Fisiologia Vegetal Aplicada em Cana-de-Açúcar "Paulo Castro"

Translocação Orgânica: Transporte da Sacarose e Incorporação no Colmo

Prof. Dr. Willian Rodrigues Macedo

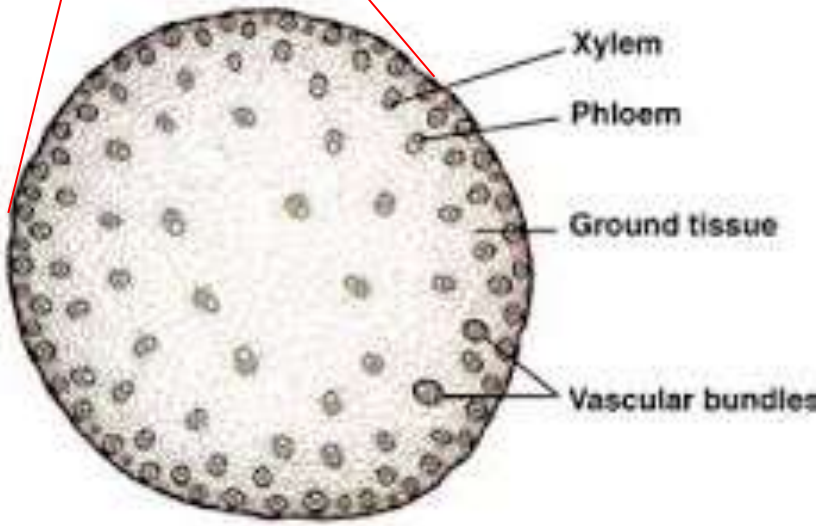
Universidade Federal de Viçosa – UFV

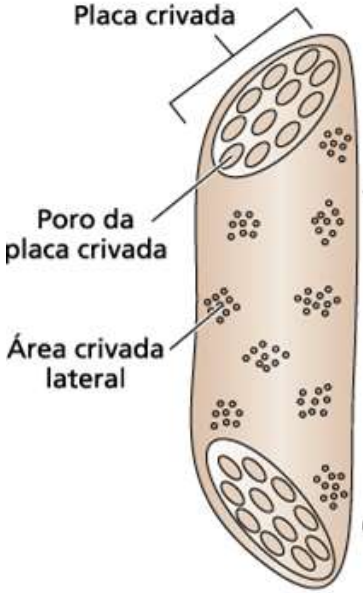
Campus de Rio Paranaíba – CRP

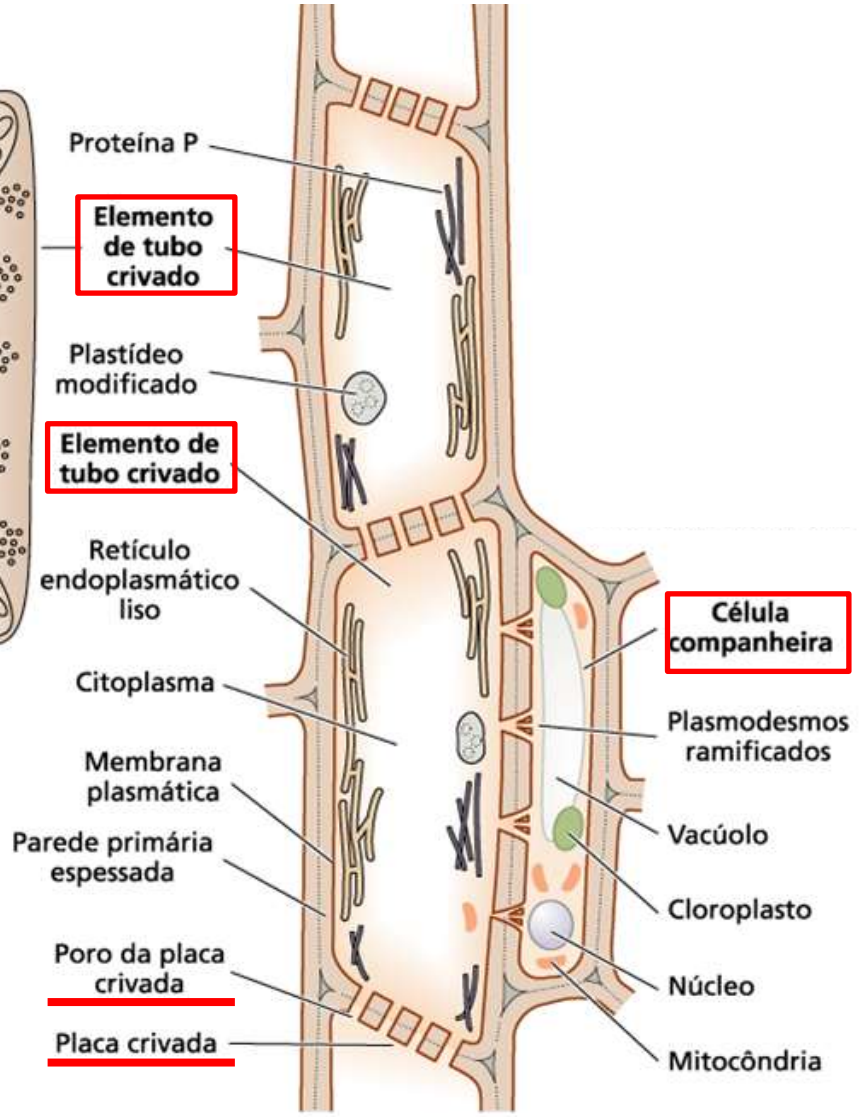
Realização: CANAOESTE STAB Apoio: UDOP FENASUCRO & AGROCANA

Sistemas vasculares: Floema

VISÃO GERAL DO SISTEMA VASCULAR





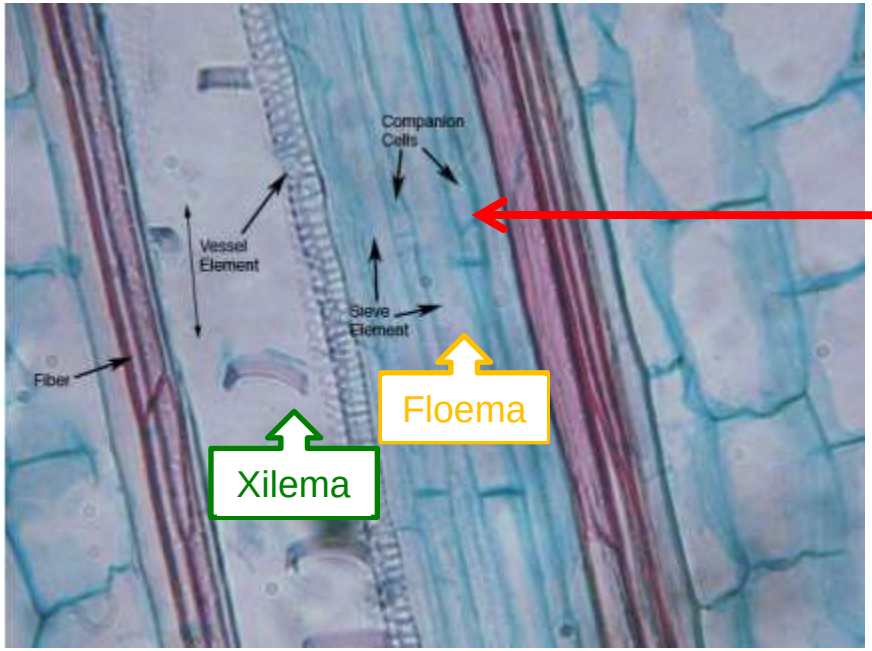


Taiz & Zeiger (2010)

FLOEMA E CÉLULA COMPANHEIRA

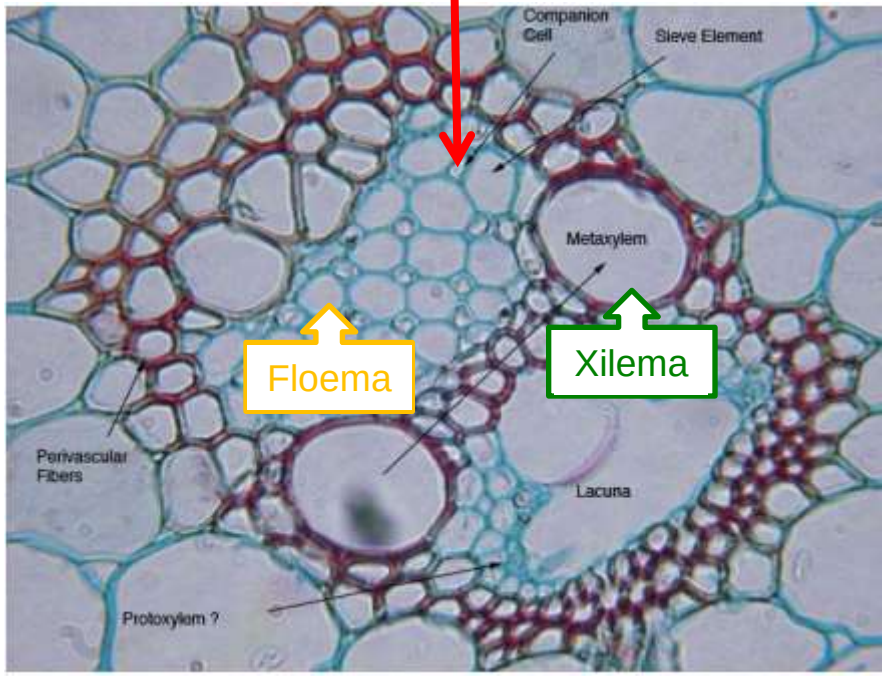
- Cada elemento de tubo crivado está associado a uma ou mais células companheiras, as quais assumem algumas das funções metabólicas essenciais, que foram reduzidas ou perdidas durante a diferenciação dos elementos de tubo crivado.

Elementos de vasos em caule de Monocotiledôneas



Corte longitudinal caule de milho (Almeida, 2010).

CÉLULAS COMPANHEIRAS



Corte transversal caule de milho (Almeida, 2010).

Proteina P

Previne perda de assimilados, pois juntamente à calose, fecham poros das placas crivadas de EC que sofreram dano.

