

6. Nutrição e Metabolismo Mineral em Plantas

Critérios de Essencialidade:

- Na ausência do elemento a planta não completa o seu ciclo de vida;
- O elemento não pode ser substituído por nenhum outro;
- O elemento tem efeito direto na vida da planta e não exerce apenas o papel de, com a sua presença no meio, neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para o vegetal.

Tabela Periódica dos Elementos

1 IA		Novo Original				Metais alcalinos		Actinídios		C Sólidos												18 VIIIa																	
1 H Hidrogênio 1.00794		2 IIA				Metais alcalinos-terrosos		Outros metais		Br Líquidos												2 He Hélio 4.002602		K															
3 Li Lítio 6.941		4 Be Berílio 9.012182																				9 F Flúor 18.9984032		10 Ne Neônio 20.1797		K L													
11 Na Sódio 22.989770		12 Mg Magnésio 24.3050																				17 Cl Cloro 35.453		18 Ar Argônio 39.948		K L M													
19 K Potássio 39.0983		20 Ca Cálcio 40.078		3 IIIB		4 IVB		5 VB		6 VIB		7 VIIB		8		9 VIIIb		10		11 IB		12 IIB				31 Ga Gálio 69.723		32 Ge Germanio 72.64		33 As Arsênio 74.92160		34 Se Selênio 78.96		35 Br Bromo 79.904		36 Kr Criptônio 83.798		K L M N	
37 Rb Rubídio 85.4678		38 Sr Estrôncio 87.62		39 Y Ítrio 88.90585		40 Zr Zircônio 91.224		41 Nb Nióbio 92.90638		42 Mo Molibdênio 95.94		43 Tc Tecnécio (98)		44 Ru Rutênio 101.07		45 Rh Ródio 102.90550		46 Pd Paládio 106.42		47 Ag Prata 107.8682		48 Cd Cádmio 112.411				49 In Índio 114.818		50 Sn Estanho 118.710		51 Sb Antimônio 121.760		52 Te Telúrio 127.60		53 I Iodo 126.90447		54 Xe Xenônio 131.293		K L M N O	
55 Cs Césio 132.90545		56 Ba Bário 137.327		57 to 71		72 Hf Háfnio 178.49		73 Ta Tântalo 180.9479		74 W Wolfrâmio 183.84		75 Re Rênio 186.207		76 Os Ósmio 190.23		77 Ir Írídio 192.217		78 Pt Platina 195.078		79 Au Ouro 196.96655		80 Hg Mercúrio 200.59				81 Tl Tálio 204.3833		82 Pb Chumbo 207.2		83 Bi Bismuto 208.98038		84 Po Polônio (209)		85 At Astató (210)		86 Rn Radônio (222)		K L M N O P	
87 Fr Frâncio (223)		88 Ra Rádio (226)		89 to 103		104 Rf Ruterfórdio (261)		105 Db Dubnio (262)		106 Sg Seabórgio (266)		107 Bh Bóhrio (264)		108 Hs Hássio (269)		109 Mt Meitnério (268)		110 Ds Darmstádio (271)		111 Rg Roentgênio (272)		112 Uub Ununbium (285)				113 Uut Ununtrium (284)		114 Uuq Ununquádmio (289)		115 Uup Ununpêntio (288)		116 Uuh Ununhexium (292)		117 Uus Ununseptium (294)		118 Uuo Ununoctium (294)		K L M N O P Q	
Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.																																							

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

57 La Lantânio 138.9055	58 Ce Cério 140.116	59 Pr Praseodímio 140.90765	60 Nd Neodímio 144.24	61 Pm Promécio (145)	62 Sm Samário 150.36	63 Eu Európio 151.964	64 Gd Gadolínio 157.25	65 Tb Térbio 158.92534	66 Dy Disprósio 162.500	67 Ho Hólmio 164.93032	68 Er Érbio 167.259	69 Tm Túlio 168.93421	70 Yb Ítérbio 173.04	71 Lu Lutécio 174.967
89 Ac Actínio (227)	90 Th Tório 232.0381	91 Pa Protactínio 231.03688	92 U Urânio 238.02891	93 Np Netúnio (237)	94 Pu Plutônio (244)	95 Am Américio (243)	96 Cm Cúrio (247)	97 Bk Berquélio (247)	98 Cf Califórnia (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Férmio (257)	101 Md Mendelévio (258)	102 No Nobélio (259)	103 Lr Laurêncio (262)

Direitos autorais de design © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com), <http://www.dayah.com/periodic/>

TABELA 30-1

Elementos Essenciais para a Maioria das Plantas Vasculares e Concentrações Internas Consideradas Adequadas

Elemento	Símbolo Químico	Forma Disponível para as Plantas	Massa Atômica	Concentração Adequada em Tecido Seco		Número de Átomos Relativos ao Molibdênio
				mg/kg	%	
Micronutrientes						
Molibdênio	Mo	MoO_4^{2-}	95,95	0,1	0,00001	1
Níquel	Ni	Ni^{2+}	58,71	?	?	?
Cobre	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}	63,54	6	0,0006	100
Zinco	Zn	Zn^{2+}	65,38	20	0,0020	300
Manganês	Mn	Mn^{2+}	54,94	50	0,0050	1.000
Boro	B	H_3BO_3	10,82	20	0,002	2.000
Ferro	Fe	Fe^{3+} , Fe^{2+}	55,85	100	0,010	2.000
Cloro	Cl	Cl^-	35,46	100	0,010	3.000
Macronutrientes						
Enxofre	S	SO_4^{2-}	32,07	1.000	0,1	30.000
Fósforo	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	30,98	2.000	0,2	60.000
Magnésio	Mg	Mg^{2+}	24,32	2.000	0,2	80.000
Cálcio	Ca	Ca^{2+}	40,08	5.000	0,5	125.000
Potássio	K	K^+	39,10	10.000	1,0	250.000
Nitrogênio	N	NO_3^- , NH_4^+	14,01	15.000	1,5	1.000.000
Oxigênio	O	O_2 , H_2O , CO_2	16,00	450.000	45	30.000.000
Carbono	C	CO_2	12,01	450.000	45	35.000.000
Hidrogênio	H	H_2O	1,01	60.000	6	60.000.000

Adaptado de P. R. Stout, *Proceedings of the Ninth Annual California Fertilizer Conference*, páginas 21-23 (1961).

TABELA 5.2

Classificação dos nutrientes minerais das plantas de acordo com a função bioquímica

Nutriente mineral	Funções
Grupo 1	Nutrientes que fazem parte de compostos de carbono
N	Constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, hexoaminas, etc.
S	Componente da cisteína, cistina, metionina e proteínas. Constituinte do ácido lipóico, coenzima A, tiamina pirofosfato, glutatona, biotina, adenosina-5'-fosfossulfato e 3-fosfoadenosina.
Grupo 2	Nutrientes que são importantes na armazenagem de energia e na integridade estrutural
P	Componentes de fosfato açúcares, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídeos, ácido fítico, etc. Tem papel central em reações que envolvem ATP.
Si	Depositado como sílica amorfa em paredes celulares. Contribui para as propriedades mecânicas das paredes celulares, incluindo rigidez e elasticidade.
B	Complexos com manitol, manans, ácido polimanurônico e outros constituintes das paredes celulares. Envolvido no alongamento celular e no metabolismo de ácidos nucleicos.
Grupo 3	Nutrientes que permanecem na forma iônica
K	Requerido como cofator de mais de 40 enzimas. Principal cátion no estabelecimento do turgor celular e manutenção da eletroneutralidade celular.
Ca	Constituinte da lamela média das paredes celulares. Requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolipídeos. Atua como mensageiro secundário na regulação metabólica.
Mg	Requerido por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfatos. Constituinte da molécula de clorofila.
Cl	Requerido para as reações fotossintéticas envolvendo a evolução de O ₂
Mn	Requerido para a atividade de algumas desidrogenases, descarboxilases, quinases, oxidases e peroxidases. Envolvido com outras enzimas ativadas por cátions e na evolução fotossintética de O ₂
Na	Envolvido na regeneração do fosfoenolpiruvato em plantas C ₄ e CAM. Substitui o potássio em algumas funções.
Grupo 4	Nutrientes que estão envolvidos em reações redox
Fé	Constituinte de citocromos e ferro-proteínas não-heme envolvidas na fotossíntese, fixação de N ₂ e respiração.
Zn	Constituinte da álcool desidrogenase, desidrogenase glutâmica, anidrase carbônica, etc.
Cu	Componente da ácido ascórbico oxidase, tirosinase, monoamina oxidase, uricase, citocromo oxidase, fenolase, lacase e plastocianina.
Ni	Constituinte da urease. Em bactérias fixadoras de N ₂ , é constituinte de hidrogenases.
Mo	Constituinte da nitrogenase, nitrato redutase e xantina desidrogenase.

Fonte: Segundo Evans e Sorger, 1966, e Mengel e Kirkby, 1987.

Quadro 27.1 Exemplos de análises inorgânicas de plantas

Elemento	Concentração do Elemento		
	Alfafa	Milho*	Carvalho Branco**
Macronutrientes			
Nitrogênio	3,12%	2,81%	2,19%
Potássio	2,77	1,86	0,85
Cálcio	1,70	0,40	0,82
Fósforo	0,35	0,28	0,19
Magnésio	0,41	0,27	0,36
Enxofre	0,29	0,18	0,13
Micronutrientes			
Ferro	190 ppm†	110 ppm	126 ppm
Cloro	8800	3100	43
Cobre	9	6	8
Manganês	62	80	572
Zinco	57	27	22
Molibdênio	1,40	1,03	6,21
Boro	35	14	38
Elementos Essenciais para Algumas Plantas ou Organismos			
Sódio	4300 ppm	127 ppm	210 ppm
Cobalto	0,21	0,16	—

* Apenas ramos; grãos não foram incluídos na análise.

** Folha e ramos produzidos por ano.

† Abreviação para parte por milhão; o ppm é igual a unidades de peso de um elemento por milhões de unidades de material vegetal seco em forno, 1% equivale a 10.000 ppm.

