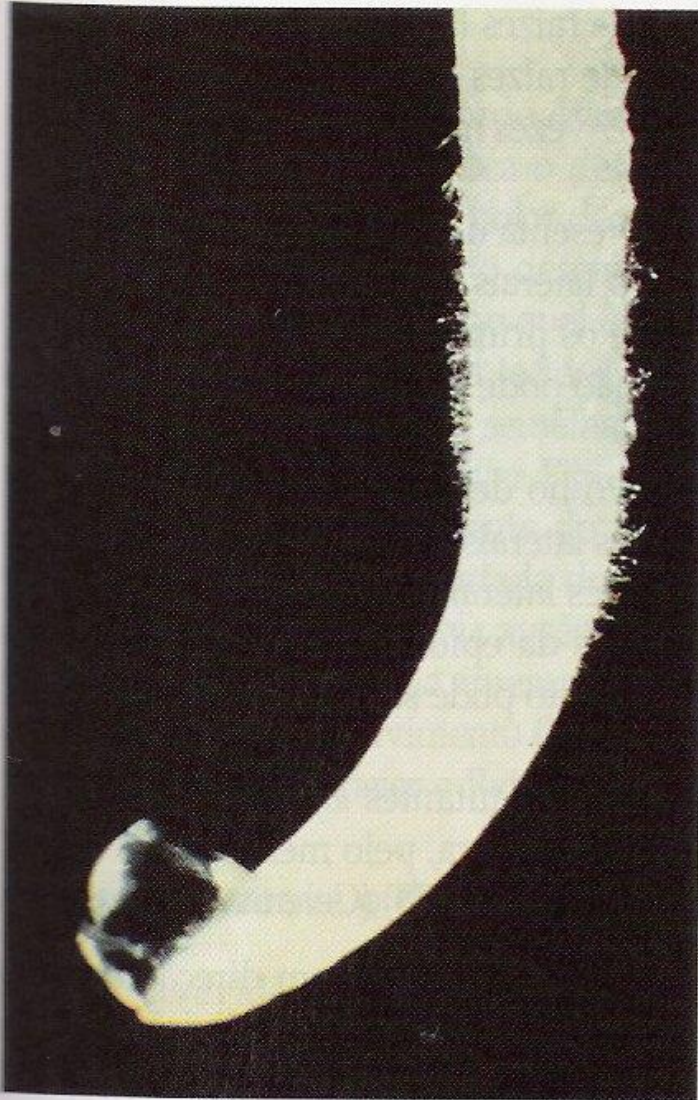
Raiz-controlre com coifa, orientada horizontalmente exibe curvatura gravitrópica normal.



A remoção da coifa de uma raiz na posição horizontal anula a resposta à gravidade, enquanto estimula um pequeno crescimento.