Calose

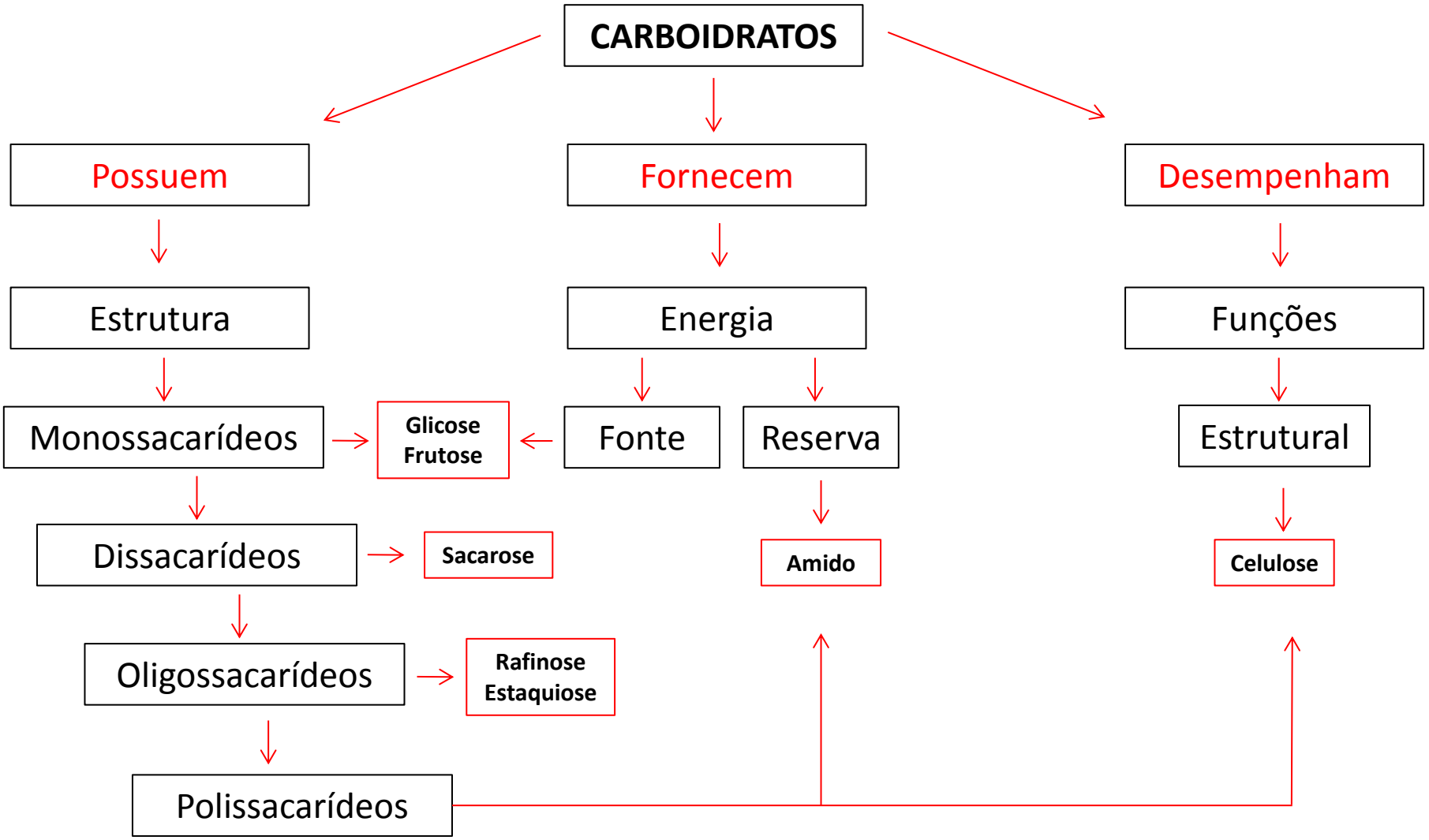
Polissacarídeo comum nos ETC

Ocorre em torno dos poros das placas crivadas e área crivadas

Obstrução do poro quando este não é mais funcional

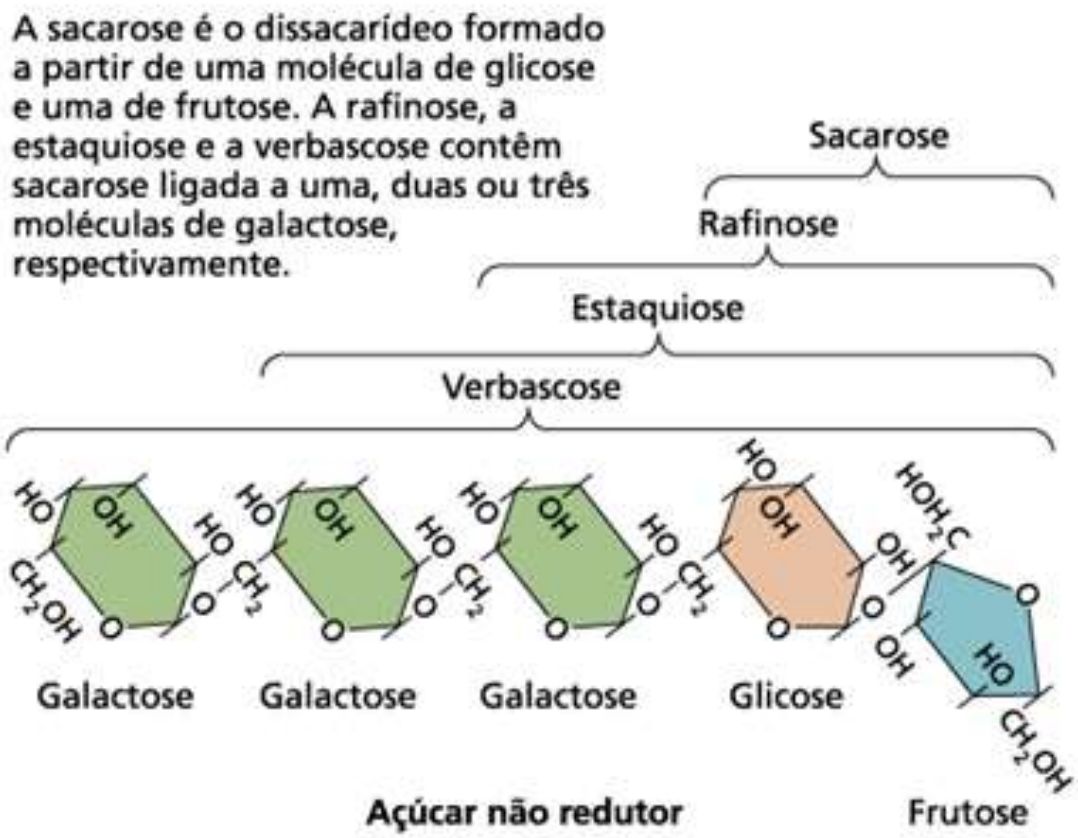
Depositada em resposta a danos = cicatrização

Carboidratos e mecanismo de translocação dos compostos orgânicos



Adaptado: Campbell, 2000.

Açúcares comumente translocados através dos floemas



Taiz & Zeiger (2010)

Substâncias translocadas nos floemas de cana-de-açúcar

Água é a substância mais abundante no floema

Fibra (12%) - Celulose, lignina, hemicelulose

Caldo (88%) - **Água**

Sólidos solúveis: Sacarose, frutose, glicose

Sacarose: principal carboidrato

Não-açúcares: Ácidos orgânicos, Ác. graxos

Minerais: Si, K, P, Ca, Mg, N, Fe, S

Solutos inorgânicos

MARQUES et al. (2003)

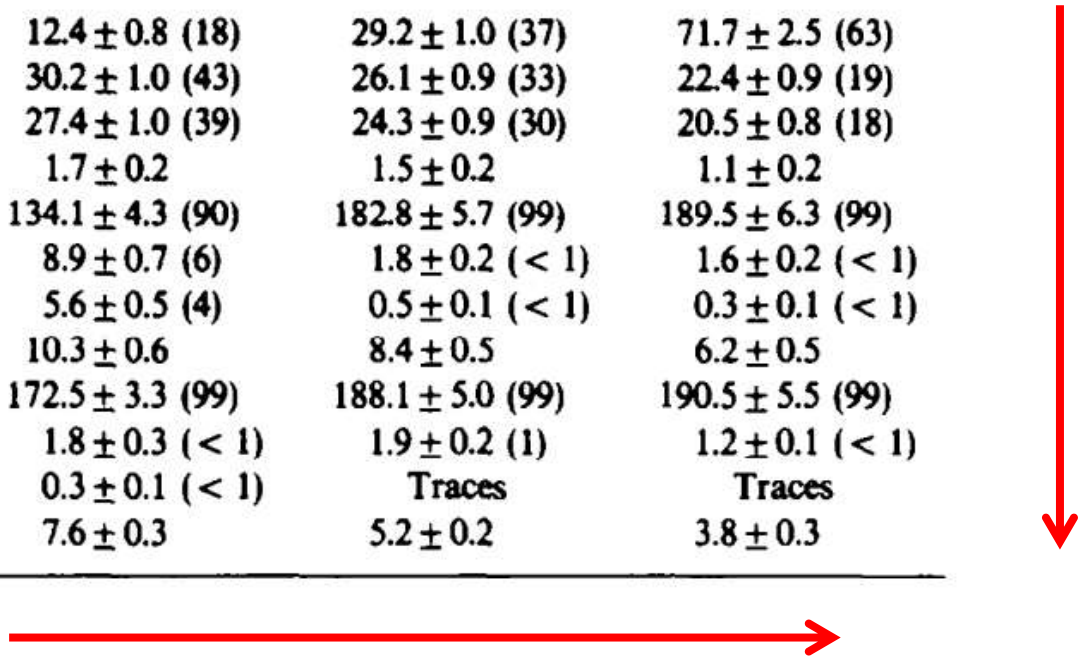
SUCROSE METABOLISM IN SUGAR CANE GROWN UNDER VARYING CLIMATIC CONDITIONS: SYNTHESIS AND STORAGE OF SUCROSE IN RELATION TO THE ACTIVITIES OF SUCROSE SYNTHASE, SUCROSE-PHOSPHATE SYNTHASE AND INVERTASE

SURESH K. BATTA and RANGIL SINGH

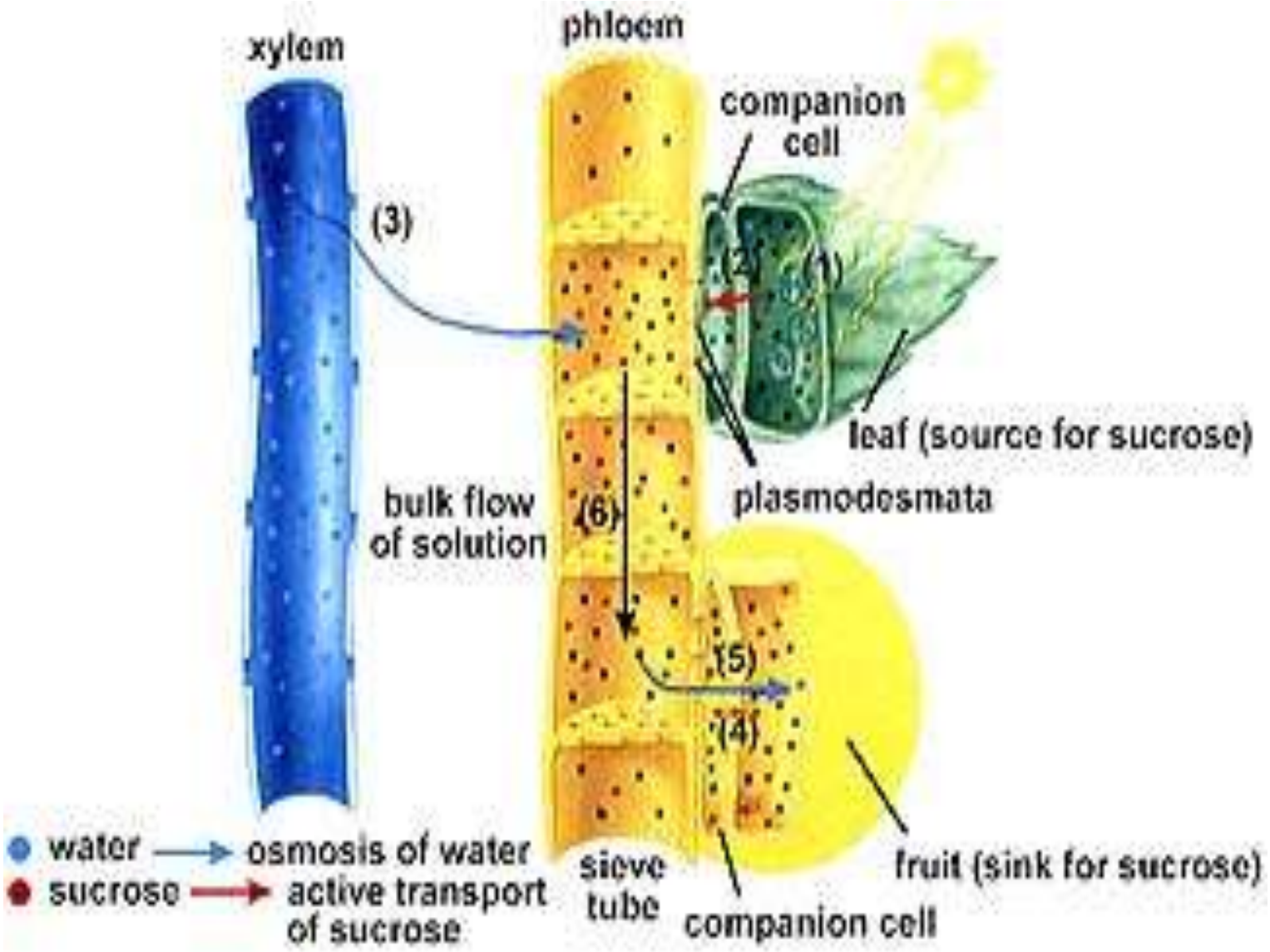
Department of Biochemistry, Punjab Agricultural University, Ludhiana-141004, Punjab, India

Table 2. Free sugars and starch (mg/g fr. wt) in stem at various stages of cane growth