Funções do Elemento

Sintomas de deficiência

Macronutrientes

Enxofre	Componente de alguns aminoácidos e proteínas e da coenzima A	Folhas jovens com nervuras e áreas internervais verde-claras
Fósforo	Componente de compostos fosfatados que encerram energia (ATP e ADP), ácidos nucleicos, várias coenzimas, fosfolipídios	Plantas verde-escuras, usualmente acumulando antocianinas e tornando-se vermelhas ou roxas; nos estágios mais avançados do crescimento, os caules atrofiam-se; folhas mais velhas tornam-se marrom-escuras e morrem
Magnésio	Componente da molécula de clorofila, ativador de muitas enzimas	Folhas variegadas ou cloróticas; podem avermelhar-se; algumas vezes com manchas necróticas; ápices foliares e margens tornam-se curvados para cima; são afetadas principalmente as folhas mais velhas; caules delgados
Cálcio	Componente de parede celular; cofator de enzimas, envolvido na permeabilidade da membrana celular, componente da calmodulina, um regulador de membrana e atividade enzimática	Ápices caulinares e radiculares morrem; folhas jovens primeiro formam ganchos e depois os ápices e as margens morrem, adquirindo a aparência de terem sido cortadas nesse local
Potássio	Envolvido na osmose e balanço iônico e na abertura e fechamento de estômatos; ativador de muitas enzimas	Folhas variegadas ou cloróticas com pequenas manchas de tecidos necróticos no ápice e na margem; caules pequenos e fracos; são afetadas principalmente as folhas mais velhas
Nitrogênio	Componente de aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, ácidos nucleicos, clorofilas e coenzimas	Clorose generalizada, especialmente nas folhas mais velhas; nos casos mais graves, as folhas tornam-se completamente amarelas e depois ficam marrons quando morrem; algumas plantas exibem coloração púrpura devido à acumulação de antocianinas

TABELA 30-2 Elementos Essenciais: Funções e Sintomas de Deficiência

Elemento	Funções	Sintomas de Deficiência
Micronutrientes		
Molibdênio	Necessário para a fixação de nitrogênio e a redução do nitrato	Clorose internerval (entre as nervuras) aparecendo primeiro nas folhas mais velhas e depois progredindo para as folhas jovens; clorose seguida por uma necrose gradual das áreas internavais e depois dos tecidos remanescentes
Níquel	Parte essencial do funcionamento enzimático no metabolismo do nitrogênio	Manchas necróticas nas pontas das folhas
Cobre	Ativador ou componente de algumas enzimas envolvidas em oxidação e redução	Folhas jovens verde-escuras, enroladas, deformadas e freqüentemente com manchas necróticas
Zinco	Ativador ou componente de muitas enzimas	Redução do tamanho da folha e do comprimento do entrenó; margens das folhas freqüentemente distorcidas; clorose internerval; afeta principalmente as folhas mais velhas
Manganês	Ativador de algumas enzimas; requerido para integridade da membrana do cloroplasto e para a liberação do oxigênio na fotossíntese	Inicialmente, clorose internerval em folhas jovens ou velhas, dependendo da espécie, seguida por ou associada com manchas necróticas internavais; desorganização das membranas dos tilacóides nos cloroplastos
Boro	Influencia a utilização do Ca^{2+} , a síntese de ácidos nucléicos e a integridade de membrana	Os primeiros sintomas são a falha no alongamento das raízes; folhas jovens verde-claras na base; as folhas tornam-se enroladas e os brotos morrem nas gemas terminais
Ferro	Requerido para a síntese de clorofila; componente dos citocromos e da nitrogenase	Clorose internerval das folhas jovens; caules curtos e finos
Cloro	Envolvido na osmose e balanço iônico; provavelmente essencial nas reações fotossintéticas que produzem oxigênio	Folhas murchas com manchas cloróticas e necróticas; as folhas freqüentemente tornam-se bronzeadas; as raízes se atrofiam e se engrossam nos ápices



-N



- P



- K



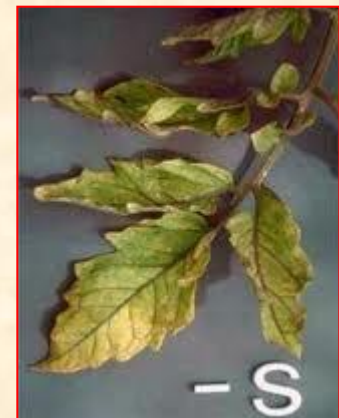
- Ca



- S



- Mg



- S



- Fe



- Cu



- Zn



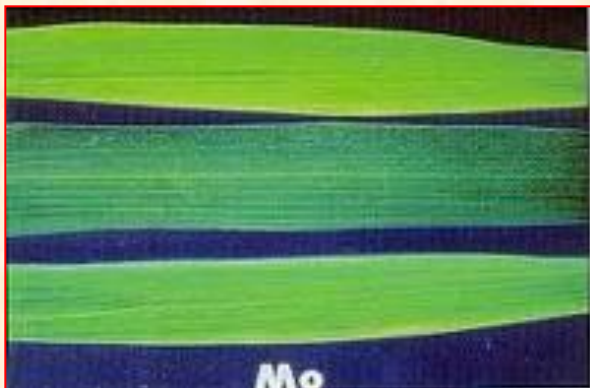
- B



- Mn



- Cl



Mo

[illegible]

NÍVEIS UTILIZADOS PARA INTERPRETAÇÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (PROFERT – MG)

Características	Classificação					
	Unidades	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Cálcio (Ca)	cmolc/dm3	-	0,0 a 1,5	1,6 a 4,0	> 4,0	-
Magnésio (Mg)	cmolc/dm3	-	0,0 a 0,5	0,6 a 1,0	> 1,0	-
Alumínio (Al)	cmolc/dm3	-	0,0 a 0,3	0,4 a 1,0	> 1,0	-
Potássio (K)	mg/dm3	-	0 a 45	46 a 80	> 80	-
Fósforo (P) – Text.Argilosa	mg/dm3	-	0 a 5	6 a 10	> 10	-
Textura Média	mg/dm3	-	0 a 10	11 a 20	> 20	-
Textura Arenosa	mg/dm3	-	0 a 20	21 a 30	> 30	-
Acidez Potencial (H+Al)	cmolc/dm3	-	0,0 a 2,5	2,6 a 5,0	> 5,0	-
Soma de Bases (SB)	cmolc/dm3	-	0,0 a 2,0	2,1 a 5,0	> 5,0	-
CTC Efetiva (t)	cmolc/dm3	-	0,0 a 2,5	2,6 a 6,0	> 6,0	-
Saturação de Al (m)	%	-	0 a 20	21 a 40	41 a 60	> 60
CTC a pH 7,0 (T)	cmolc/dm3	-	0,0 a 4,5	4,6 a 10,0	> 10,0	-
Saturação de Bases (V)	%	0 a 25	26 a 50	51 a 70	71 a 90	> 90
Matéria Orgânica (M.O.)	dag/kg	-	0,0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0	-
pH em água (1:2,5)	Acidez elev < 5,0	Acidez média 5,0 a 5,9	Acidez fraca 6,0 a 6,9	Neutro 7,0	Alcal. fraca 7,1 a 7,8	Alcal.elev. >7,8

mg/dm3 = antigo ppm

cmolc/dm3 = antigo meq/100 cm3

dag/kg = antigo %



Matacões > 200 mm



Calhaus 200 a 20 mm



Cascalho 20 a 2 mm



Areia grossa 2 a 0,2 mm



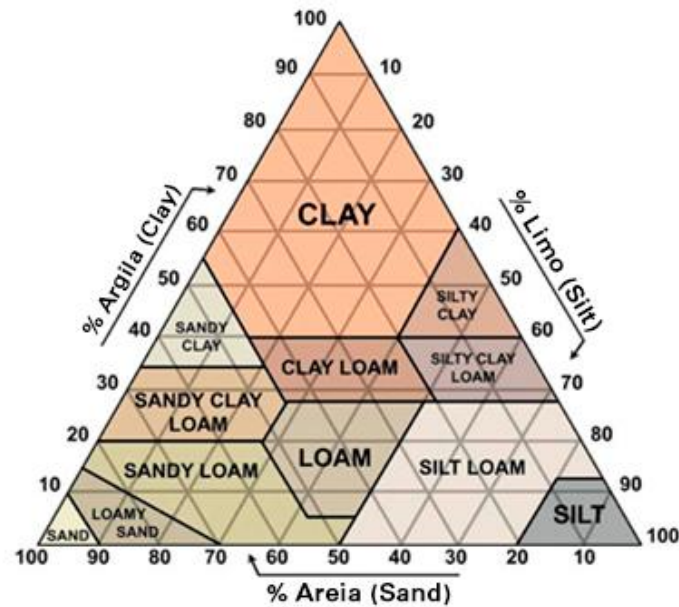
Areia fina 0,2 a 0,02 mm

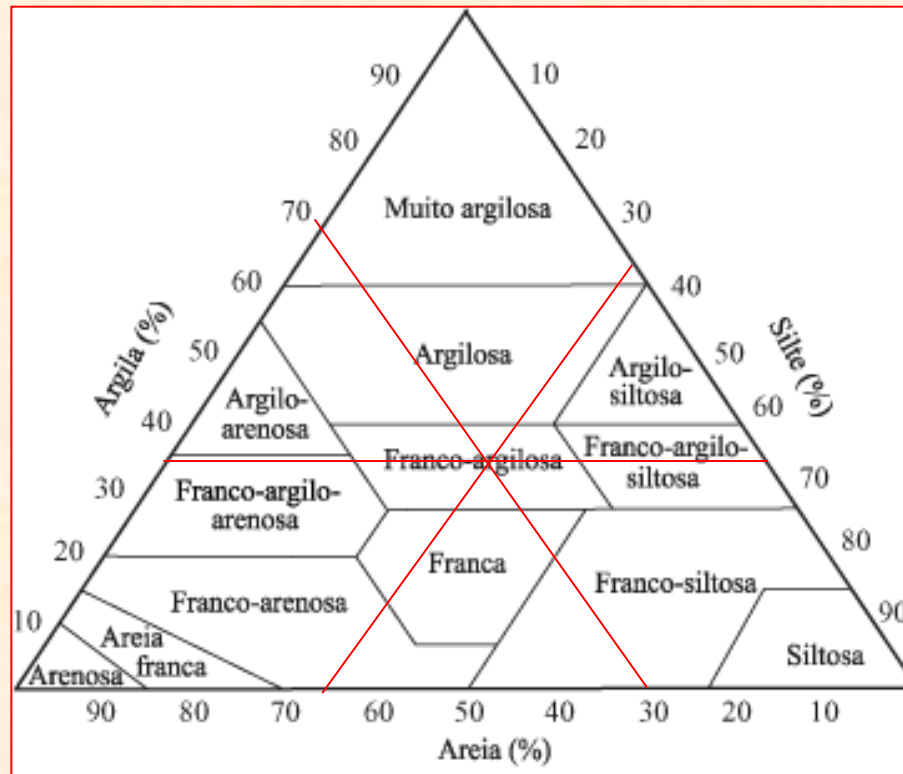


Silte 0,02 a 0,002 mm



Argila < 0,002 mm





Areia: 30%

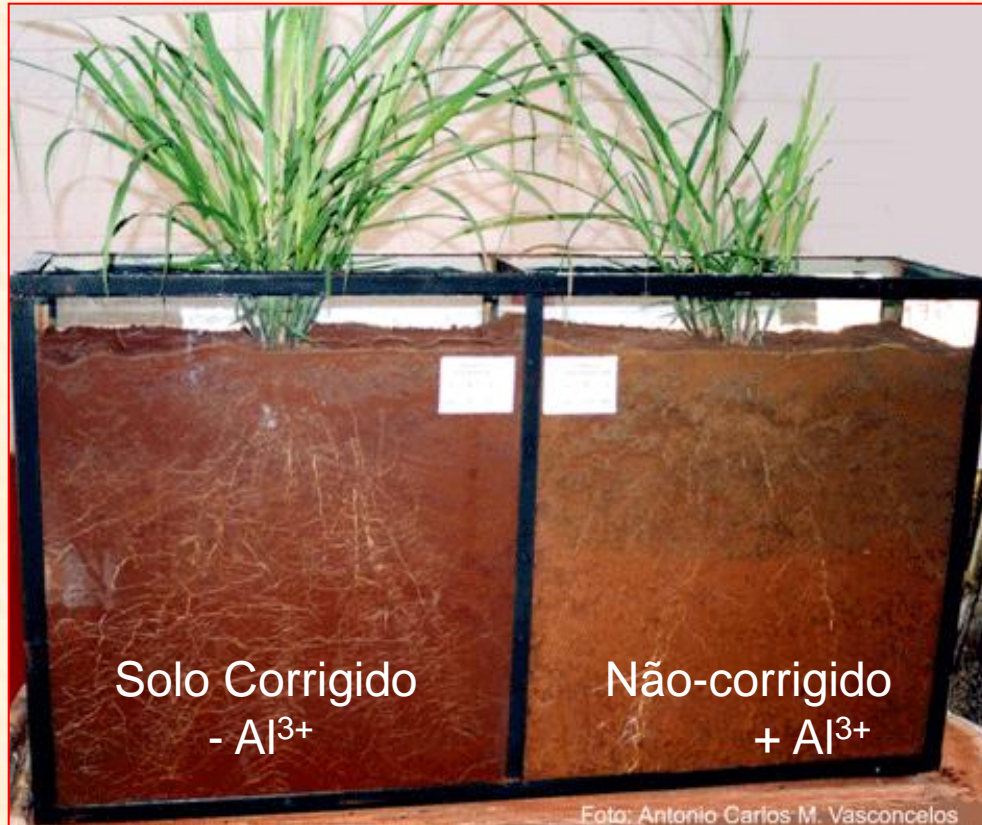
Argila: 35%

Silte: 35%

Solo franco-argiloso



Calagem



Determinações

Sigla	Descrição	Unidade	2831
Al	Alumínio	cmolc/dm3	0,9
Ca	Cálcio	cmolc/dm3	0,7
Mg	Magnésio	cmolc/dm3	0,2
K	Potássio	mg/dm3	36,0
P	Fósforo Mehlich	mg/dm3	2,0
pH	em água 1:2,5		4,9
H+Al	Ac.Potencial	cmolc/dm3	7,0
S.B.	Soma Bases	cmolc/dm3	1,0
t	CTC efetiva	cmolc/dm3	1,9
T	CTC a pH 7.0	cmolc/dm3	8,0
m	Sat.Al	%	47,4
V	Sat.Bases	%	12,5
C	Carbono	dag/kg	2,15
M.O.	Matéria Orgânica	dag/kg	3,71
P	Fósforo Resina	mg/dm3	