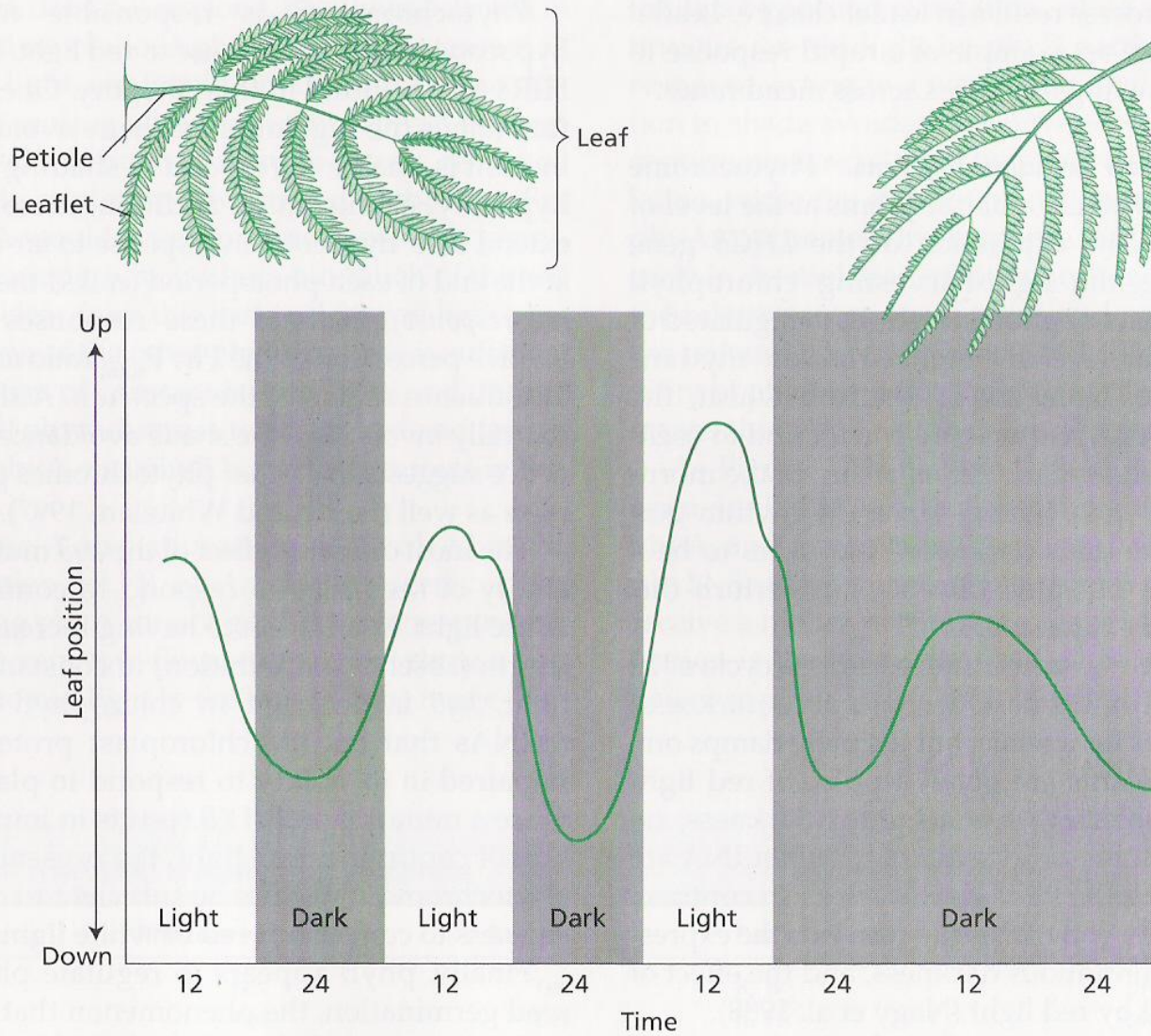


**FIGURA 19.31** Experimentos de microcirurgia demonstrando que a coifa produz um inibidor que regula o gravitropismo da raiz (Shaw e Wilkins, 1973).



**FIGURA 19.35** Uma raiz de milho com curvatura em direção ao bloco de ágar contendo cálcio, posicionado na coifa (cedida por Michael L. Evans).





## Nictinastismo

**Figure 17.14** Circadian rhythm in the diurnal movements of *Albizzia* leaves. The leaves are elevated in the morning and lowered in the evening. In parallel with the raising and lowering of the leaves, the leaflets open and close. The rhythm persists at a lower amplitude for a limited time in total darkness.



(a)



(b)

## Nictinastismo e Sismonastismo

### 29.25

Tigmonastia na planta sensitiva (*Mimosa pudica*). (a) Posição normal de folhas e folíolos. As respostas ao toque (b) resultam de mudanças na pressão de turgor em certas células nos espessamentos (pulvinulos) na base dos folíolos. O estímulo de um único folíolo é suficiente para a ocorrência da resposta (b).