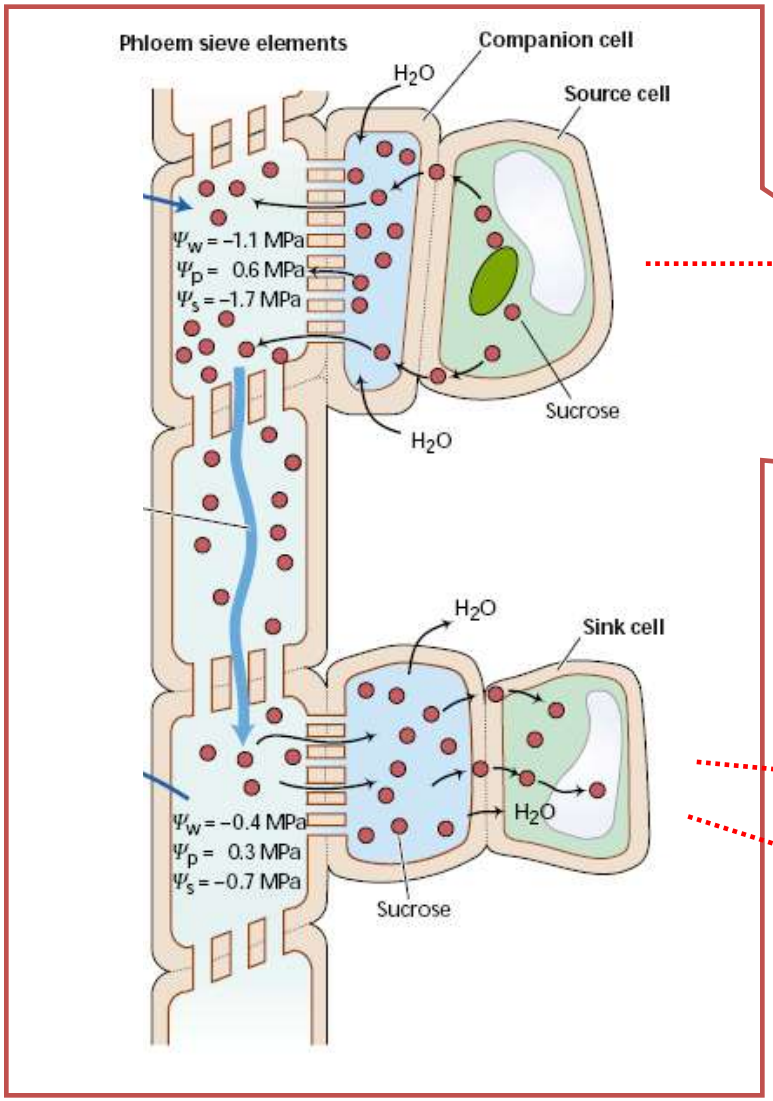
Growth stage	Carbohydrate component	Stem part		
		Top	Mid	Bottom
Stem elongation	Sucrose	12.4 ± 0.8 (18)	29.2 ± 1.0 (37)	71.7 ± 2.5 (63)
	Glucose	30.2 ± 1.0 (43)	26.1 ± 0.9 (33)	22.4 ± 0.9 (19)
	Fructose	27.4 ± 1.0 (39)	24.3 ± 0.9 (30)	20.5 ± 0.8 (18)
	Starch	1.7 ± 0.2	1.5 ± 0.2	1.1 ± 0.2
Ripening	Sucrose	134.1 ± 4.3 (90)	182.8 ± 5.7 (99)	189.5 ± 6.3 (99)
	Glucose	8.9 ± 0.7 (6)	1.8 ± 0.2 (< 1)	1.6 ± 0.2 (< 1)
	Fructose	5.6 ± 0.5 (4)	0.5 ± 0.1 (< 1)	0.3 ± 0.1 (< 1)
	Starch	10.3 ± 0.6	8.4 ± 0.5	6.2 ± 0.5
Maturity	Sucrose	172.5 ± 3.3 (99)	188.1 ± 5.0 (99)	190.5 ± 5.5 (99)
	Glucose	1.8 ± 0.3 (< 1)	1.9 ± 0.2 (1)	1.2 ± 0.1 (< 1)
	Fructose	0.3 ± 0.1 (< 1)	Traces	Traces
	Starch	7.6 ± 0.3	5.2 ± 0.2	3.8 ± 0.3

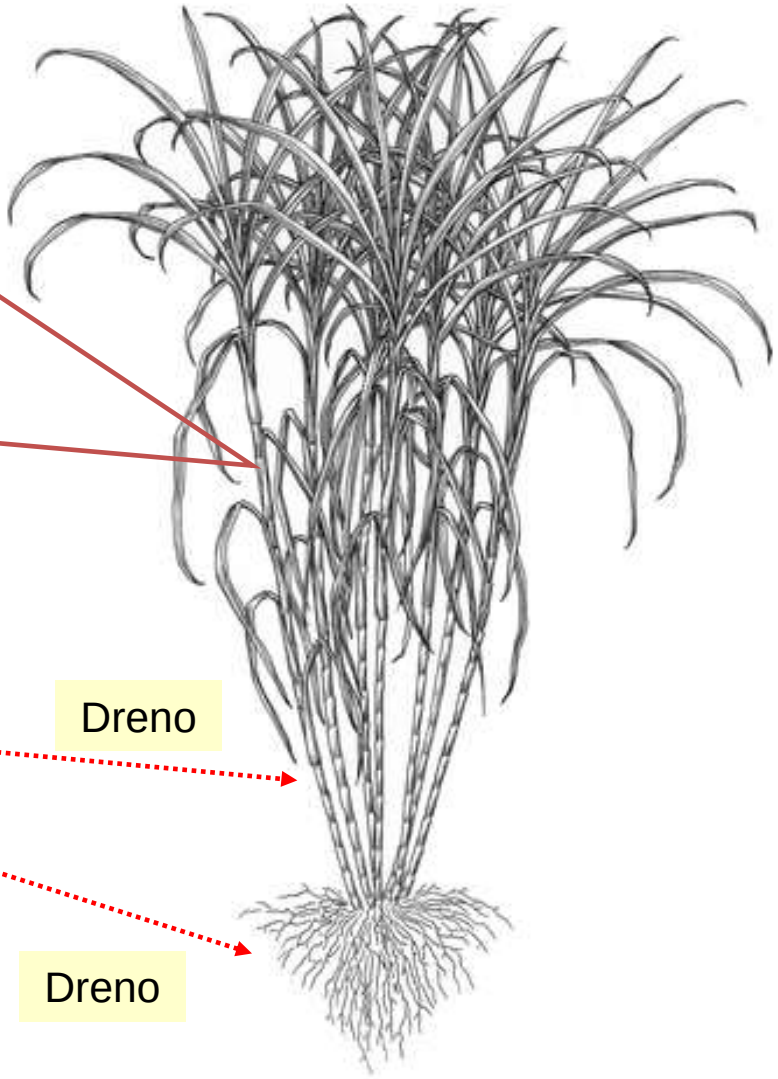


TRANSPORTE DE ASSIMILADOS NO FLOEMA



Mecanismos de translocação

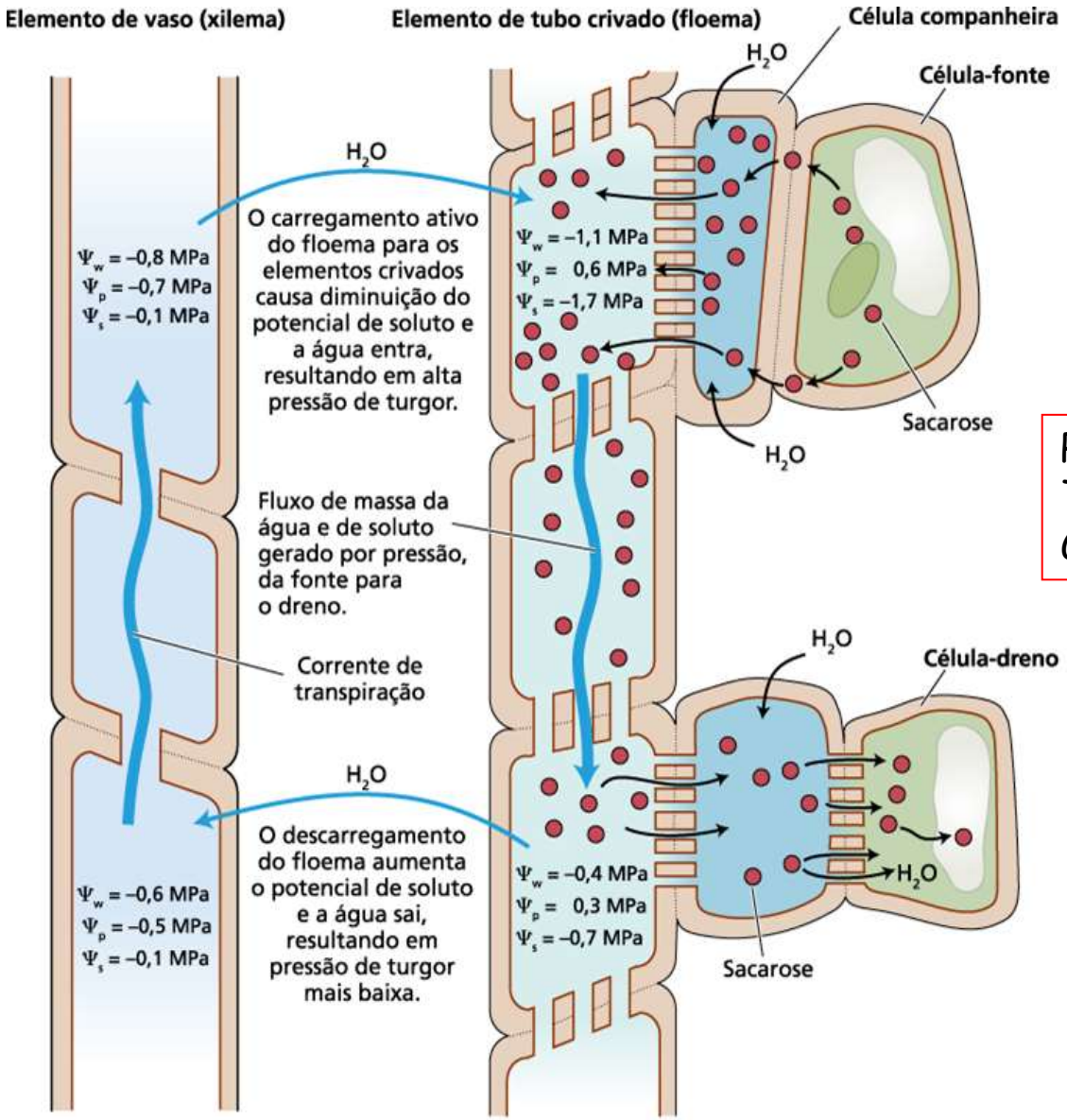




Taiz & Zeiger (2010)

Mecanismos de translocação

Ernst Münch, 1930: um gradiente de pressão governa a translocação.



$$Y_W = Y_S + Y_P$$

$$Y_P = Y_W - Y_S$$

Açúcar na fonte, aqui ilustrado como sacarose (esferas vermelhas), é carregado ativamente no complexo elemento de tubo crivado-célula companheira.

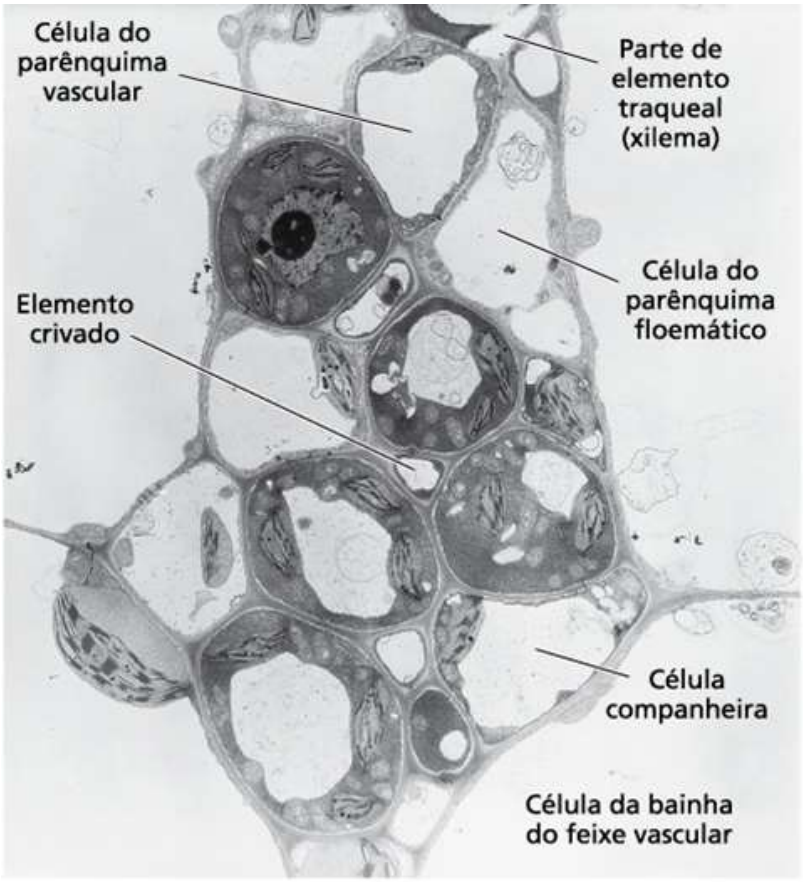
Poros abertos
Transporte bidirecional não ocorre
Gasto de energia pequeno

No dreno, os açúcares são descarregados.

Taiz & Zeiger (2010)

Carregamento dos carboidratos nos vasos dos floemas

Carregamento do floema: dos cloroplastos aos elementos crivados



Etapas:

1) Triose-P formada cel. mesofilo.