Considerando o resultado da análise de solo apresentada ao lado, calcule a necessidade de calagem e a adubação corretiva de K e de P para um cultivo de arroz de sequeiro. Considere se tratar de um solo arenoso, em área de Cerrado.

Fonte: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, CFSEMG, 5ª. aproximação, 1999.

<http://www.ufrb.edu.br/biblioteca/documentos-para-download/publicacoes-digitais/331-recomendacoes-para-o-uso-de-corretivos-e-fertilizantes-em-minas-gerais-5o-aproximacao/download>



NÍVEIS UTILIZADOS PARA INTERPRETAÇÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (PROFERT – MG)

Características	Unidades	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Cálcio (Ca)	cmolc/dm3	-	0,0 a 1,5	1,6 a 4,0	> 4,0	-
Magnésio (Mg)	cmolc/dm3	-	0,0 a 0,5	0,6 a 1,0	> 1,0	-
Alumínio (Al)	cmolc/dm3	-	0,0 a 0,3	0,4 a 1,0	> 1,0	-
Potássio (K)	mg/dm3	-	0 a 45	46 a 80	> 80	-
Fósforo (P) – Text.Argilosa Textuta Média Textura Arenosa	mg/dm3	-	0 a 5	6 a 10	> 10	-
	mg/dm3	-	0 a 10	11 a 20	> 20	-
	mg/dm3	-	0 a 20	21 a 30	> 30	-
Acidez Potencial (H+Al)	cmolc/dm3	-	0,0 a 2,5	2,6 a 5,0	> 5,0	-
Soma de Bases (SB)	cmolc/dm3	-	0,0 a 2,0	2,1 a 5,0	> 5,0	-
CTC Efetiva (t)	cmolc/dm3	-	0,0 a 2,5	2,6 a 6,0	> 6,0	-
Saturação de Al (m)	%	-	0 a 20	21 a 40	41 a 60	> 60
CTC a pH 7,0 (T)	cmolc/dm3	-	0,0 a 4,5	4,6 a 10,0	> 10,0	-
Saturação de Bases (V)	%	0 a 25	26 a 50	51 a 70	71 a 90	> 90
Matéria Orgânica (M.O.)	dag/kg	-	0,0 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0	-
pH em água (1:2,5)	Acidez elev < 5,0	Acidez média 5,0 a 5,9	Acidez fraca 6,0 a 6,9	Neutro 7,0	Alcal. fraca 7,1 a 7,8	Alcal.elev. >7,8

mg/dm3 = antigo ppm

cmolc/dm3 = antigo meq/100 cm3

dag/kg = antigo %

Adubos & Adubações

E. Malavolta
F. Pinheiro-Gomes
J. C. Alcarde

Adubos minerais e orgânicos
Interpretação da análise do solo
Prática da adubação

Edição revista e atualizada do grande clássico da agricultura nacional

Nobel

1.1.Cálculo da necessidade de calagem:

Para estimar a necessidade de calagem, correspondente à dose de calcário a ser utilizada no solo, utiliza-se o “Método da Saturação por bases”.

Neste método, utiliza-se a relação existente entre o pH e a saturação por base (V).

$$NC = T (Ve - Va) / 100$$

Onde:

NC = necessidade de calagem

T = CTC do solo a pH 7,0 em cmolc/dm³

Ve = saturação por base desejada ou esperada para a cultura implantada, em %

Va = saturação por base atual do solo, em %

Para o cultivo de arroz de sequeiro em um solo arenoso de cerrado, os valores utilizados para os parâmetros acima são:

T = 8,0 cmolc/dm³

Ve = 50%

Va = 12,5%, Assim:

$$NC = 8,0 (50 - 12,5) / 100$$

$$NC = 3,0 \text{ toneladas / ha}$$

Determinações			
Sigla	Descrição	Unidade	2831
Al	Alumínio	cmolc/dm3	0,9
Ca	Cálcio	cmolc/dm3	0,7
Mg	Magnésio	cmolc/dm3	0,2
K	Potássio	mg/dm3	36,0
P	Fósforo Mehlich	mg/dm3	2,0
pH	em água 1:2,5		4,9
H+Al	Ac.Potencial	cmolc/dm3	7,0
S.B.	Soma Bases	cmolc/dm3	1,0
t	CTC efetiva	cmolc/dm3	1,9
T	CTC a pH 7.0	cmolc/dm3	8,0
m	Sat.Al	%	47,4
V	Sat.Bases	%	12,5
C	Carbono	dag/kg	2,15
M.O.	Matéria Orgânica	dag/kg	3,71
P	Fósforo Resina	mg/dm3	

Adubação Corretiva de Fósforo (P):

A análise nutrientes solo arenoso área de Cerrado: 2,0 mg/dm³ de P. PROFERT-MG: apresenta **baixo teor de fósforo**.

Para arroz de sequeiro cultivado em solos arenosos do Cerrado, a CFSEMG (1999) recomenda **120 kg/ha** de P₂O₅ permitindo elevar o nível desse nutriente na planta a fim de aumentar sua produtividade.

Adubação Corretiva de Potássio (K):

Deficiência de potássio na cultura de arroz não é tão comum como a de fósforo. Entretanto, solos muito arenosos, com baixa capacidade de retenção de potássio, podem apresentar deficiência de K conforme verificado pela análise dos nutrientes do solo de Cerrado que apresentou 36,0 mg/dm³ de potássio.

A dose de K₂O recomendada varia de **30 a 50 kg/ha**, (Fageria et al. 1995) para a cultura de arroz de sequeiro.

Determinações

Sigla	Descrição	Unidade	2831
Al	Alumínio	cmolc/dm ³	0,9
Ca	Cálcio	cmolc/dm ³	0,7
Mg	Magnésio	cmolc/dm ³	0,2
K	Potássio	mg/dm ³	36,0
P	Fósforo Mehlich	mg/dm ³	2,0
pH	em água 1:2,5		4,9
H+Al	Ac.Potencial	cmolc/dm ³	7,0
S.B.	Soma Bases	cmolc/dm ³	1,0
t	CTC efetiva	cmolc/dm ³	1,9
T	CTC a pH 7.0	cmolc/dm ³	8,0
m	Sat.Al	%	47,4
V	Sat.Bases	%	12,5
C	Carbono	dag/kg	2,15
M.O.	Matéria Orgânica	dag/kg	3,71
P	Fósforo Resina	mg/dm ³	

Tabela 1: Recomendação de adubação corretiva de K para culturas anuais conforme a disponibilidade do nutriente em solos de Cerrado.

Como:

- CTC a pH 7,0 = 8,0 cmolc / dm³ ; e

- Teor de potássio = 36,0 mg / dm³

Nível médio de adubação de potássio ⇨

Adicionar 50 kg de K₂O / ha

Teor de K (mg/ dm³)

Interpretação

CTC a pH 7,0 menor do que 4,0 cmol_c/dm³

≤ 15 Baixo

16 a 30 Médio

31 a 40 Adequado

> 40 Alto

CTC a pH 7,0 igual ou maior do que 4,0 cmol_c/dm³

≤ 25 Baixo

26 a 50 **Teor de K = 36 mg / dm³** Médio

51 a 80 Adequado

> 80 Alto

Interpretação*

Corretiva total

kg de K₂O/ha

CTC a pH 7,0 menor do que 4,0 cmol_c/dm³

Baixo 50

Médio 25

Adequado^{1/} 0

Alto^{2/} 0

CTC a pH 7,0 igual ou maior do que 4,0 cmol_c/dm³

Baixo 100

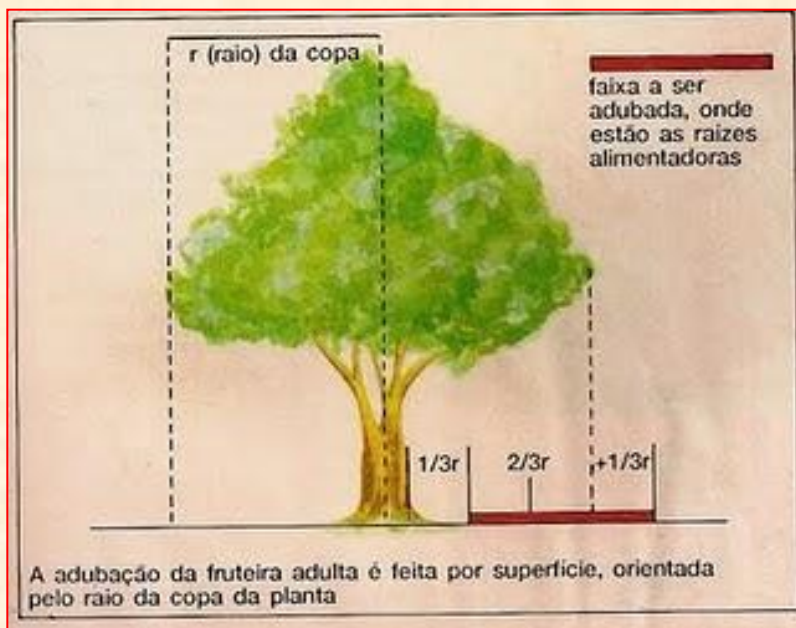
Médio 50

Adequado^{1/} 0

Alto^{2/} 0

CTC a pH 7,0 = 8,0 cmolc / dm³





Solubilidade em Água de Alguns Produtos Puros

FERTILIZANTE	FÓRMULA	SOLUBILIDADE EM ÁGUA - g/l ⁽¹⁾		
		0°C	20°C	29°C
NITROGENADOS				
Nitrato de Amônio	NH ₄ NO ₃	1.180	1.990	2.390
Nitrato de Cálcio	Ca(NO ₂) ₂	1.020	1.200	3.450
Nitrato de Sódio	NaNO ₃	730	-	-
Sulfato de Amônio	(NH ₄) ₂ SO ₄	710	750	780
Uréia	CO(NH ₂) ₂	670	1.070	1.310
FOSFATADOS				
MAP	NH ₄ H ₂ PO ₄	230	380	460
DAP	(NH ₄) ₂ HPO ₄	430	700	750
POTÁSSICOS				
Cloreto de Potássio	KCl	280	340	370
Nitrato de Potássio	KNO ₃	130	320	450
Sulfato de Potássio	K ₂ SO ₄	70	110	130

Tabela 1. Porcentagem média de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) na composição dos principais fertilizantes químicos utilizados na produção de pimenta.