*Mimosa pudica*





*Mimosa pudica*



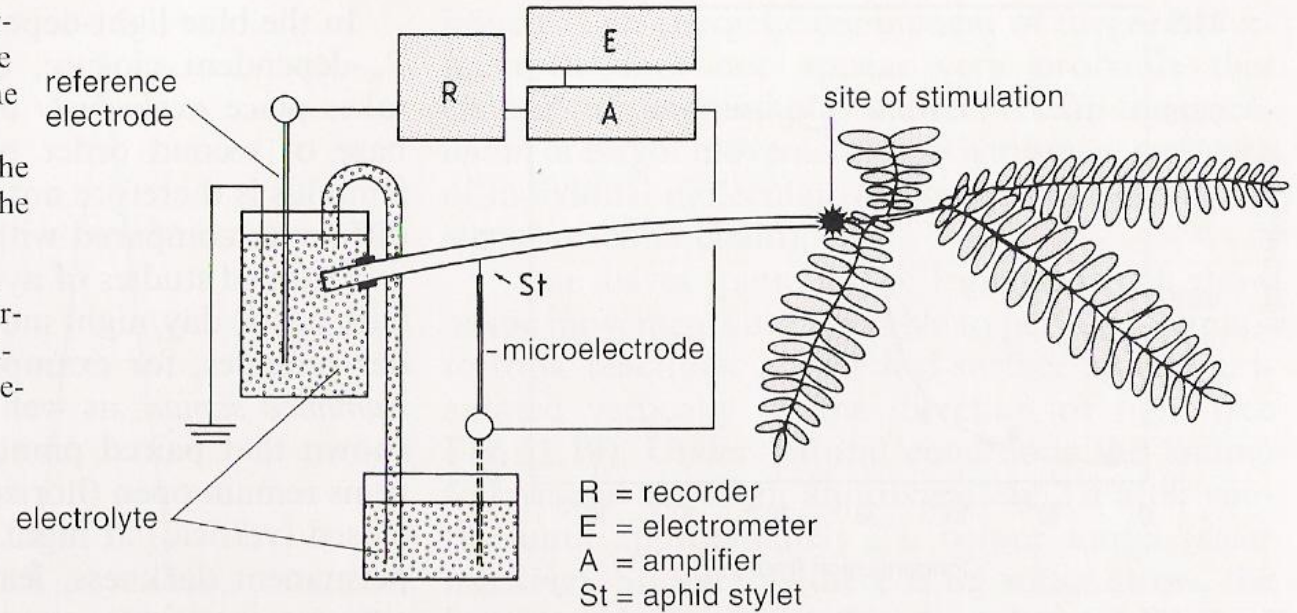
*Oxalis stricta*

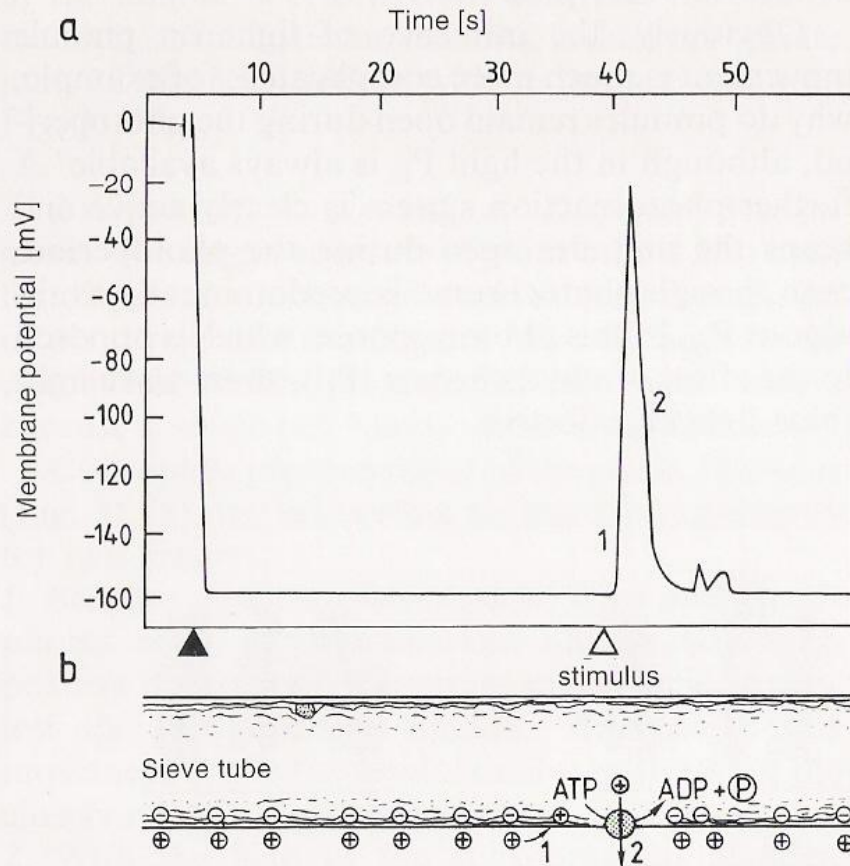


*Mimosa velloziana* Mart.



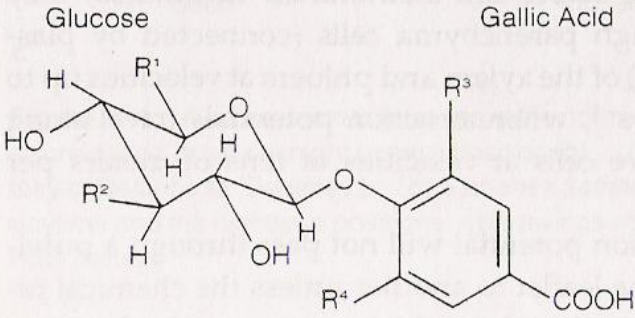
**Fig. 31.53.** Method of measuring the action potentials in the petioles of *Mimosa pudica*. The microelectrode is electrically connected with the inside of the sieve tube (see Fig. 30.6) via the stylet of an aphid, which has been excised by a laser beam. The microelectrode is short-circuited, via the electrolyte solution, to calibrate the electrometer. (After Eschrich 1989)