2) Sacarose move-se para elementos crivados=**transporte de curta distância.**

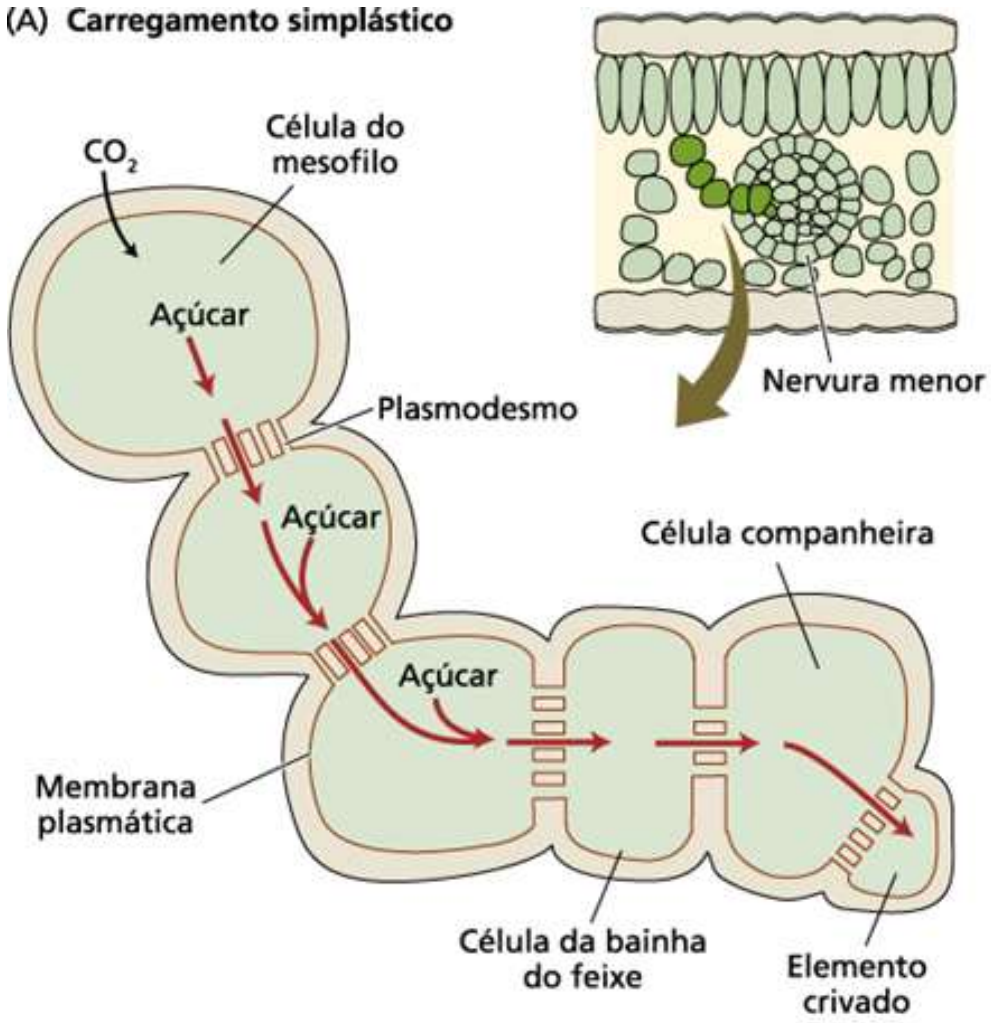
3) Processo chamado carregamento do elemento crivado.

4) Uma vez no complexo célula crivada célula companheira , a sacarose e outros produtos são translocados (exportação). **Transporte de longa distância.**

O processo de carregamento, na fonte, e descarregamento, no dreno, representam a força motriz que gera o gradiente de pressão.

Taiz & Zeiger (2010)

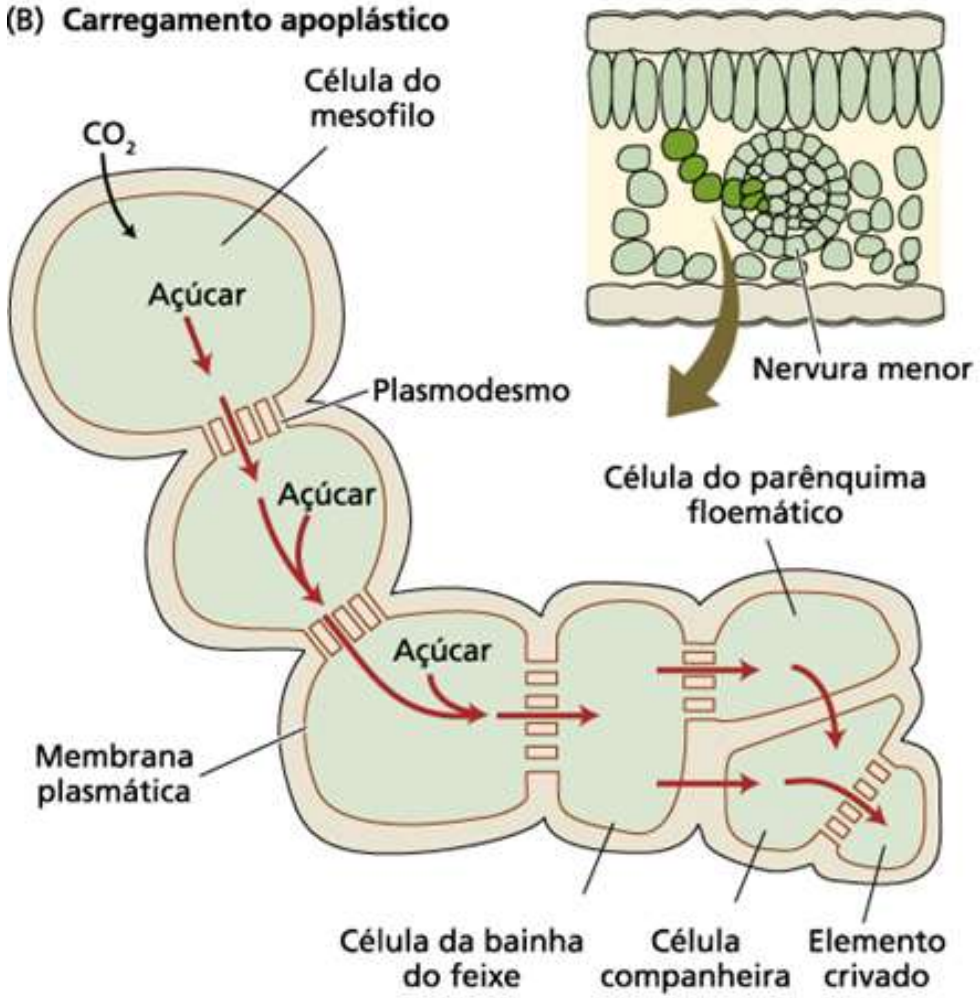
Fotossintatos podem mover-se para elementos crivados via: apoplasto ou simplasto (transporte de curta distância)



Nas folhas-fonte, na rota simplástica o açúcar segue uma "via única" através dos plasmodesmos (canais existentes entre células adjacentes), sem o gasto energético para executar tal mecanismo.

Taiz & Zeiger (2010)

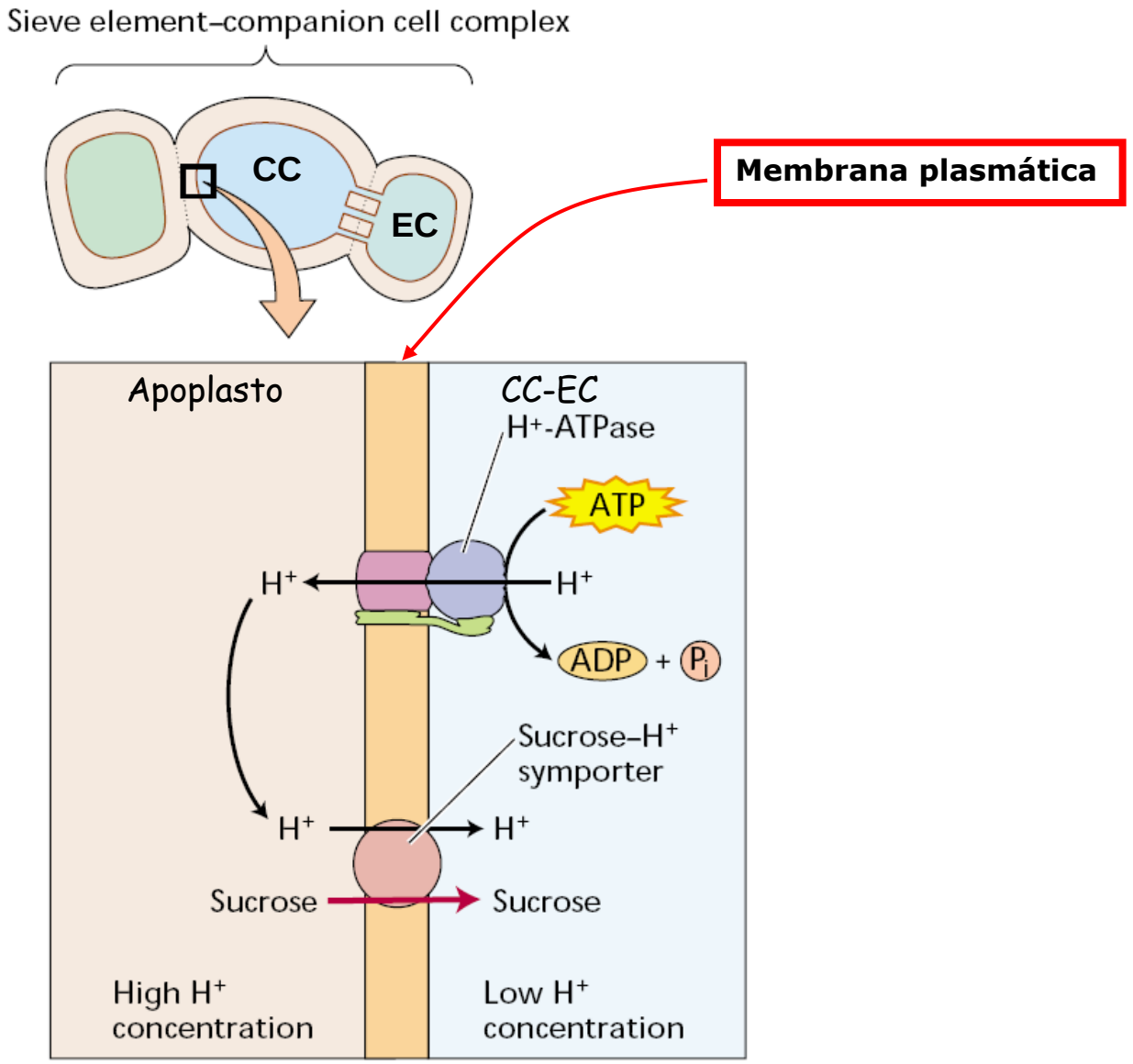
Fotossintatos podem mover-se para elementos crivados via: apoplasto ou simplasto (transporte de curta distância)



Nas folhas-fonte, na rota apoplástica o açúcar é mais concentrado nos elementos crivados e células companheiras portanto requer energia para carregamento.

Taiz & Zeiger (2010)

A absorção de sacarose na rota apoplástica para elementos crivados envolve um transportador sacarose-H^+ (simporte)

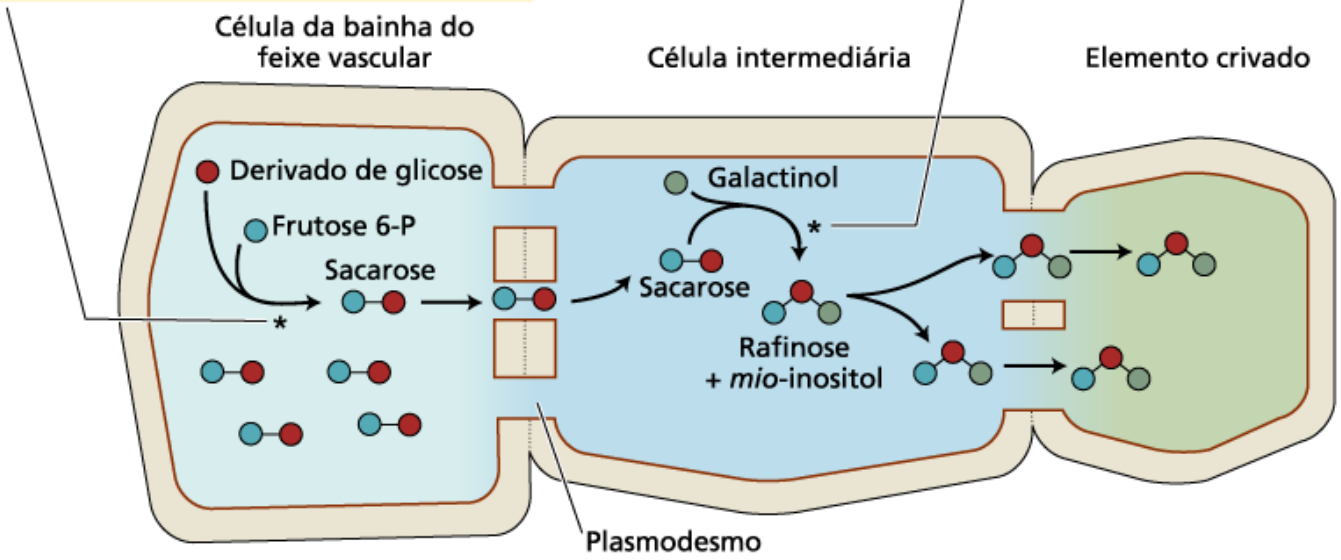


Taiz & Zeiger (2010)

Aprisionamento de polímeros

Síntese da sacarose pelas enzimas sacarose-fosfato sintase e sacarose fosfato fosfatase:
UDP-glicose + frutose-6-fosfato → UDP + sacarose-6-fosfato
Sacarose-6-fosfato + H_2O → Sacarose + P_i

Síntese de rafinose pela rafinose sintase:
Sacarose + galactinol → *mio*-inositol + rafinose



A sacarose, sintetizada no mesofilo, difunde-se das células da bainha do feixe para as células intermediárias através dos plasmodesmos abundantes.