Fonte: Ribeiro et al., 1999.

Fertilizantes químicos	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
Uréia	44	-	-
Sulfato de amônio	20	-	-
Superfosfato simples	-	18	-
Superfosfato triplo	-	41	-
Cloreto de potássio	-	-	58
Sulfato de potássio	-	-	48
Formulação NPK 4-14-8	4	14	8
Formulação NPK 4-30-16	4	30	1

Tabela 2. Porcentagem média de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) na composição, com base na matéria seca, de adubos orgânicos utilizados na produção de pimenta.

Adubo orgânico	MO (%)	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
Esterco de bovinos	57	1,7	0,9	1,4
Esterco de equinos	46	1,4	0,5	1,7
Esterco de suínos	53	1,9	0,7	0,4
Esterco de ovinos	65	1,4	1,0	2,0
Esterco de aves	50	3,0	3,0	2,0
Composto orgânico	31	1,4	1,4	0,8

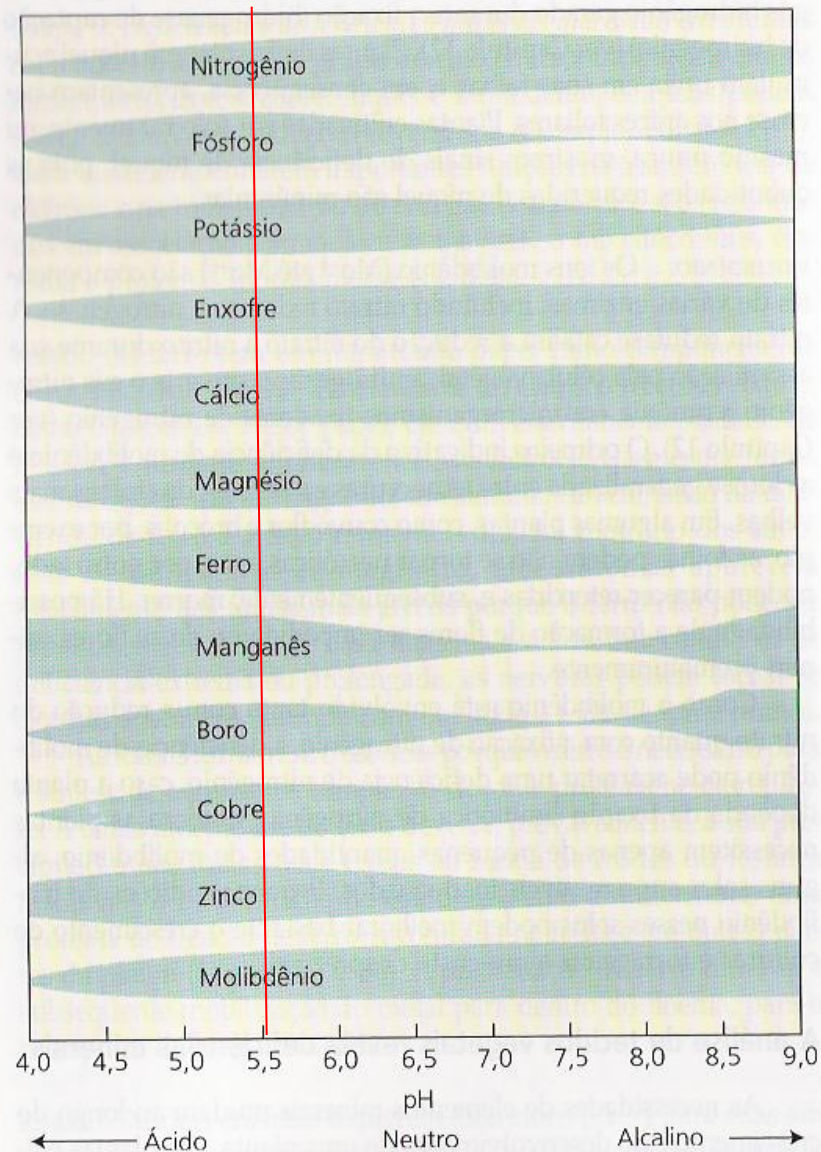


FIGURA 5.4 Influência do pH do solo na disponibilidade de nutrientes em solos orgânicos. A espessura das áreas sombreadas indica o grau de disponibilidade do nutriente para a raiz do vegetal. Todos esses nutrientes estão disponíveis na faixa de pH de 5,5 a 6,5 (Lucas e Davis, 1961).

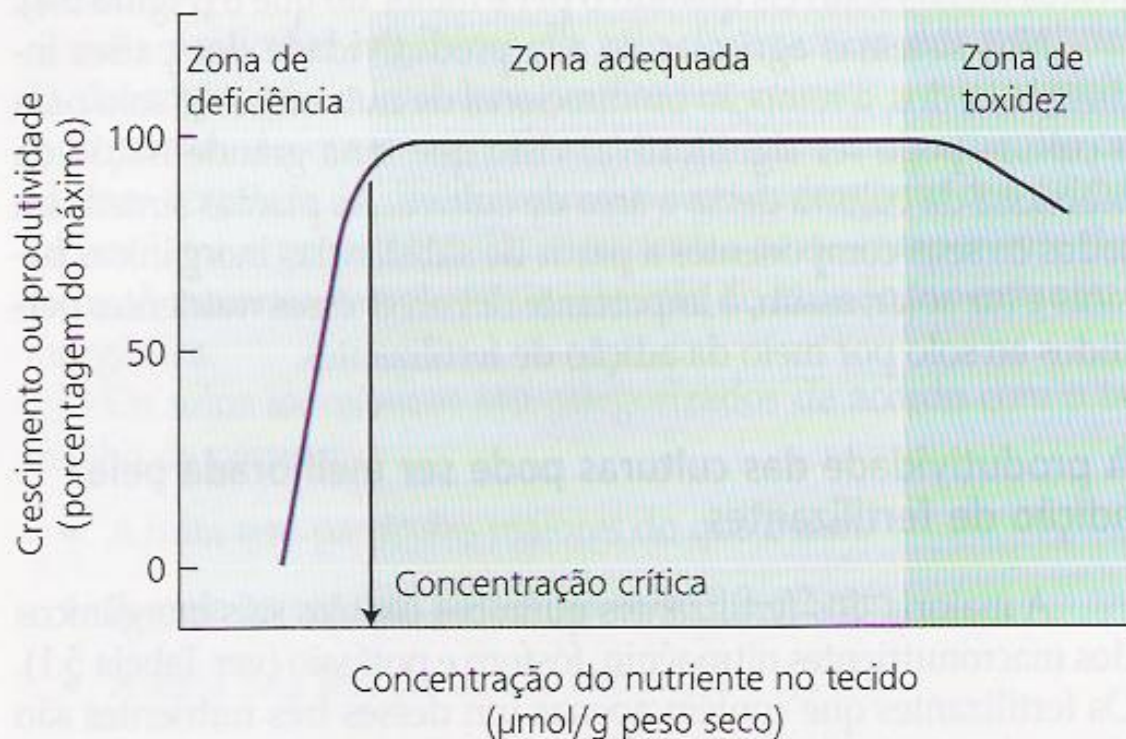


FIGURA 5.3 Relação entre produtividade (ou crescimento) e conteúdo de nutriente do tecido vegetal. O parâmetro de produtividade pode ser expresso em termos de massa seca de parte aérea ou altura. Três zonas — de deficiência, adequada e de toxidez — são indicadas no gráfico. Para gerar dados desse tipo, as plantas são cultivadas sob condições nas quais a concentração de um nutriente essencial é alterada, enquanto os demais são adequadamente supridos. O efeito da variação na concentração desse nutriente durante o crescimento da planta reflete-se no crescimento ou na produtividade. A concentração crítica desse nutriente é a concentração abaixo da qual a produtividade ou crescimento são reduzidos.

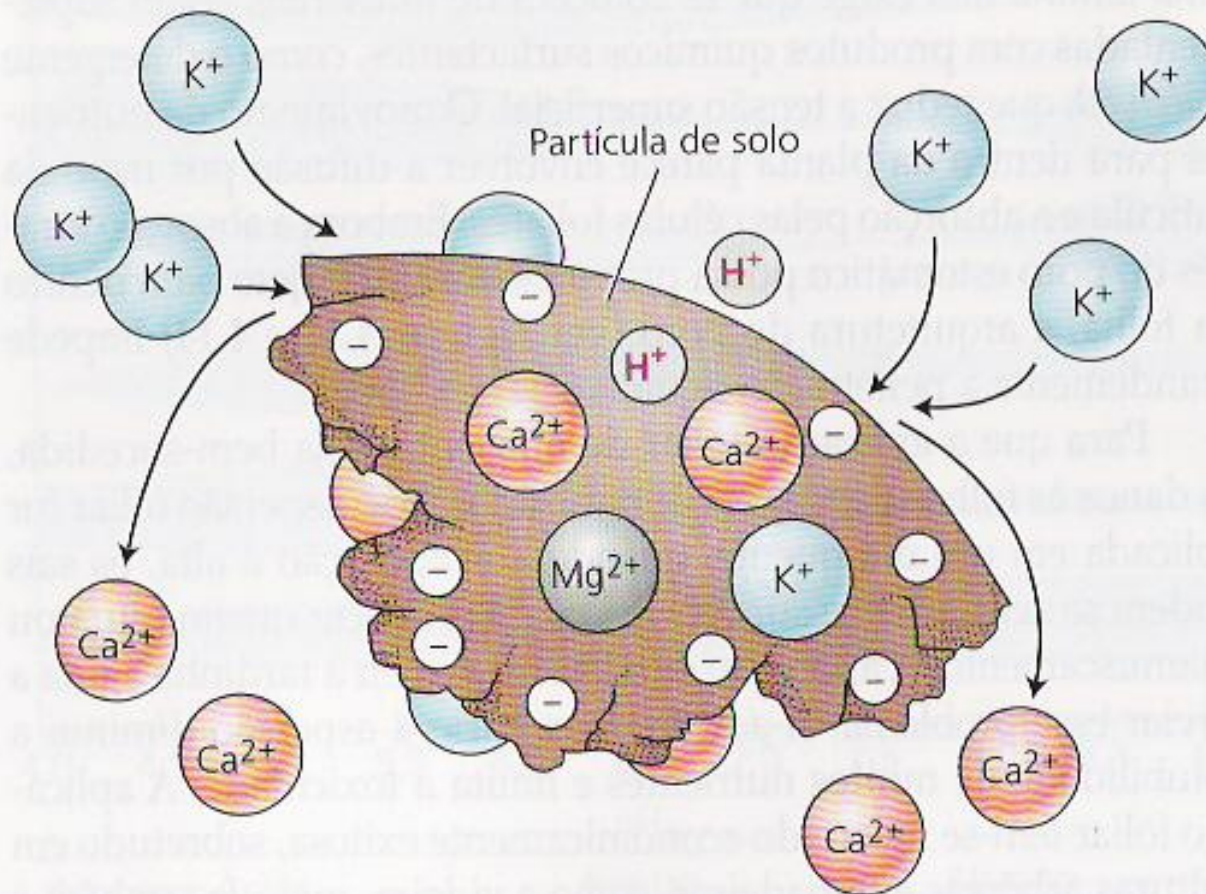


FIGURA 5.5 O princípio da troca de catiônica na superfície de uma partícula de solo. Os cátions são ligados à superfície das partículas do solo porque a superfície é carregada negativamente. A adição de um cátion como o potássio (K^{+}) pode deslocar outro cátion como o cálcio (Ca^{2+}) de sua ligação na superfície da partícula de solo e torná-lo disponível para a absorção pelas raízes.