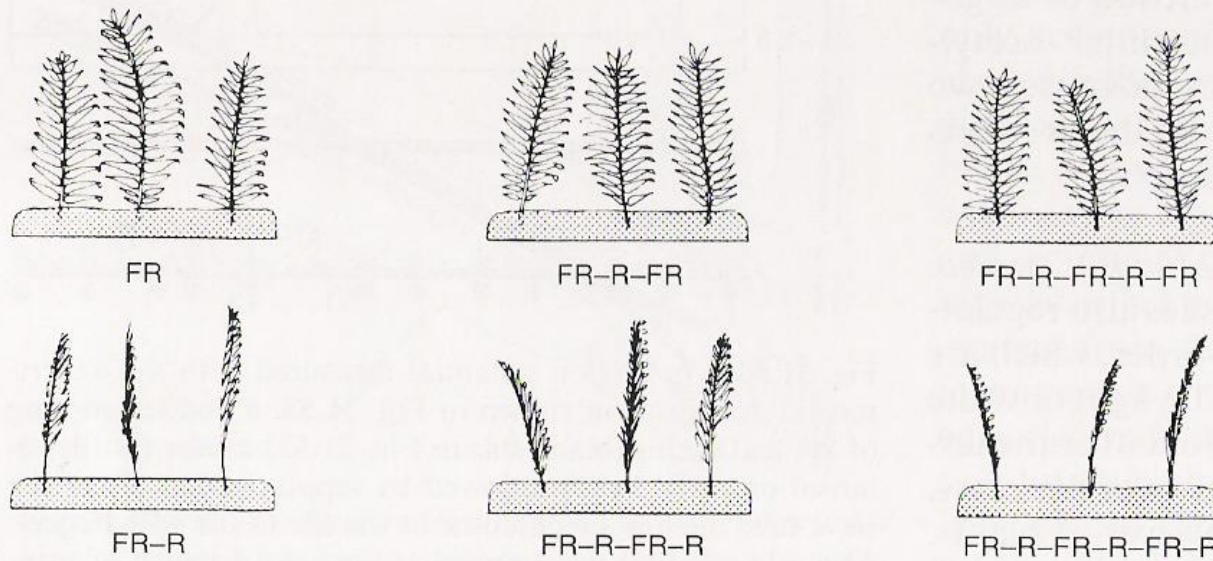


**Fig. 31.54 a, b.** Action potential measured with the experimental arrangement shown in Fig. 31.53. **a** Sudden cooling of the leaf rachis (black star in Fig. 31.53) causes fast depolarisation after 3 s (1) followed by repolarisation (2) of the sieve tube membrane potential at the site of the aphid stylet. The cold stimulus was applied at time  $\Delta$ ; the start of measurement was at time  $\blacktriangle$ . **b** Related ion fluxes through the sieve tube plasma membrane: Passive influx of positive charge carriers (1) followed by an active efflux of positive charge carriers via a cation pump (ATPase) (2). (After Eschrich 1989)

**Table 19-1 Molecular Structure of Several Turgorins along with the Minimum Concentration Required to Produce an Effect.**

	Turgorin	Structure				Minimum Conc. [mol/L]
		R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	R <sup>4</sup>	
 <p>Glucose</p> <p>Gallic Acid</p>	PLMF 1	CH <sub>2</sub> OSO <sub>3</sub> H	OH	OH	OH	$2.33 \times 10^{-7}$
	PLMF 2	CH <sub>2</sub> OSO <sub>3</sub> H	OSO <sub>3</sub> H	OH	OH	$1.96 \times 10^{-7}$
	S-PLMF 2	CH <sub>2</sub> OSO <sub>3</sub> H	OH	OH	H	$2.42 \times 10^{-6}$
	M-LMF 5	COOH	OH	OH	OH	$2.75 \times 10^{-6}$
	PLMF-synth	CH <sub>2</sub> OSO <sub>3</sub> H	OH	H	H	$2.51 \times 10^{-5}$
	LMF-synth	COOH	OH	H	H	$1.57 \times 10^{-3}$

Source: Schildknecht (1986).