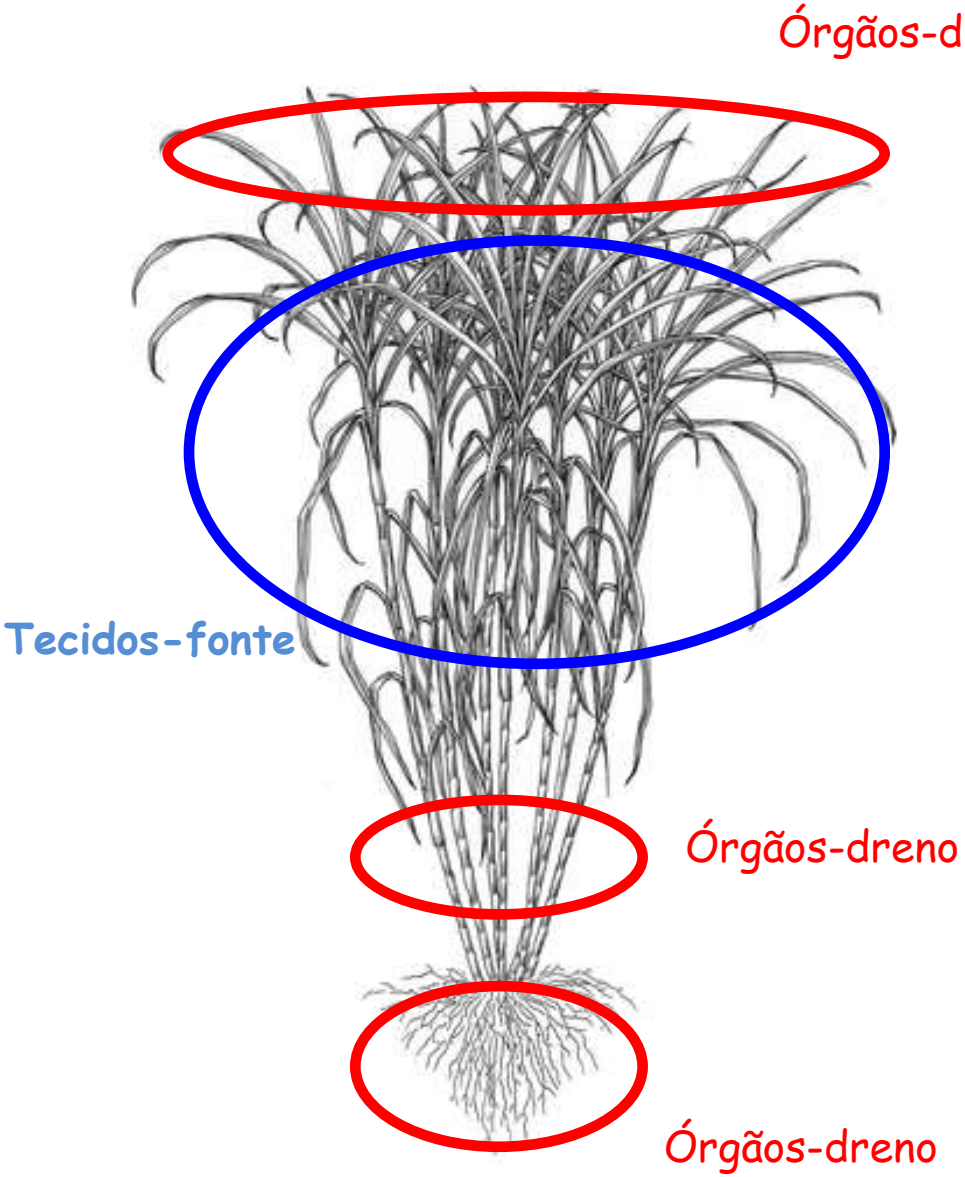
Nas células intermediárias, a rafinose é sintetizada a partir de sacarose e galactinol, mantendo, assim, o gradiente de difusão para a sacarose. Devido à sua dimensão, a rafinose não é capaz de se difundir de volta para o mesofilo.

A rafinose é capaz de se difundir para os elementos crivados. Como resultado, a concentração do açúcar transportado aumenta nas células intermediárias e nos elementos crivados. Observe que a estaquiose não é mostrada aqui para simplificar o esquema.

Taiz & Zeiger (2010)

Descarregamento dos carboidratos nos vasos dos floemas

Descarregamento do floema e a transição dreno-fonte

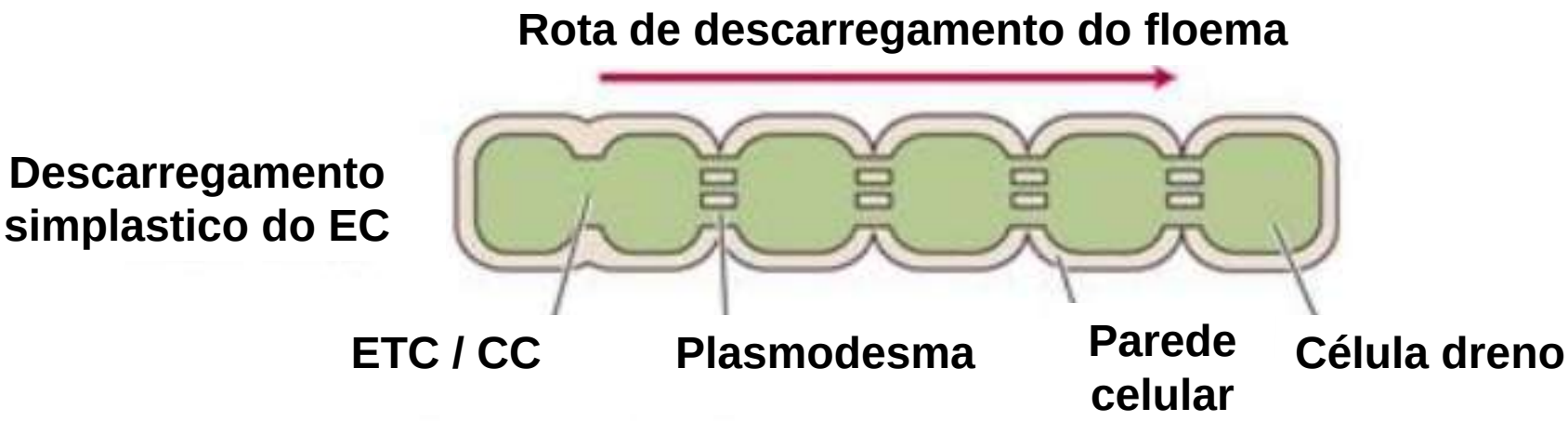


Importação:

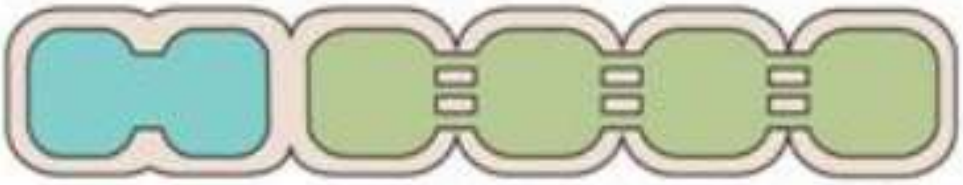
1) Descarregamento dos elementos crivados.
2) Transporte em curta distância. Transporte pós-elemento crivado.
3) Armazenamento e metabolismo.

DESCARREGAMENTO DO FLOEMA

(A) Descarregamento simplástico do floema e transporte a curta distância



(B) Descarregamento apoplástico do floema e transporte a curta distância



Taiz & Zeiger (2009)

DESCARREGAMENTO DO FLOEMA

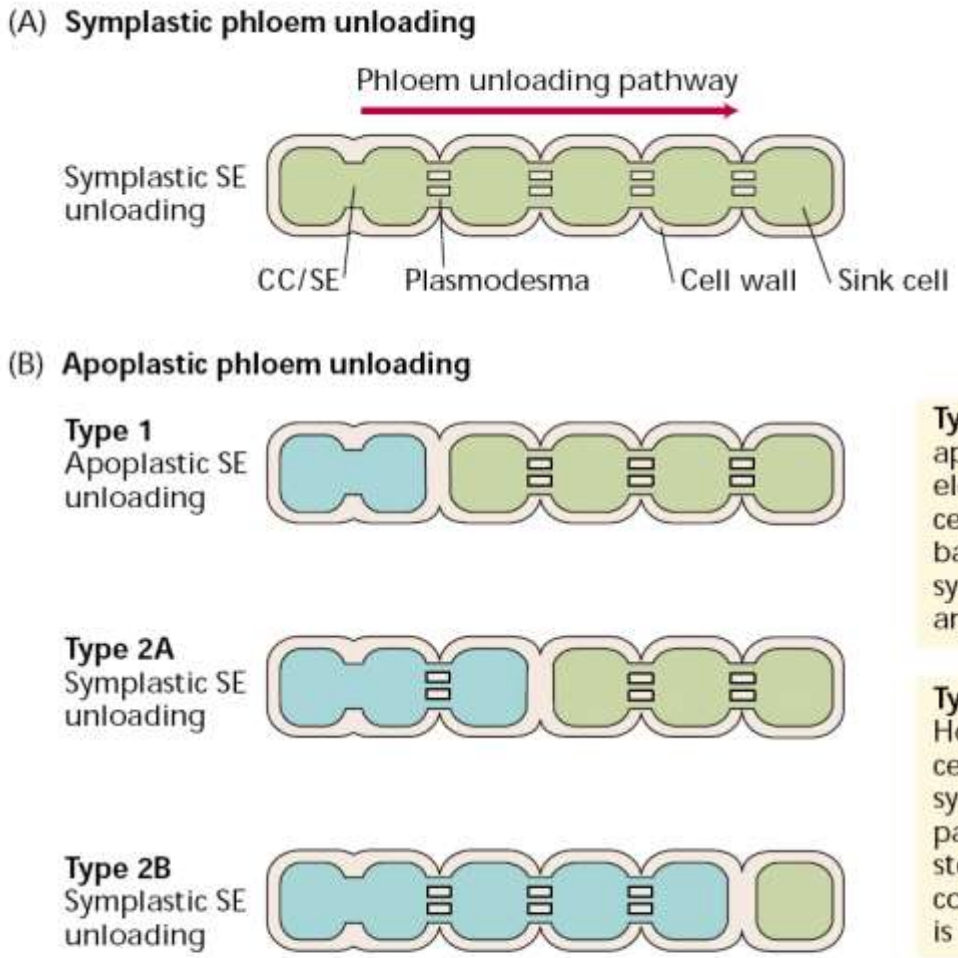
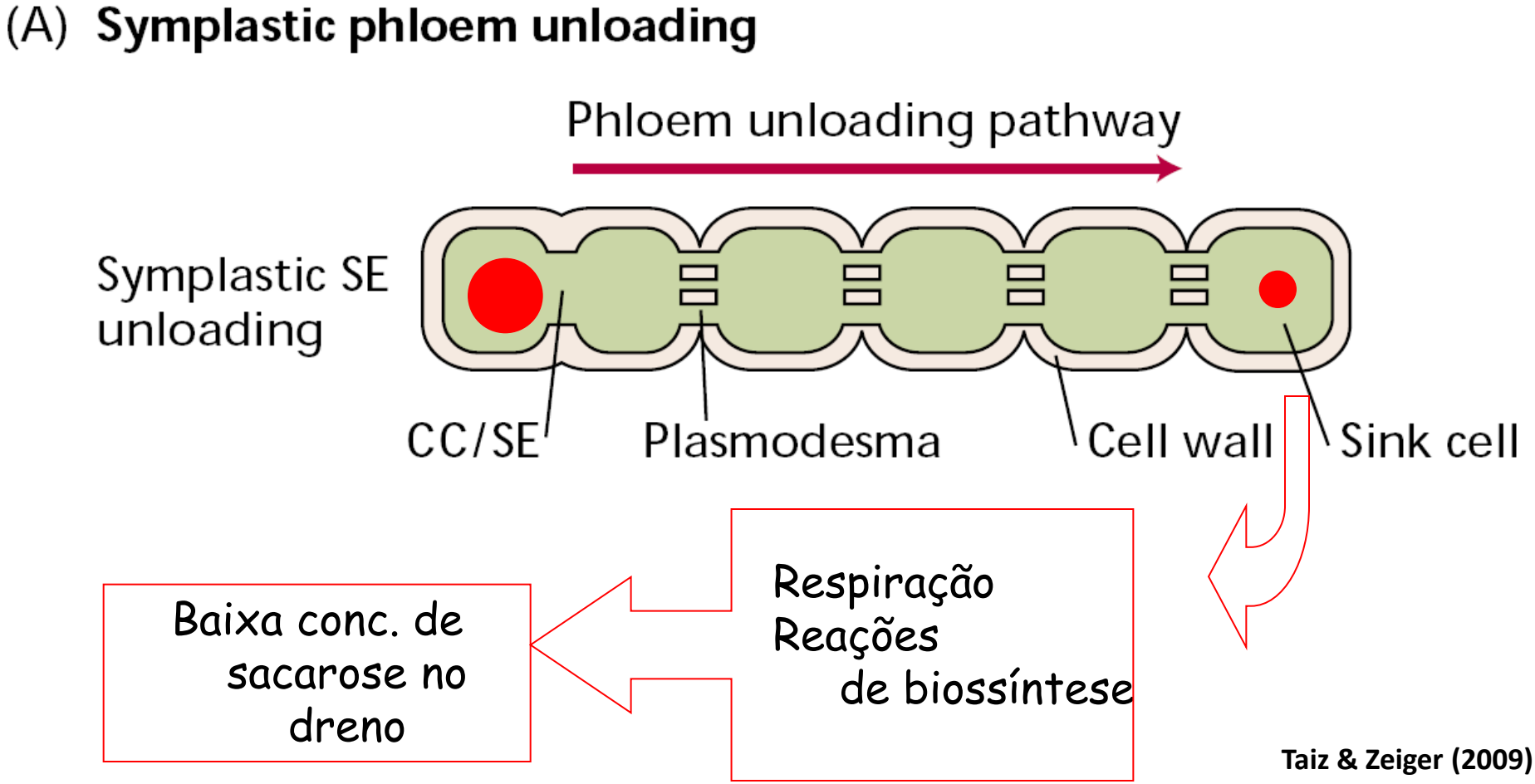