Área degradada por acúmulo de íons metálicos e metais pesados

Julio Cesar da Matta e Andrade
Sílvia Roberto de Lucena Tavares
Cláudio Fernando Mahler

o uso
de plantas
na melhoria
da qualidade ambiental

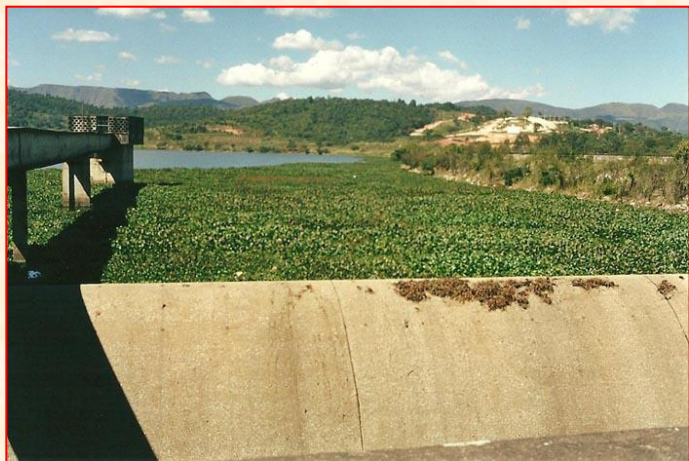
oficina de textos

Fitorremediação

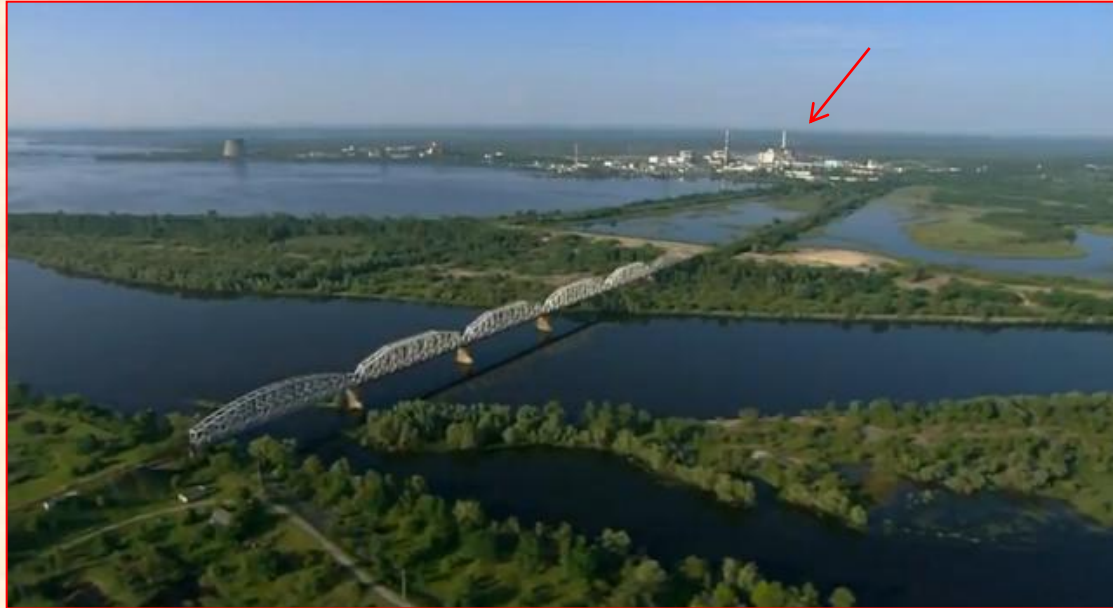




Aguapé







Lobos de Chernobyl

http://www.youtube.com/watch?v=srSdl47GPkE&feature=player_detailpage



Phytoremediation Overview

Screening of Plant Species for Phytoremediation of Uranium, Thorium, Barium, Nickel, Strontium and Lead Contaminated Soils from a Uranium Mill Tailings Repository in South China

Guang-yue Li · Nan Hu · De-xin Ding ·
Ji-fang Zheng · Yu-long Liu · Yong-dong Wang ·
Xiao-qin Nie

Received: 11 December 2010 / Accepted: 18 April 2011 / Published online: 27 April 2011
© Springer Science+Business Media, LLC 2011

Abstract The concentrations of uranium, thorium, barium, nickel, strontium and lead in the samples of the tailings and plant species collected from a uranium mill tailings repository in South China were analyzed. Then, the removal capability of a plant for a target element was assessed. It was found that *Phragmites australis* had the greatest removal capabilities for uranium (820 µg), thorium (103 µg) and lead (1,870 µg). *Miscanthus floridulus* had the greatest removal capabilities for barium (3,730 µg) and nickel (667 µg), and *Parthenocissus quinquefolia* had the greatest removal capability for strontium (3,920 µg). In this study, a novel coefficient, termed as phytoremediation factor (PF), was proposed, for the first time, to assess the potential of a plant to be used in phytoremediation of a target element contaminated soil. *Phragmites australis* has the highest PFs for uranium (16.6), thorium (8.68), barium (10.0) and lead (10.5). *Miscanthus floridulus* has the highest PF for Ni (25.0). *Broussonetia papyrifera* and *Parthenocissus quinquefolia* have the relatively high PFs for strontium (28.1 and 25.4, respectively). On the basis of the definition for a hyperaccumulator, only *Cyperus iria* and *Parthenocissus quinquefolia* satisfied the criteria for hyperaccumulator of uranium (36.4 µg/g) and strontium (190 µg/g), and could

removal capabilities of a plant for a target element, and is more adequate for assessing the potential of a plant to be used in phytoremediation than conventional method.

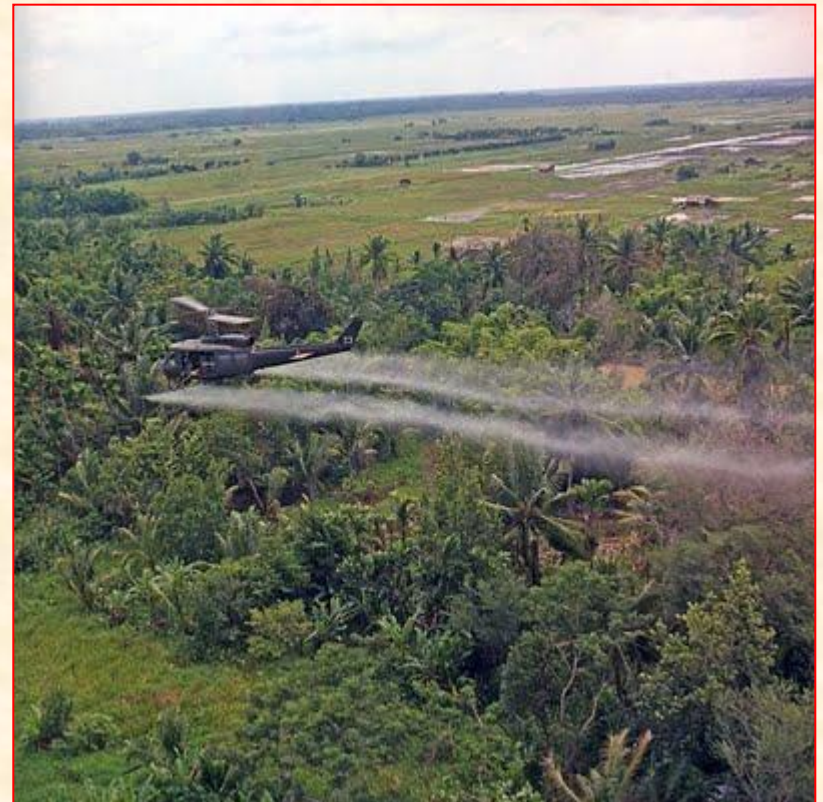
Keywords Uranium · Thorium · Hyperaccumulator · Mill tailings · Phytoremediation factor

Uranium mill tailings contains long-lived radioactive nuclides and heavy metals (Landa 2004). Although the uranium mill tailings is deposited in a specially designed and constructed repository, the radioactive nuclides and heavy metals will transport to the soil around the repository and pose a great threat to the ecosystem, agro-system and people's health (Frostick et al. 2008). Therefore, it is necessary to study the remediation techniques for the uranium mill tailings contaminated soil and the tailings itself.

One of the promising strategies for treating the large-scale low-level contamination is the use of phytoremediation technique (AbdEl-Sabour 2007). In recent years, many researchers have studied the soil sampling and mapping of contamination, the relative uptake of radioactive nuclides by various plant species, and the improvement of the uptake by adding fertilizers, organic acids or chelating



Aplicação do Agente Laranja
Vietnã



Unfinished Business

Agent Orange in Vietnam

From March 3 to 7, 2002, an international conference of predominantly American and Vietnamese scientists gathered in Hanoi under the auspices of the National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS, part of NIH) and its Vietnamese counterpart organization to examine the environmental and public health consequences of the massive use of Agent Orange during the Vietnam War. I was asked to join the American delegation, and at the end of the conference, also served as co-chairman with Vo Quy, a distinguished ecologist from the University of Hanoi, of an additional smaller convocation of appropriate botanists and environmentalists to plan for future cooperative international activities. At the end of all sessions, officials of both countries signed a memorandum of understanding, spelling out conditions under which such cooperative activities might be undertaken. These developments followed establishment of formal diplomatic relations between the two countries in 1995, and the conclusion of a trade treaty within the last year.

This meeting represented one of the first actions taken by the United States to recognize the existence of continuing problems resulting from our aerial distribution of the formulated abscission-inducing and herbicidal mixture of 2,4-D and 2,4,5-T that became known as Agent Orange. The development of such herbicides and defoliants resulted directly from fundamental investigations on plant hormones, especially auxin, performed mainly by plant physiologists. The defoliation campaign, which lasted from about 1964 to 1970, was undertaken primarily to reveal military activities along the Ho Chi Minh Trail, a network of pathways used to ferry

personnel and materiel from the North to regions of the South in which military activity was occurring. Once these activities were revealed, they were subjected to aerial interdiction. Under the code name Operation Ranch Hand, groups of four cargo planes outfitted with tanks and spraying booms would fly in formation over vast areas of upland forest and later over mangrove communities lining the estuaries below Saigon, releasing a spray of the herbicide that defoliated trees after several days. Some areas received multiple spray treatment, resulting in considerable killing.

By the time the operation was brought to a halt by President Nixon in 1970, it had become the largest chemical warfare operation in history, having covered an area equivalent to two-thirds of the state of Massachusetts. The ecological damage resulting from the operation was vast; in the upland forest regions, many valuable timber trees such as teak were killed, and the area they had occupied was taken over largely by a mixture of scrub bamboo and noxious weeds such as wire grass and Imperata grass. Mangrove communities proved remarkably sensitive to the herbicide, a single spray resulting in almost complete killing. In view of the importance of mangroves in the life cycles of fish and shellfish, one of the main protein sources for the Vietnamese people, this damage was serious. Neither mangrove nor upland forest communities have recovered substantially in the quarter century that has elapsed since the end of the war, despite energetic but poorly funded interventions by the Vietnamese.