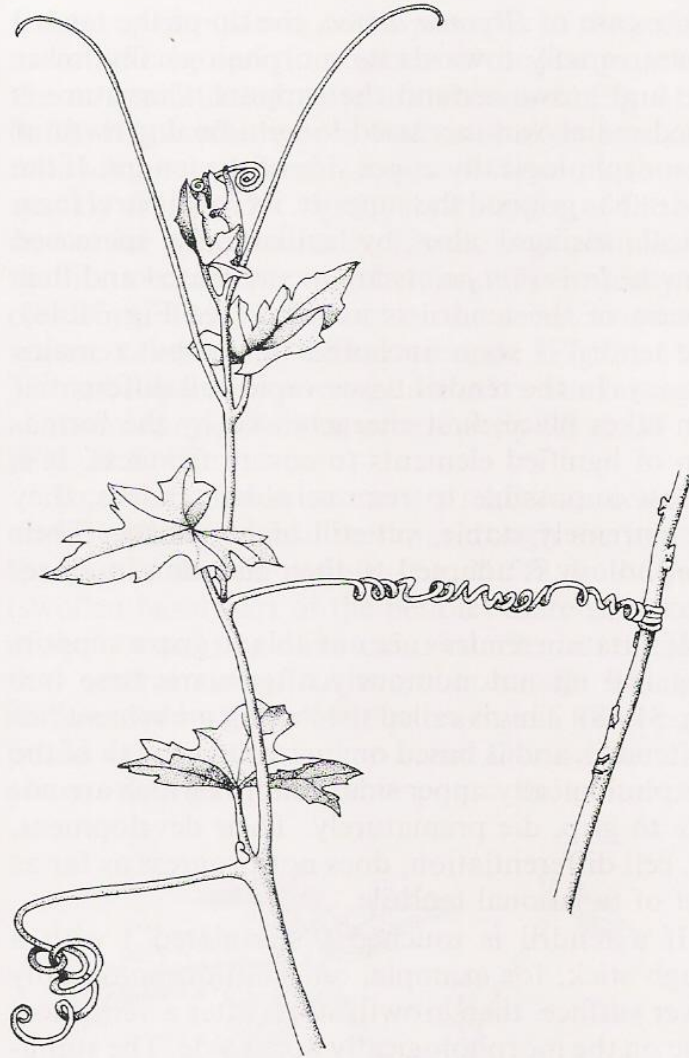


**Fig. 31.56.** Excised pinnules of the first order from *Mimosa pudica*, 30 min after the transition from intense white fluorescent light to darkness. Immediately after switching off the white light the pinnules were irradiated for 2 min each with a sequence of far red (FR) and red (R) light to convert the

phytochrome system to the  $P_{fr}$  or  $P_r$  form (see p. 347). Pinnules of the second order remain open if, practically, only  $P_r$  is present (after FR). They close if much  $P_{fr}$  is present (after R). (After Fondeville et al. 1966)

$F_V$  – folíolos abertos

$F_{VL}$  – Folíolos fechados



**Fig. 31.48.** A shoot of bryony (*Bryonia dioica*) with leaf tendrils in different developmental stages. The highest tendril is still rolled up. The next two tendrils are at the stage of *autonomous circumnutational movements*. In the *middle* a tendril has grasped a suitable support. The tendril, *bottom left*, which did not find a support, has already started rolling up because of aging

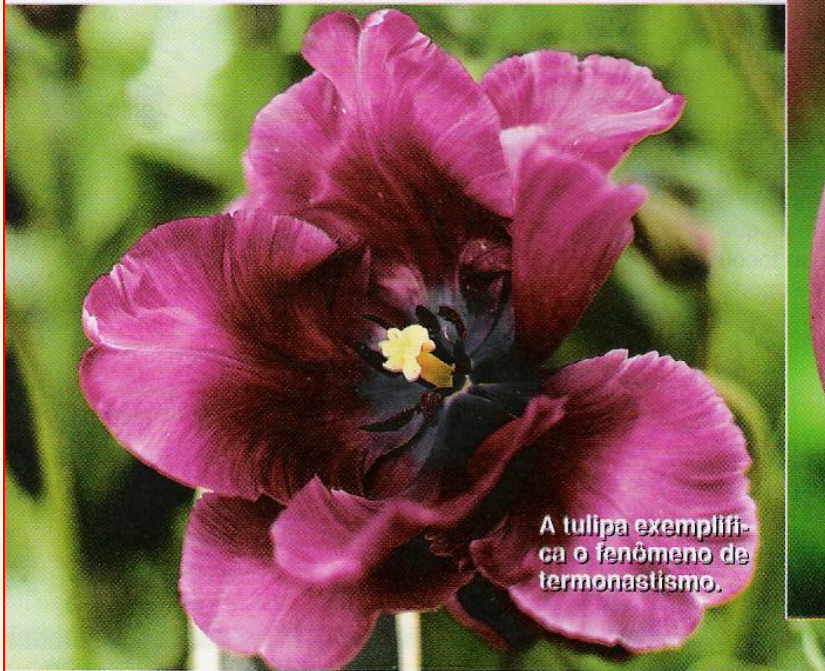


## ❖ Crescimento diferencial: quando um lado cresce mais que o outro

Durante a abertura de uma flor, a face superior das pétalas cresce mais que a face inferior, como consequência de diferentes taxas de crescimento das células (veja a Figura 35-12). Quando a luz é o agente estimulador, fala-se em **fotonastismo** e o movimento é, de modo geral, irreversível. Há casos, porém, em que ele pode ser periodicamente repetido como nas flores da *Victoria amazonica* (vitória-régia), que se abrem durante a noite e se fecham ao amanhecer. No **termonastismo**, variações de temperatura agem como agente estimulante. É conhecido o caso da tulipa, cuja flor se abre quando a temperatura ambiente sobe para determinado valor e se fecha quando a temperatura cai para um limite crítico.