FIGURE 10.18 Pathways for phloem unloading. The sieve element–companion cell complex (CC/SE) is considered a single functional unit. The presence of plasmodesmata is assumed to provide functional symplastic continuity. An absence of plasmodesmata between cells indicates an apoplastic transport step. (A) Symplastic phloem unloading. (B) Three types of apoplastic phloem unloading. (After Oparka and van Bel 1992.)

Taiz & Zeiger (2009)

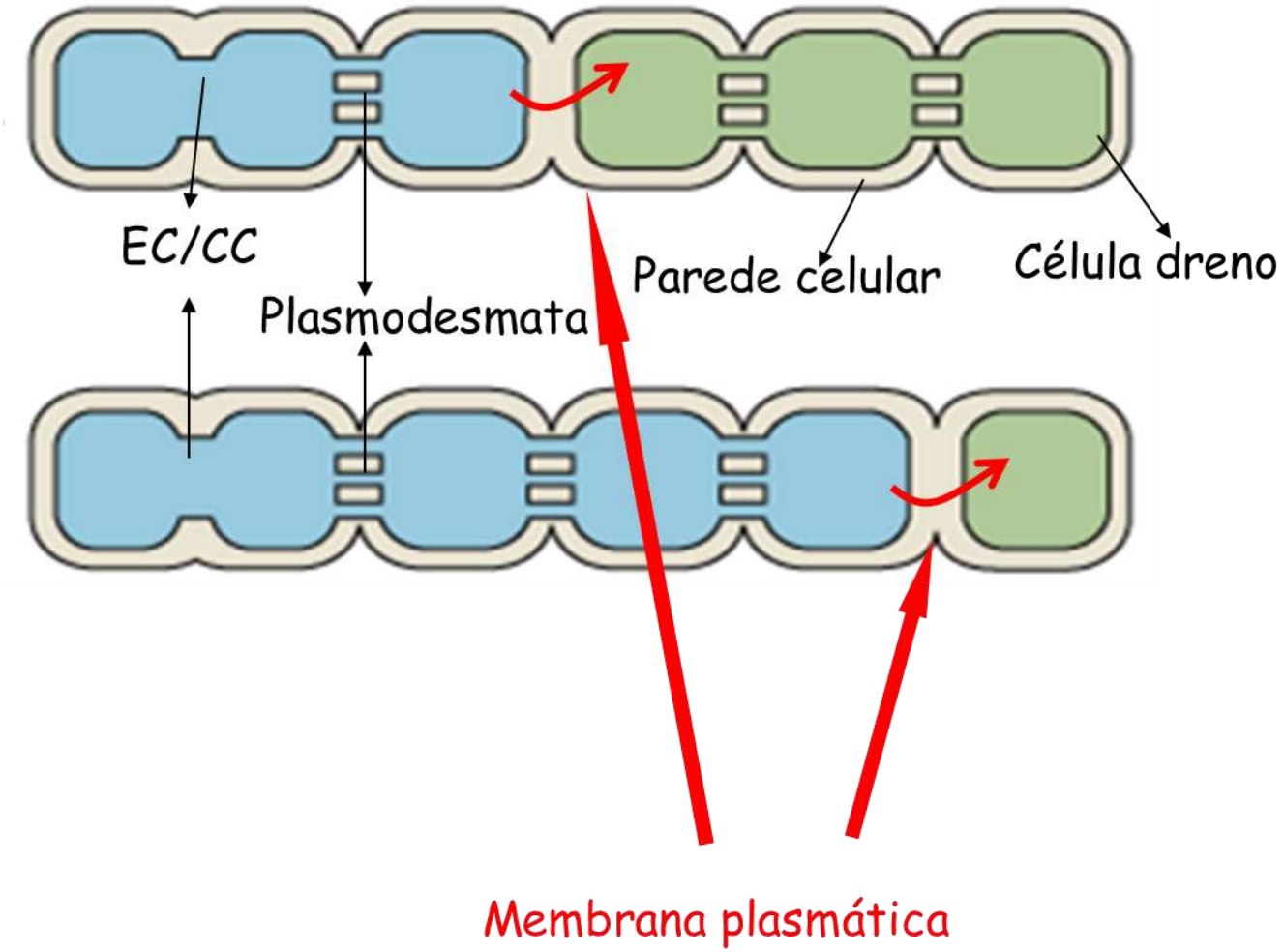
Transporte para tecido-dreno requer energia metabólica

Estudos com inibidores mostram a necessidade de energia para descarregamento.



Taiz & Zeiger (2009)

Descarregamento apoplástico, a sacarose atravessa pelo menos duas membranas plasmáticas



Taiz & Zeiger (2009)

Exemplos de descarregamento

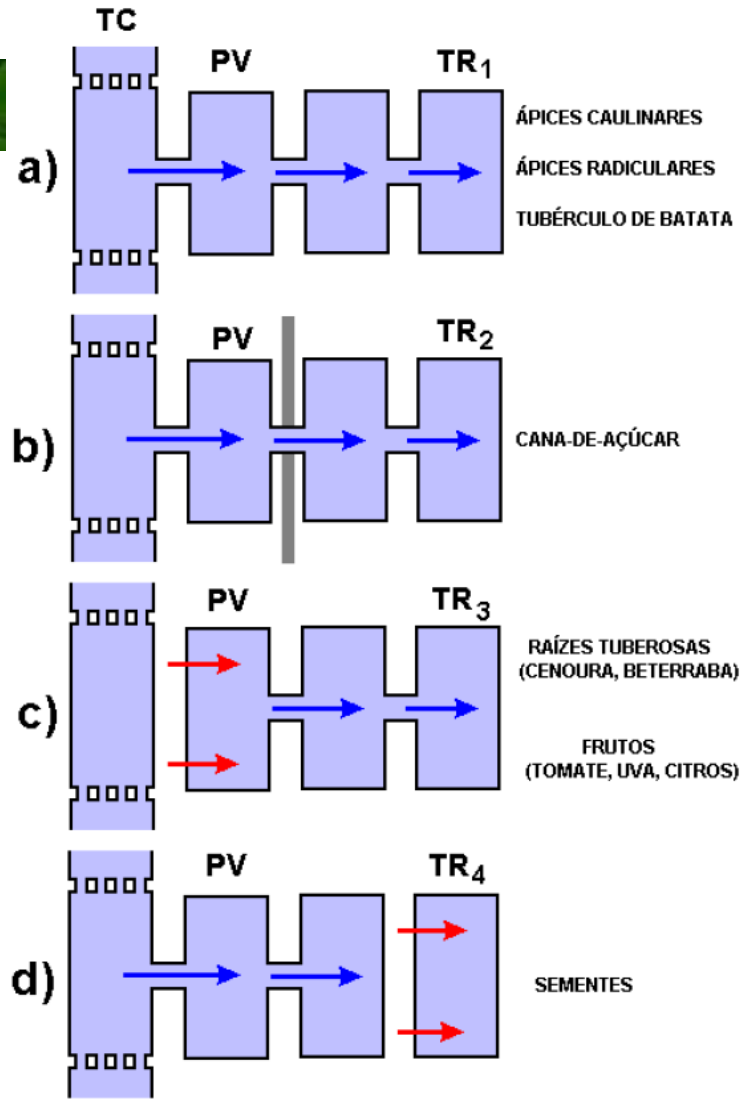
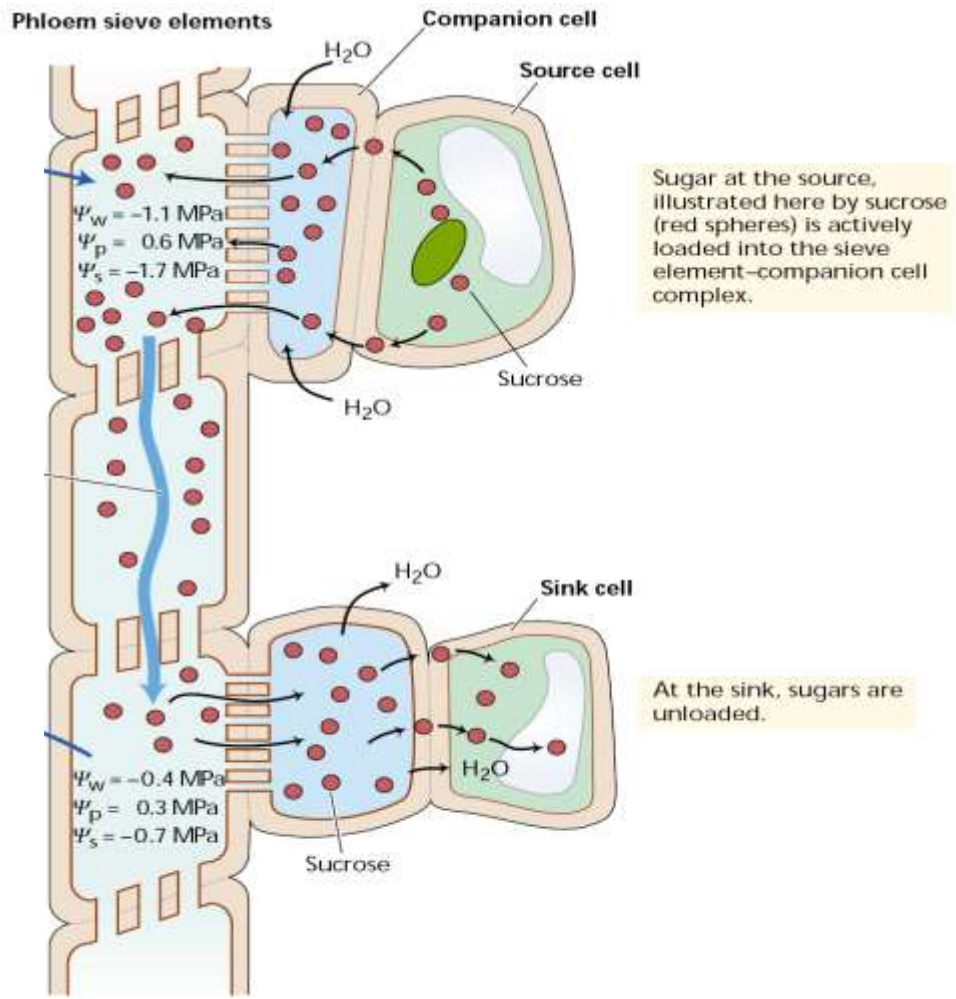


FIGURA 9. Exemplos de descarregamento simplástico (a, b) e apoplástico (c, d). Na cana-de-açúcar há uma barreira apoplástica devido à lignificação das células da bainha do feixe vascular. TR_1 normalmente acumula polímeros, enquanto TR_2 e TR_3 acumulam açúcares solúveis. Nas sementes, TR_4 corresponde ao tecido do embrião, o qual está isolado simplasticamente do tecido materno. TR, tecido de reserva; TC, tubo crivado; PV, parênquima vascular. Modificado de Patrick (1997).