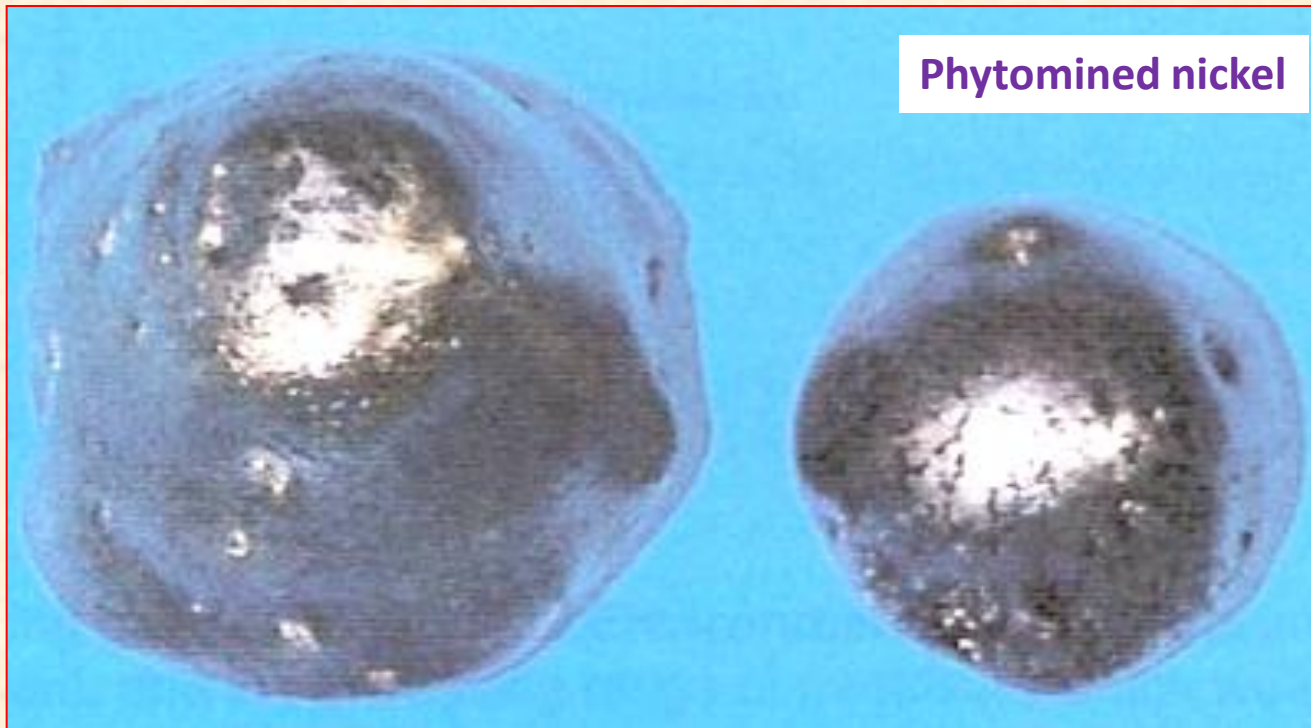
Public health considerations became apparent after the discovery that Agent Orange was contaminated by dioxins that

arose as byproducts of the synthesis of 2,4,5-T. This herbicide is usually synthesized from 2,4,5-trichlorophenol and halogenated acetic acid under alkaline conditions. When the reaction goes as planned, the phenolic and acetic acid moieties couple to form the desired product; but when two of the phenolic moieties couple in a head-to-tail fashion, they form the unwanted highly toxic side products called dioxins, of which 2,3,7,8-tetrachloro-para dibenzodioxin (TCDD) is the most toxic. This compound is highly teratogenic and probably carcinogenic to rodents and probably humans in the parts-per-trillion range. Since the aerial spray of Agent Orange drifted over populated areas, it contaminated people, water, and food, producing still largely uncharacterized damage. It is known that soil around former airbases like Da Nang are still grossly contaminated with dangerous levels of dioxins and that various levels of TCDD have been detected in people, fish, plant materials, and soil. Obviously, there is much analytical and remediation work to be done in both the ecological and public health fields, but whether such work will be undertaken depends on the extent to which further activities will be funded by NIEHS.

It would seem appropriate for the American Society of Plant Biologists, as part of its public activities agenda, to lend active support to efforts to promote such investigation and remediation.

Arthur W. Galston

Eaton Professor of Botany Emeritus
Department of Molecular, Cellular and
Development Biology
Yale University
New Haven, CT 06520-8103



Os lingotes de níquel que foram ‘fitominerados” usando a espécie hiperacumuladora de níquel *Berkheya coddii*. Essa espécie pode ser usada para extrair comercialmente níquel em áreas extensas de solos ultramáficos (solos ricos em minerais ferro-magnesianos e e em alguns metais pesados como Cr, Ni e Co) de baixa fertilidade. A [Phyto-DSS](#) determinou a viabilidade e a natureza dessa operação.

Alpine Pennycress (*Thlaspi caerulescens* = *Noccaea caerulescens*)



Hiperacumuladora

Alpine Pennycress (*Thlaspi caerulescens* = *Nocca caerulescens*)





Leaves accumulate metals and are harvested to prevent soil recontamination.

Roots take up metals from contaminated soils and transport the metals to stems and leaves.

Rota de absorção de água e íons

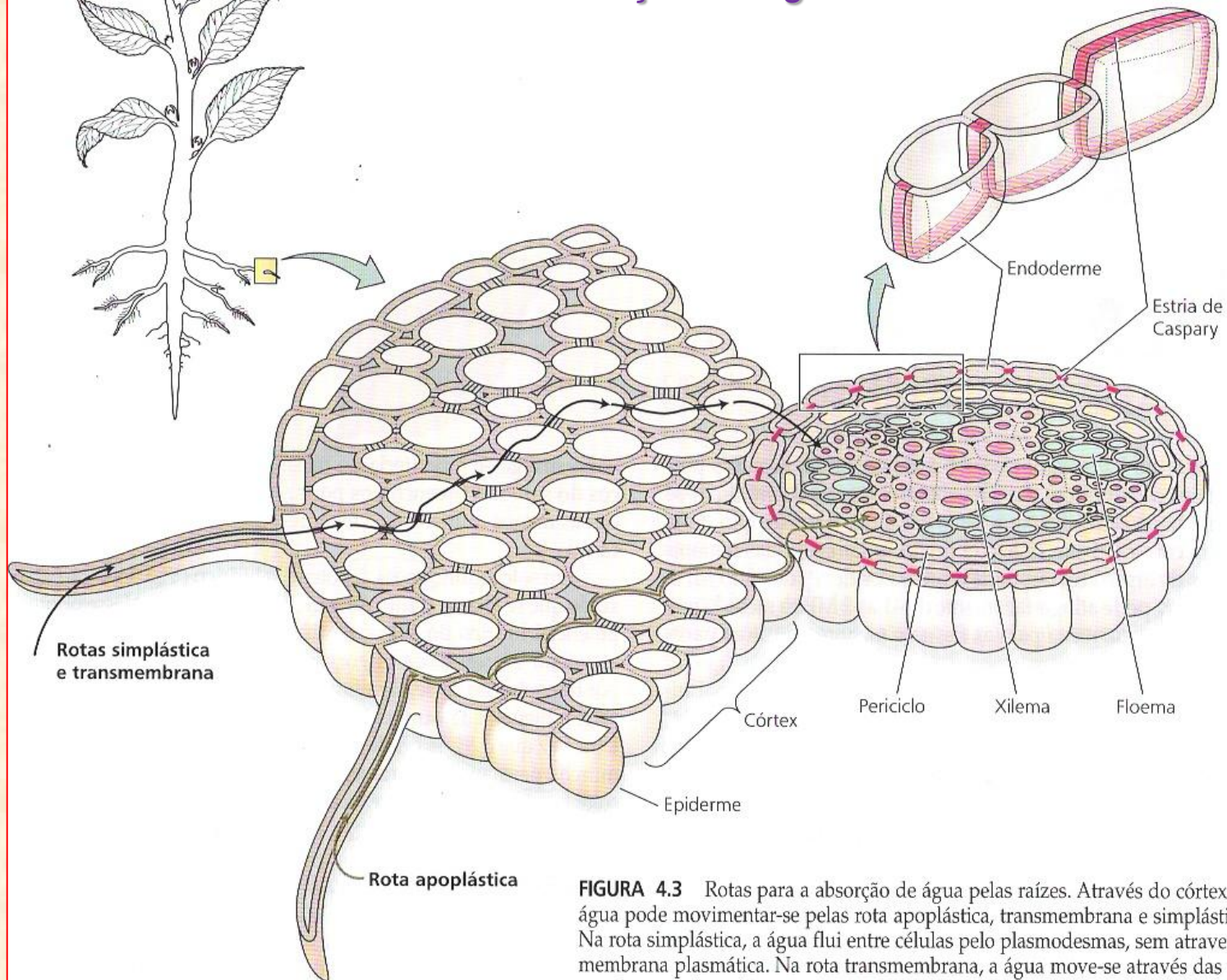
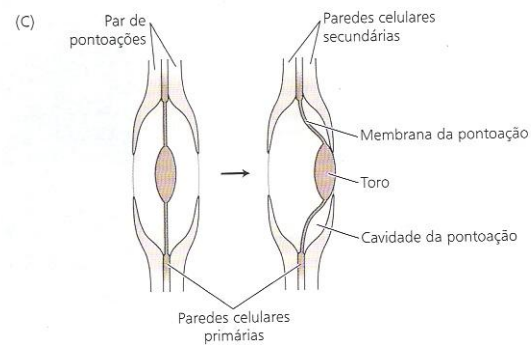
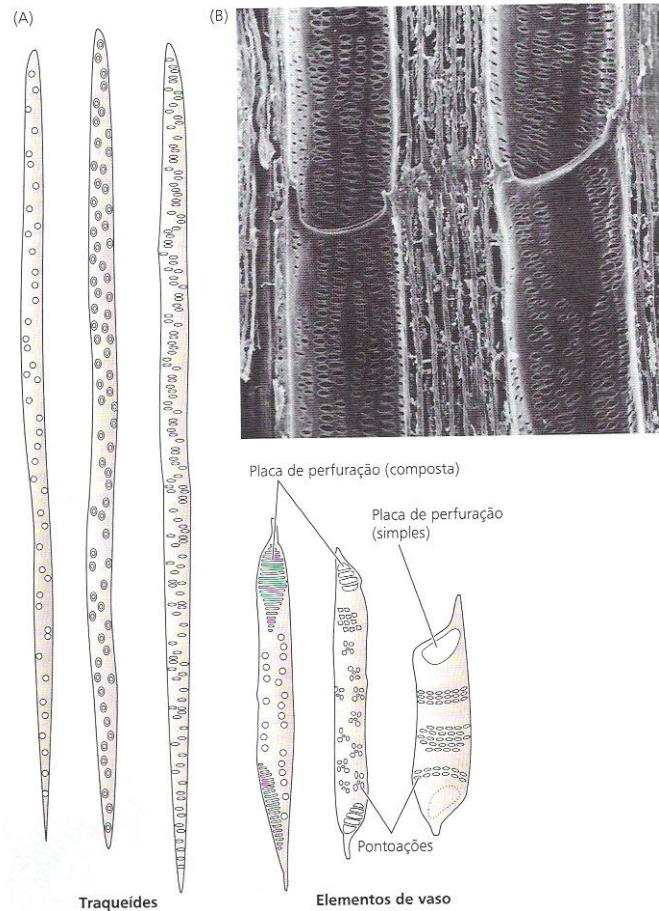


FIGURA 4.3 Rotas para a absorção de água pelas raízes. Através do córtex, a água pode movimentar-se pelas rota apoplástica, transmembrana e simplástica. Na rota simplástica, a água flui entre células pelo plasmodesmas, sem atravessar a membrana plasmática. Na rota transmembrana, a água move-se através das membranas plasmáticas, com uma curta permanência no espaço da parede celular. Na endoderme, a rota apoplástica é bloqueada pela estria de Caspary.