PHOTOS.COM



A tulipa exemplifica o fenômeno de termonastismo.



Figura 35-12. A abertura de uma flor é um caso típico de nastismo.



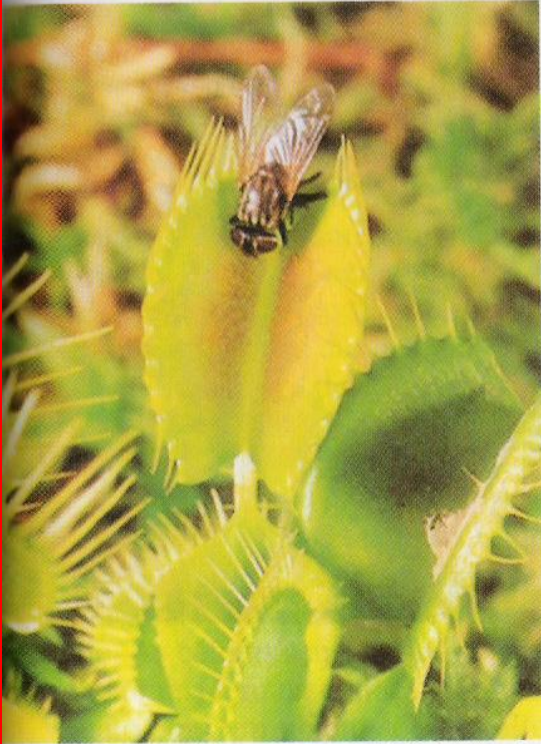
# *Dionaea muscipula*



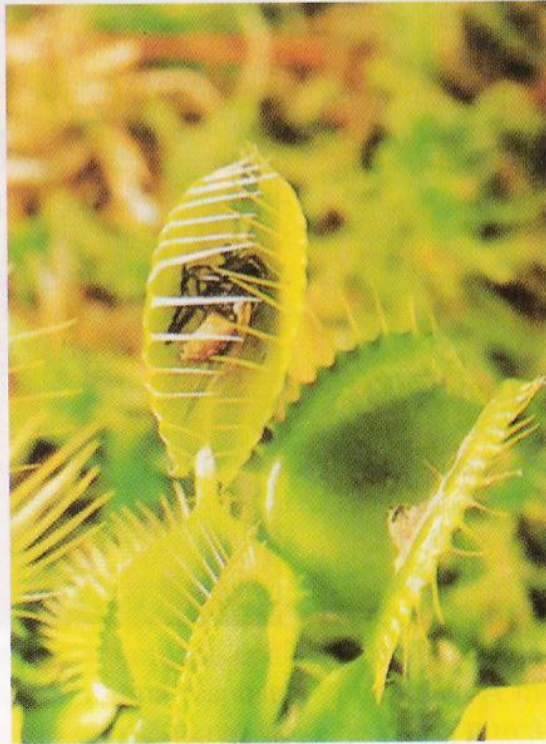


***Dionaea muscipula***

# *Dionaea muscipula*



(a)



(b)

## 29.26

Resposta ao toque na planta carnívora *Dionaea muscipula*. Aqui, uma mosca desprevenida, atraída por néctar secretado na superfície foliar, pode ser vista sobre uma folha antes (a) e depois (b) de seu fechamento. Cada metade foliar é equipada com três tricomas sensitivos. Quando um inseto caminha sobre uma das folhas, ele toca nos tricomas, desencadeando o fechamento da folha semelhante a uma armadilha. As margens denteadas aprisionam o inseto, as metades foliares gradualmente o esmagam e o inseto é prensado contra as glândulas digestivas na superfície interna da armadilha.

O mecanismo de armadilha é tão especializado que ele consegue distinguir entre uma presa viva e objetos inanimados, tais como seixos e pequenos gravetos, que caem nas folhas por acaso: a folha não se fecha, a não ser que dois de seus tricomas sejam tocados sucessivamente ou um tricoma seja tocado duas vezes.

*Nepenthes ventrata*



# Circunnação