Alocação e partição de fotoassimilados

Alocação.
Partição: a distribuição diferencial fotossintatos.



Taiz & Zeiger (2010)

Alocação e partição de fotoassimilados

ALOCAÇÃO DE FOTOASSIMILADOS:

ALOCAÇÃO – É a regulação do destino do carbono fotoassimilado nas diferentes vias metabólicas.

Alocação na fonte: armazenamento (amido no cloroplasto ou sacarose no citosol), utilização (respiração, síntese de hexoses-fosfato para a formação de parede celular e outros eventos) ou transporte.

Alocação no dreno: armazenamento (amido nos amiloplastos ou sacarose e hexoses-fosfato no vacúolo) ou utilização (respiração, síntese de hexoses-fosfato para a formação de parede celular e outros eventos).

Alocação e partição de fotoassimilados

PARTIÇÃO DE FOTOASSIMILADOS

PARTIÇÃO – controle da distribuição diferencial de fotoassimilados entre os vários órgãos da planta.

1) Depende da força do dreno (tamanho x atividade);

2) Controlado por mensageiros químicos (como os fitohormônios: ABA e CK, a sacarose, K+ e Pi) e Ψp.

Índice de colheita: é a razão entre a produção do órgão explorado economicamente e a produção da biomassa total da parte aérea.

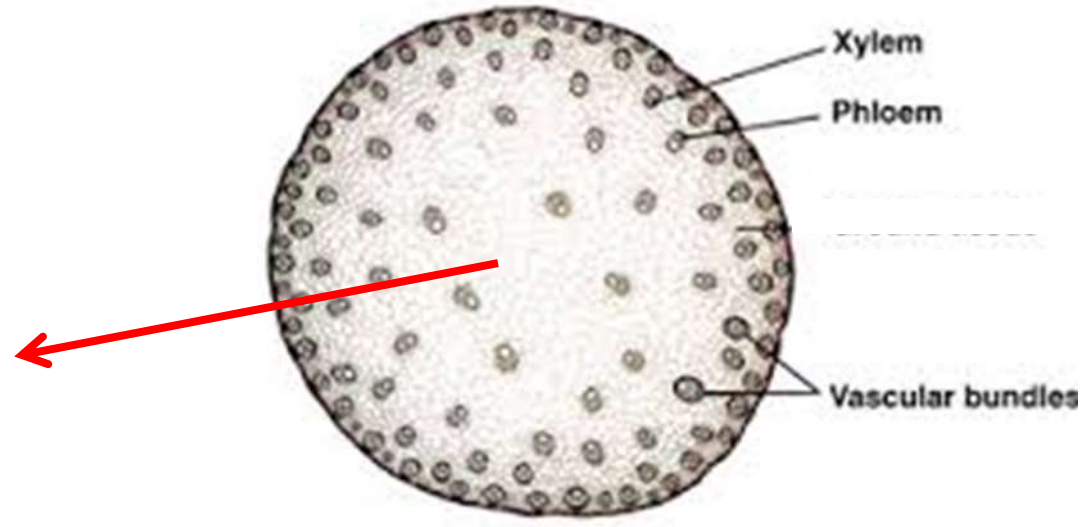
$$HI = W_{sacarose}/W_{total} \left\{ 0{,}15 \right.$$

$$HI = W_{sacarose+\ fibras}/W_{total} \left\{ 0{,}8 \right.$$

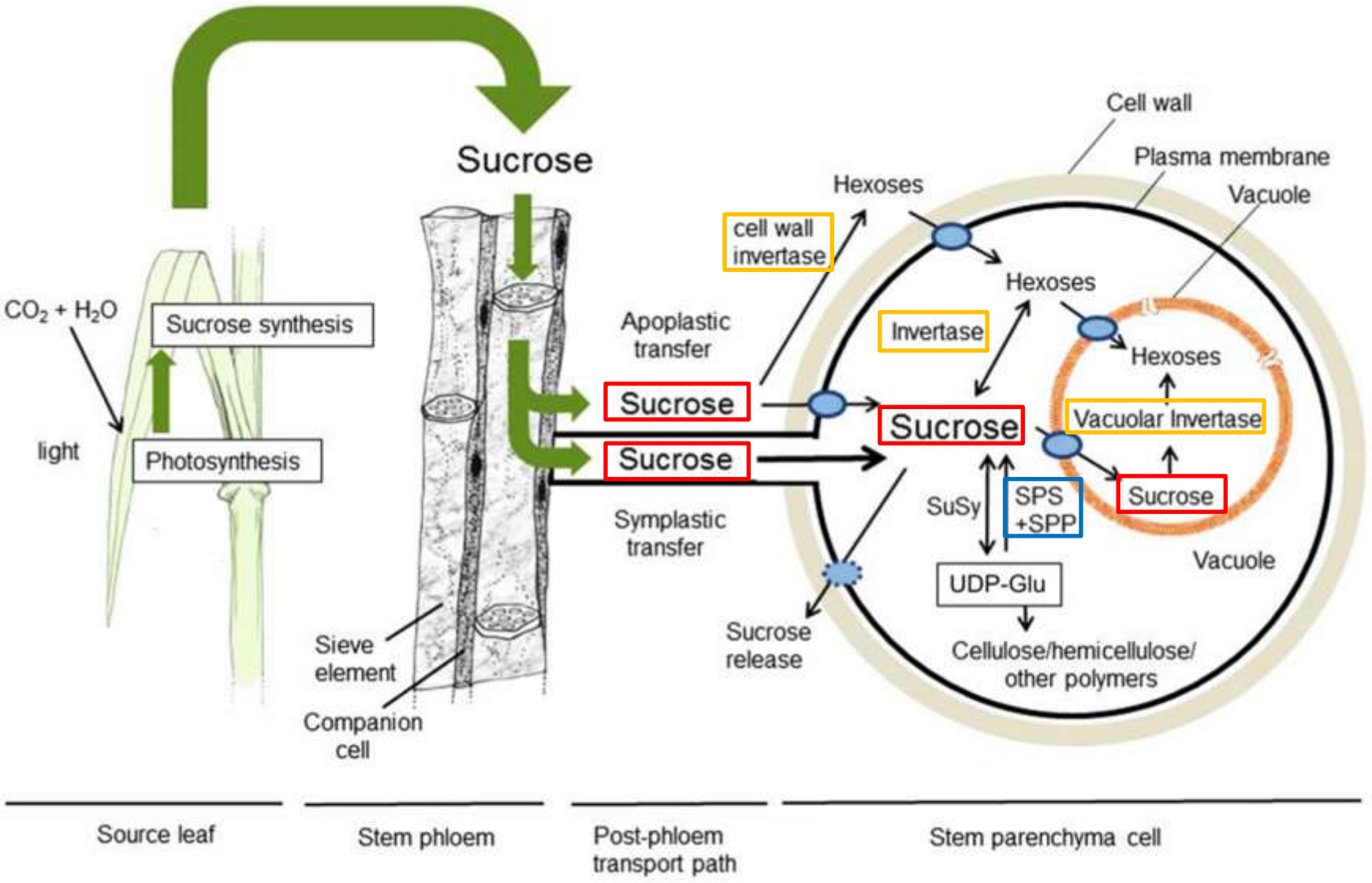
Incorporação dos carboidratos
No tecido parenquimático

INCORPORAÇÃO NO COLMO

Os colmos de cana-de-açúcar tem potencial de armazenar grande quantidade de fotoassimilados (50% do peso seco pode ser sacarose), mesmo durante o crescimento rápido dos drenos terminais.



Tecido parênquimático



frontiers in PLANT SCIENCE

MINI REVIEW ARTICLE

Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species)

Jianping Wang[1,2,3]*, *Spurthi Nayak*[2], *Karen Koch*[3,4] *and Ray Ming*[1,5]

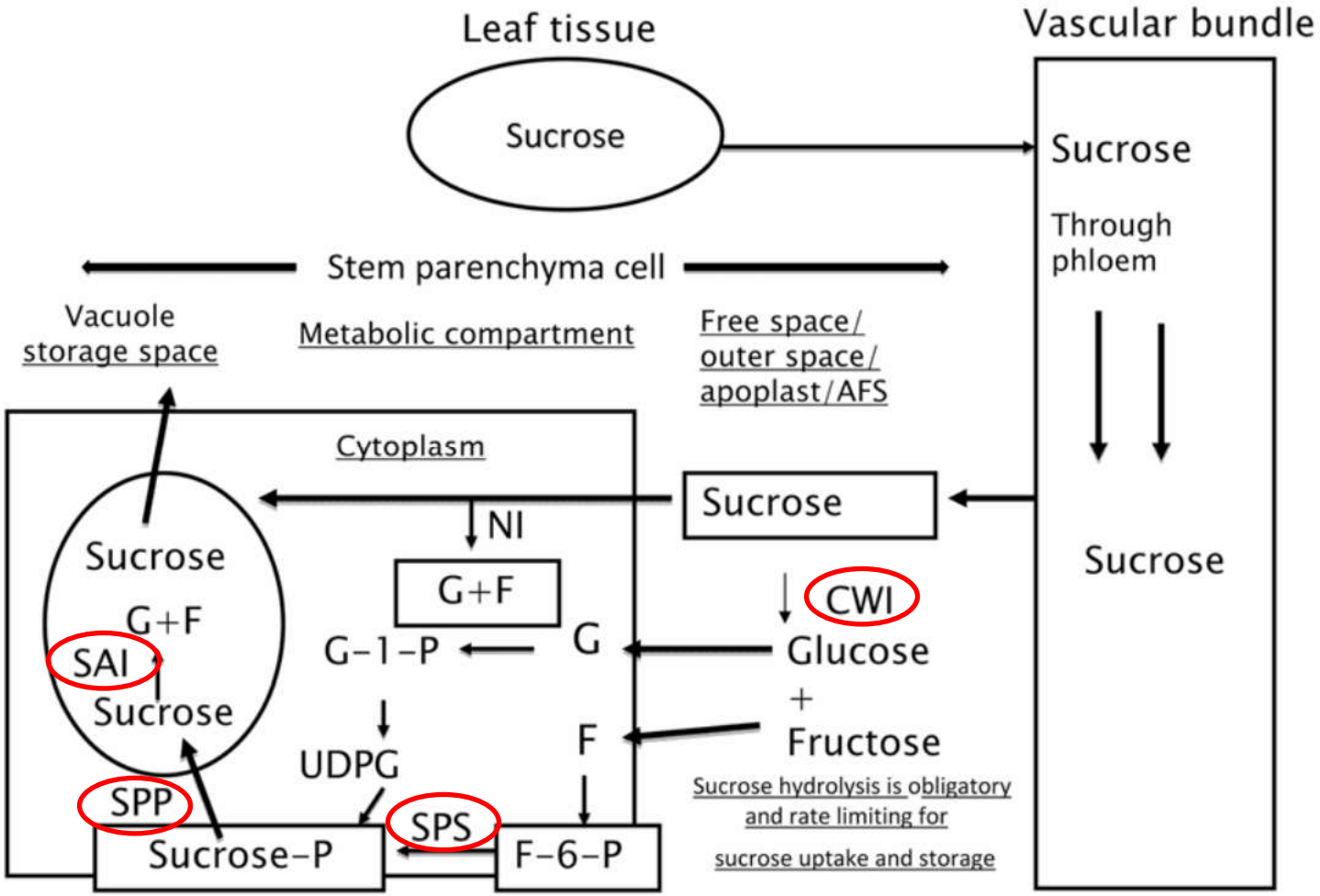


Figure 1. Role of invertases in the synthesis and breakdown of sucrose in sugarcane. SAI, Soluble acid invertase; CWI, Cell wall invertase; NI, Neutral invertase; G, Glucose; F, Fructose; SPP, Sucrose phosphate phosphatase; SPS, Sucrose phosphate synthase; AFS, Apparent free space.