Hipóteses para o transporte ativo (com gasto de ATP) dos ânions através das raízes

a) **Hipótese da bomba estelar:** *uma única bomba existe nas células do estelo; ela bombeia ânions para as células do parênquima do xilema que, por sua vez, têm função de acumular os íons e de secretá-los nos vasos do xilema.*

b) **Hipótese das duas bombas:** *duas bombas operariam radialmente no simplasma: uma nas células corticais e, a outra, nas células do parênquima do xilema.*



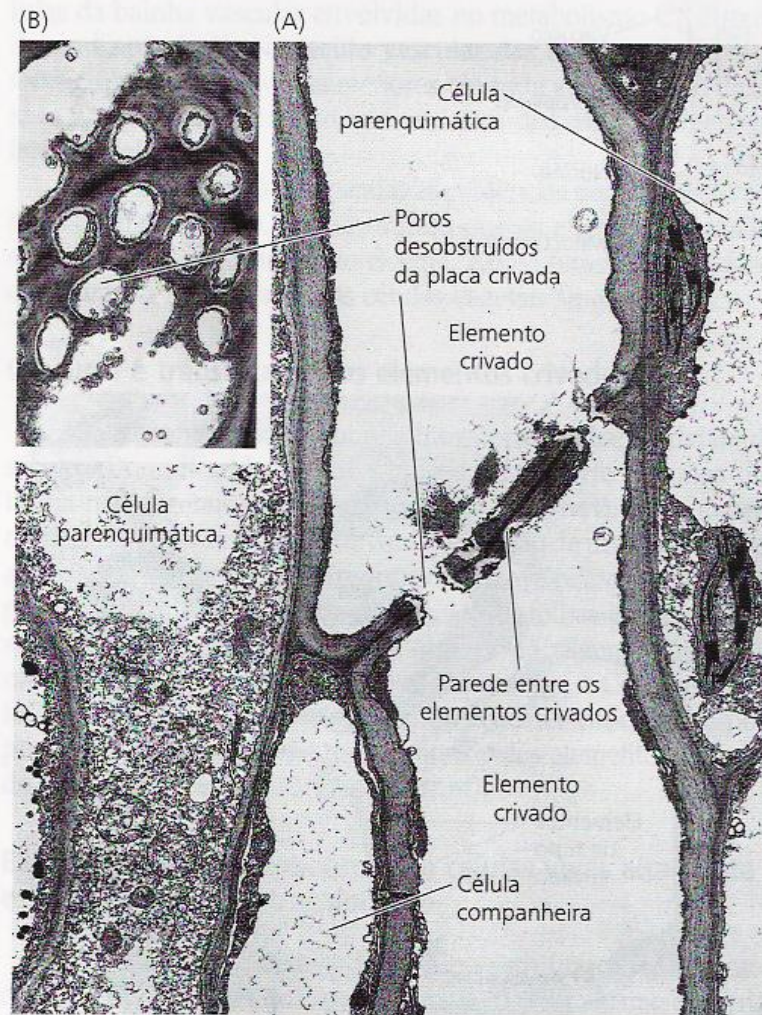


FIGURA 10.5 Elementos crivados e poros abertos da placa crivada. (A) Electromicrografia de uma seção longitudinal de dois elementos crivados maduros (elementos de tubo crivado), mostrando a parede entre os elementos crivados (denominados uma placa crivada) no hipocótilo de abóbora (*Cucurbita maxima*) (3.685x). (B) O detalhe mostra os poros de uma placa crivada na visão frontal. (4.280x). Em ambas as imagens, A e B, os poros da placa crivada estão abertos — isto é, não-obstruídos pela proteína-P (Evert, 1982).

Redistribuição dos Íons no Floema:

- O pH e concentração do floema reduzem a solubilidade de alguns elementos:
- **Elementos químicos móveis no floema (floema-móvel):** *sintomas de deficiência ocorrem primeiro nas partes mais velhas (folhas velhas) da planta; o elemento pode ser desmobilizado e transportado, através do floema, para as regiões de crescimento. Exemplos: nitrogênio, fósforo, potássio*
- **Elementos químicos imóveis no floema:** *O cálcio forma complexos insolúveis, precipitando na forma de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou de $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$. O boro forma complexos do tipo cis-diol, também insolúveis no floema. Sintomas de deficiência aparecem primeiro nas partes novas (meristemas) das plantas; solo ou solução nutritiva não possuem os elementos em concentração suficiente e os mesmos não podem ser transportados das partes mais velhas das plantas; os meristemas ficam deficientes nesses elementos que apresentam participação na estrutura, na integridade das membranas e na composição da parede, provocando necroses e morte dos brotos apicais (die back)*
- **Mobilidade Intermediária:** *ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio*



-N



- P



- K



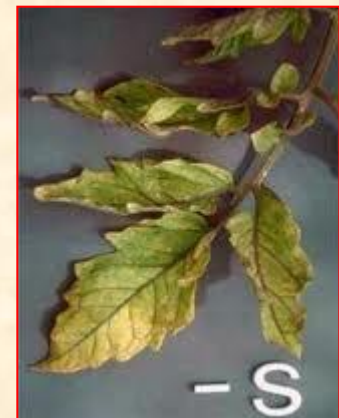
- Ca



- Mg



- S



- S



- Fe



- Cu



- Zn



- B



- Mn

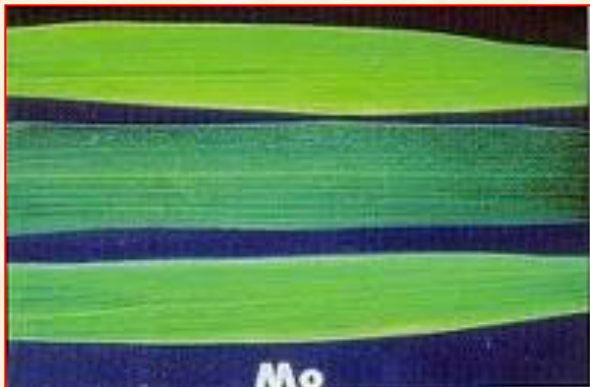


TABELA 5.3

Composição de uma solução de Hoagland modificada para cultivo de plantas

Composto	Peso molecular	Concentração da solução-estoque	Concentração da solução-estoque	Volume de solução-estoque por volume final de solução	Elemento	Concentração final do elemento	
	g mol ⁻¹	MM	g L ⁻¹	mL		µM	ppm
Macronutrientes							
KNO ₃	101,10	1.000	101,10	6,0	N	16.000	224
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	236,16	1.000	236,16	4,0	K	6.000	235
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,08	1.000	115,08	2,0	Ca	4.000	160
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246,48	1.000	246,49	1,0	P	2.000	62
					S	1.000	32
					Mg	1.000	24
Micronutrientes							
KCl	74,55	25	1,864	2,0	Cl	50	1,77
H ₃ BO ₃	61,83	12,5	0,773		B	25	0,27
MnSO ₄ ·H ₂ O	169,01	1,0	0,169		M	2,0	0,11
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	287,54	1,0	0,288		Zn	2,0	0,13
CuSO ₄ ·5H ₂ O	249,68	0,25	0,062		Cu	0,5	0,03
H ₂ MoO ₄ (85%MoO ₃)	161,97	0,25	0,040	0,3-1,0	Mo	0,5	0,05
NaFeDTPA (10%Fe)	468,20	64	30,0		Fe	16,1-53,7	1,00-3,00
Opcional^a							
NiSO ₄ ·6H ₂ O	262,86	0,25	0,066	2,0	Ni	0,5	0,03
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	284,20	1.000	284,20	1,0	Si	1.000	28

Fonte: Segundo Epstein, 1972.

Nota: Os macronutrientes são adicionados separadamente a partir das soluções-estoque para impedir a precipitação durante o preparo da solução-nutritiva. Uma solução estoque mista é preparada contendo todos os micronutrientes, exceto o ferro. O ferro é adicionado como dietilenotriaminapentacetato férrico de sódio (NFeDTPA, nome comercial Ciba-Geigy Sequestreno 330 Fe; ver Figura 5.2); algumas plantas, como o milho, requerem os níveis mais elevados de ferro mostrados na tabela.

^aO níquel está usualmente presente como contaminante de outros produtos químicos, de forma que ele pode não precisar ser aplicado de forma explícita. O silício, se incluído, deveria ser adicionado primeiro e, então, ajustado o pH com HCl para impedir a precipitação de outros nutrientes.

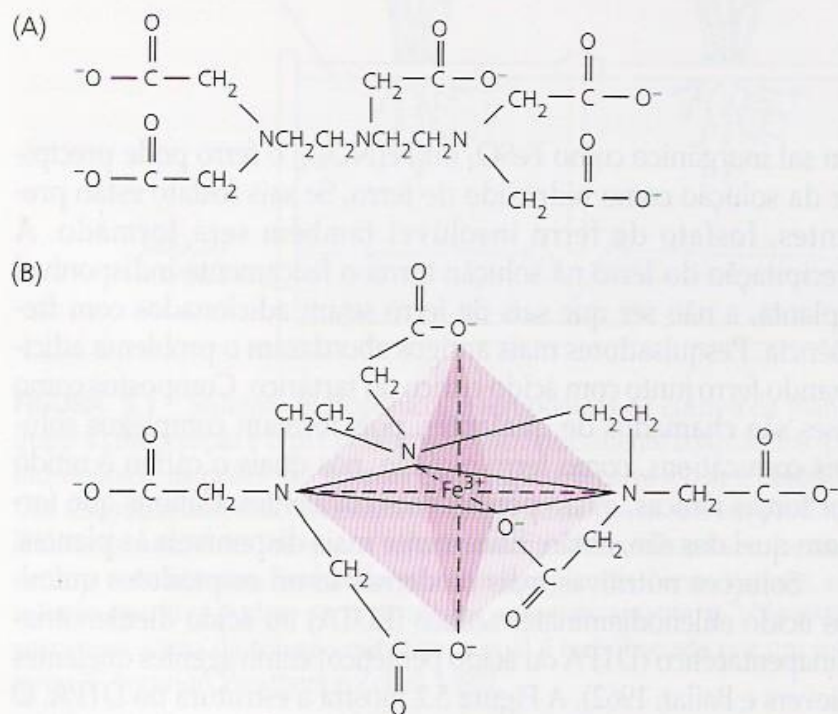


FIGURA 5.2 Estrutura química do quelante DTPA isolado (A) ou formando quelato com um íon Fe^{3+} (B) o ferro liga-se ao DTPA pela interação com três átomos de nitrogênio e com os três átomos de oxigênio ionizados dos grupos carboxilato (Sievers e Bailar, 1962). A estrutura de anel resultante envolve o íon metálico e efetivamente neutraliza sua reatividade na solução. Durante a absorção de ferro na superfície radicular, o Fe^{3+} parece ser reduzido a Fe^{2+} , que é liberado do complexo DTPA-ferro. O quelante pode ligar-se a outros íons Fe^{3+} disponíveis.