REVIEW ARTICLE

Complexities of invertases controlling sucrose accumulation and retention in sugarcane

Fatores abióticos que interferem no transporte e acúmulo dos carboidratos

frontiers in
PLANT SCIENCE

REVIEW ARTICLE
published: 24 July 2013
doi: 10.3389/fpls.2013.00272

Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors

Remi Lemoine[1], Sylvain La Camera[1], Rossitza Atanassova[1], Fabienne Dédaldéchamp[1], Thierry Allario[1], Nathalie Pourtau[1], Jean-Louis Bonnemain[1], Maryse Laloi[1], Pierre Coutos-Thévenot[1], Laurence Maurousset[1], Mireille Faucher[1], Christine Girousse[2], Pauline Lemonnier[1], Jonathan Parrilla[1] and Mickael Durand[1]*

A relação de transporte de açúcares entre fonte-dreno é afetada por fatores ambientais, em três diferentes níveis:

1) Na fonte: resultando em perdas de açúcar disponíveis para a exportação (fotossíntese ou carregamento no floema);

2) No dreno: em função de um novo balanço entre drenos, em detrimento do colmo, reduzindo a produção (crescimento de raízes, órgãos na planta e patógenos);

3) Fluxo entre fonte-dreno: levando a prejuízos no transporte do açúcar (baixa temperatura, afídeos, vírus).

Plantas sofrem grandes mudanças no ambiente durante o seu ciclo de vida e necessitam desenvolver estratégias para adaptação a essas mudanças.

Déficit hídrico

1. O déficit hídrico é o fator abiótico de maior expressão sobre o desenvolvimento e produção das culturas

2. Porém o elevado potencial osmótico (< Ψ hídrico) no floema pode ser positivo, pois modifica o fluxo de água para os vasos e mantém o fluxo de carboidratos mesmo em condição de seca.

3. O déficit hídrico reduz fotossíntese (Pn) e impacta sobre o o fluxo de carbono (reduz perfilhamento, reduz reservas, reduz o crescimento).

4. O estresse hídrico favorece a translocação de sacarose no floema, bem como induz a senescência e a mobilização de reservas.

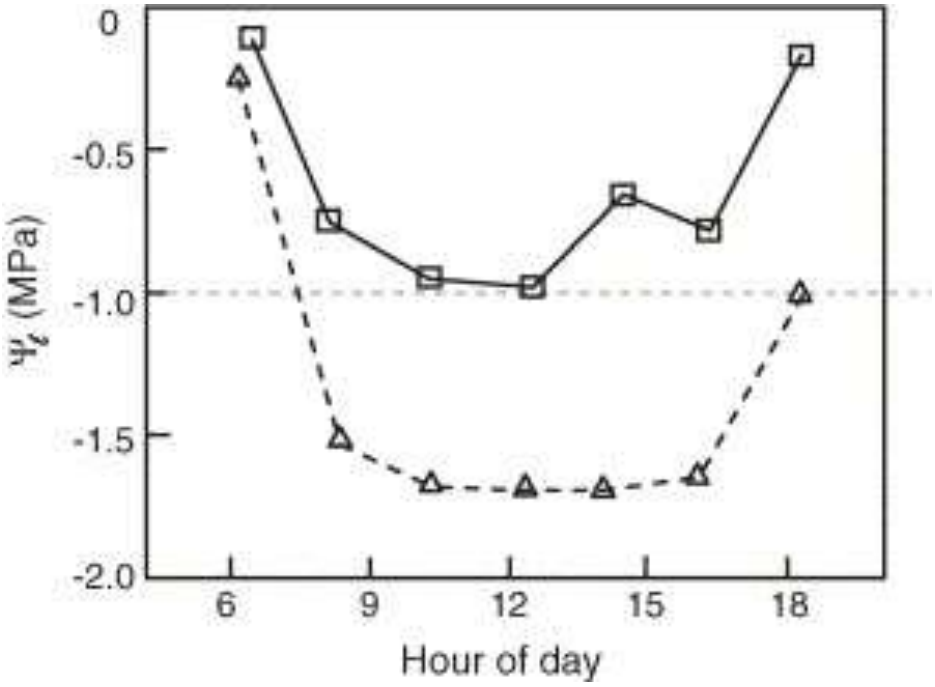


Fig. 1. Diurnal leaf water potential (ΨℓΨℓ) in irrigated (□) and rainfed (▵) sugarcane in Mauritius (redrawn from Roberts et al., 1990).

N.G. Inman-Bamber , D.M. Smith. **Water relations in sugarcane and response to water deficits.** Field Crops Research, Volume 92, Issues 2–3, 2005, 185 - 202

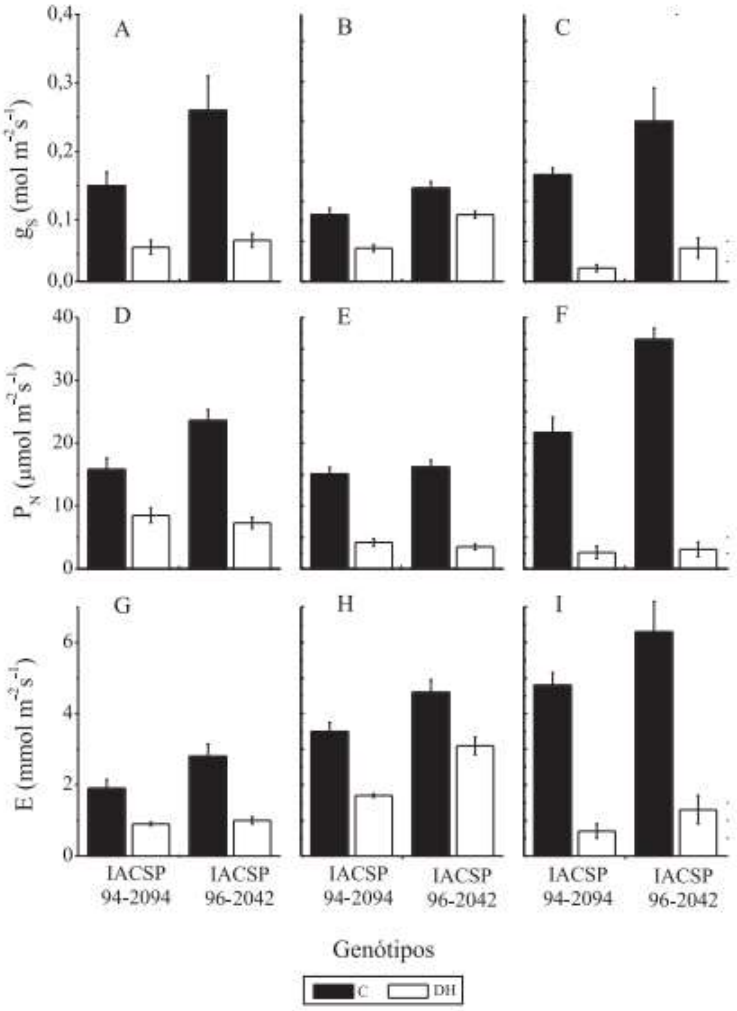


Figura 1. Condutância estomática (g_S), assimilação de CO_2 (P_N) e transpiração (E), em dois genótipos de cana-de-açúcar, em condição de boa disponibilidade hídrica (C) ou de deficit hídrico (DH) imposto pela suspensão da rega em três fases fenológicas: crescimento inicial (FCI, A, D e G); máximo crescimento (FMC, B, E e H); e acúmulo de sacarose (FAS, C, F e I). Medidas realizadas entre 14 e 15h, no dia de máximo deficit hídrico (115 DAP em FCI, 184 DAP em FMC e 300 DAP em FAS). A linha representa o erro-padrão.

Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas

Ricardo Silverio Machado[1], Rafael Vasconcelos Ribeiro[2], Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori[1], Daniela Favero São Pedro Machado[1], Eduardo Caruso Machado[2] e Marcos Guimarães de Andrade Landell[3]

[1]Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, CEP 13012-970 Campinas, SP. E-mail: machado_rs@yahoo.com.br, marchiori.paulo@gmail.com, danifavero@yahoo.com.br [2]IAC, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, Caixa Postal 28, CEP 13012-970 Campinas, SP. E-mail: rafael@iac.sp.gov.br, caruso@iac.sp.gov.br [3]IAC, Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio da Cana, Caixa Postal 206, CEP 14001-970 Ribeirão Preto, SP. E-mail: mlandell@iac.sp.gov.br

Déficit mineral

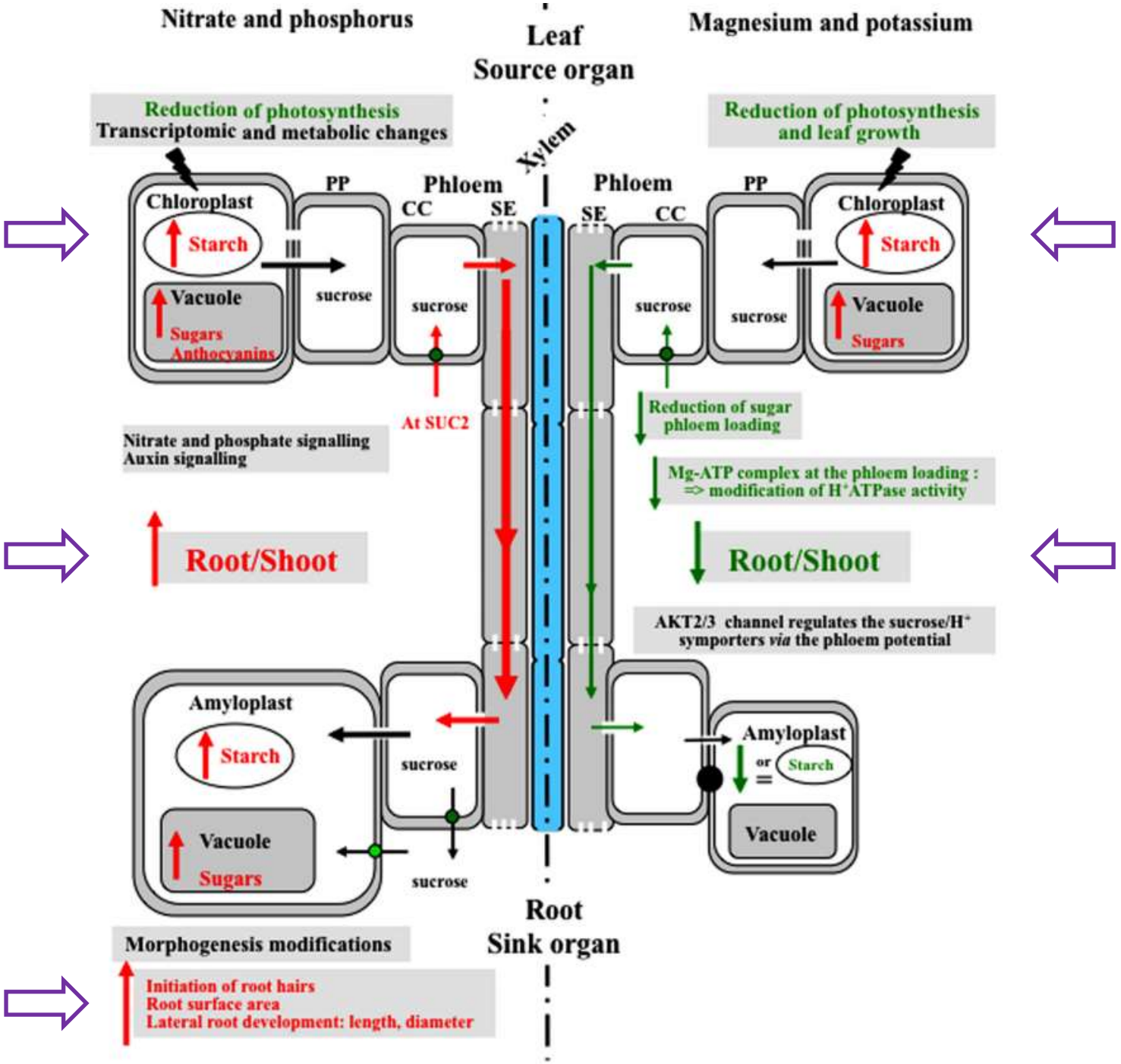
1. A deficiência em nitrogênio: reduz a fotossíntese, acumula açúcares nas folhas, aumento da alocação de carbono para as raízes e aumenta a razão raiz/parte aérea.

2. A limitação de fósforo induz uma adaptação da arquitetura do sistema radicular: alongamento das raízes secundárias, o que aumenta a área de superfície da raiz.

3. A deficiência de magnésio aumenta a concentração de açúcares solúveis e amido nas folhas e reduz o crescimento da folha. Deficiência de Mg reduz a atividade da H^+ - ATPase, reduzindo assim a o carregamento de sacarose no floema.

4. Por outro lado o déficit de potássio raramente resulta em acumulação de amido.

Déficit mineral



E-mail: wrmacedo@ufv.br
Telefone: (34) 3855-9364