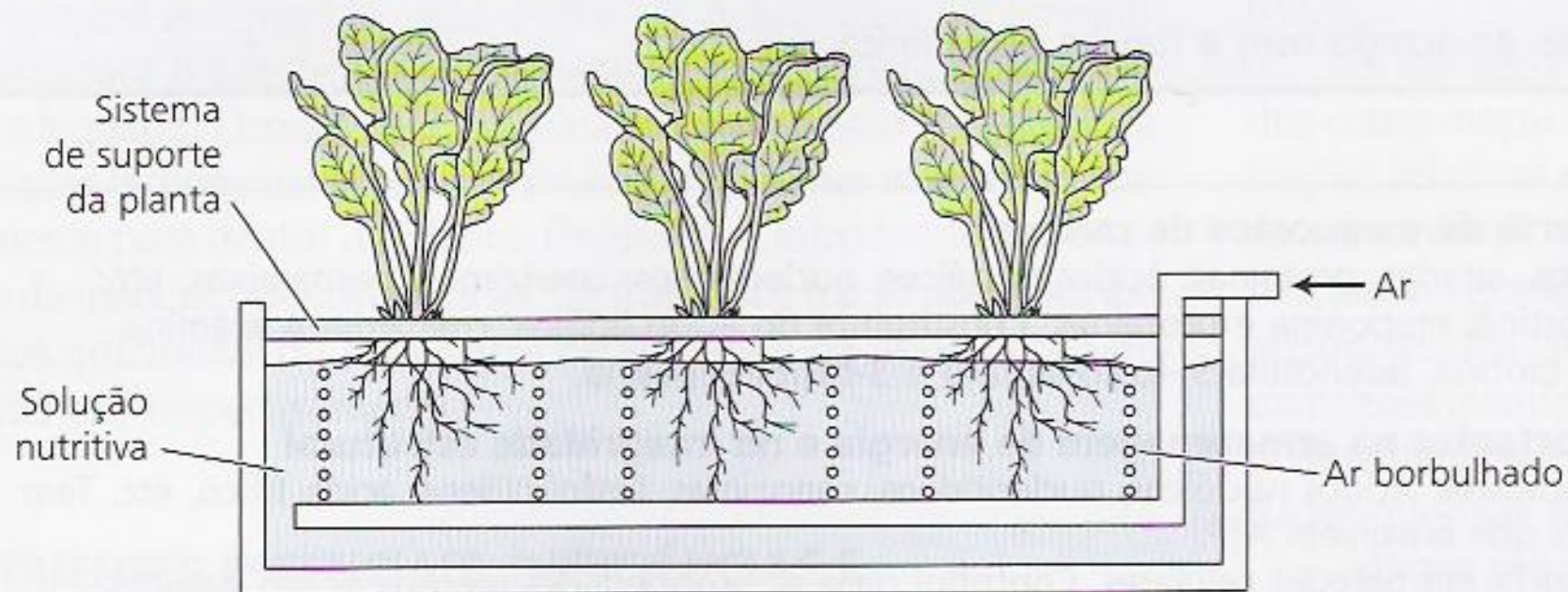
TABELA 5.4

Elementos minerais classificados com base em suas mobilidades dentro da planta e suas tendências de translocação durante deficiências

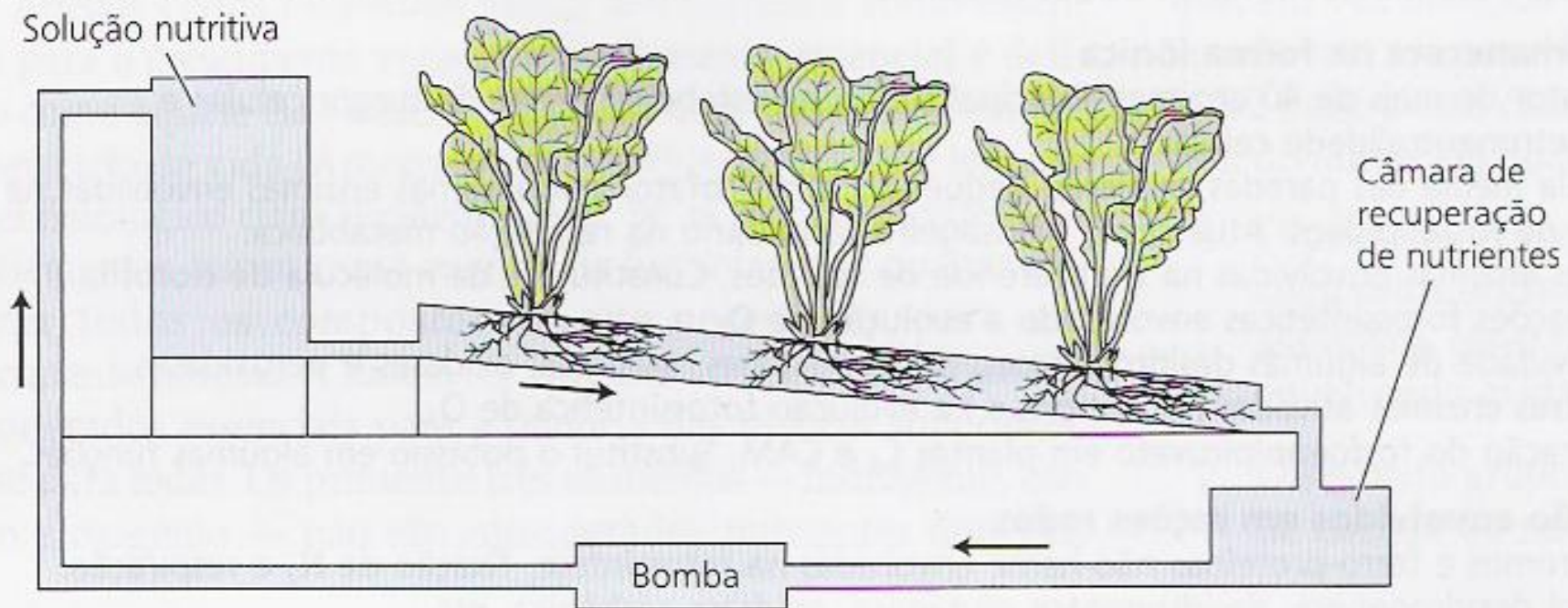
Móveis	Imóveis
Nitrogênio	Cálcio
Potássio	Enxofre
Magnésio	Ferro
Fósforo	Boro
Cloro	Cobre
Sódio	
Zinco	
Molibdênio	

Nota: Elementos listados na ordem de suas abundâncias na planta.

(A) Sistema de cultivo hidropônico



(B) Sistema de cultivo em lâmina de nutrientes



(C) Sistema de cultivo aeropônico

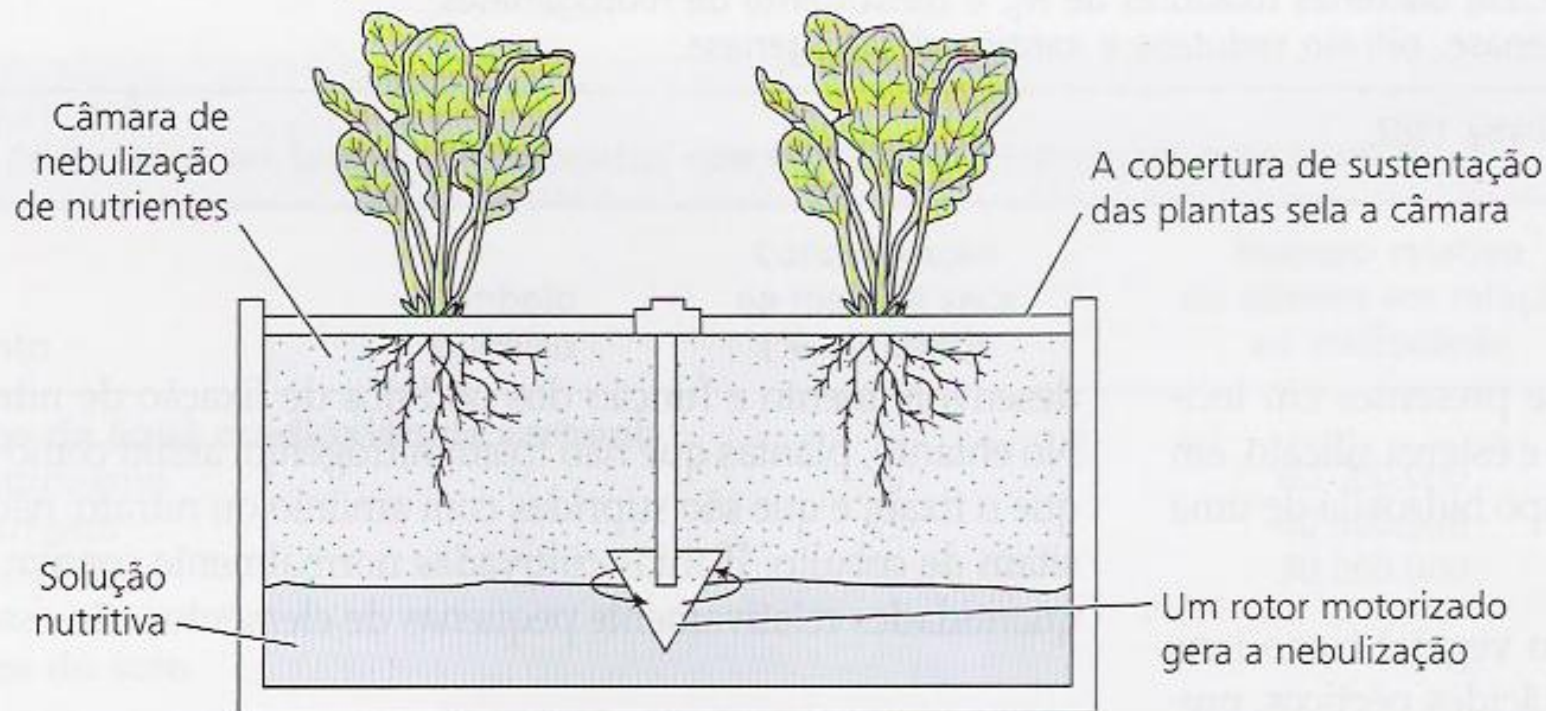
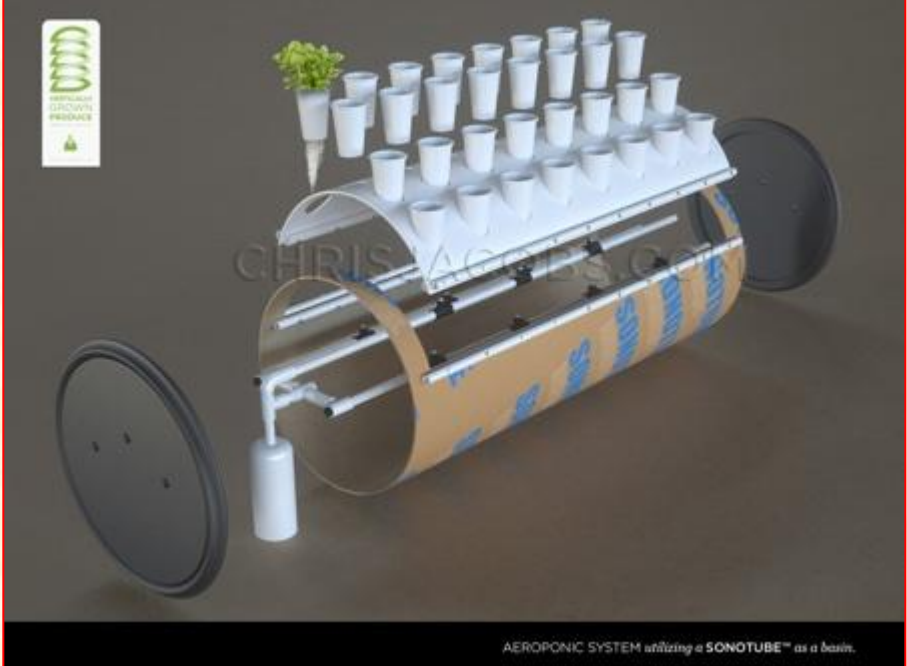


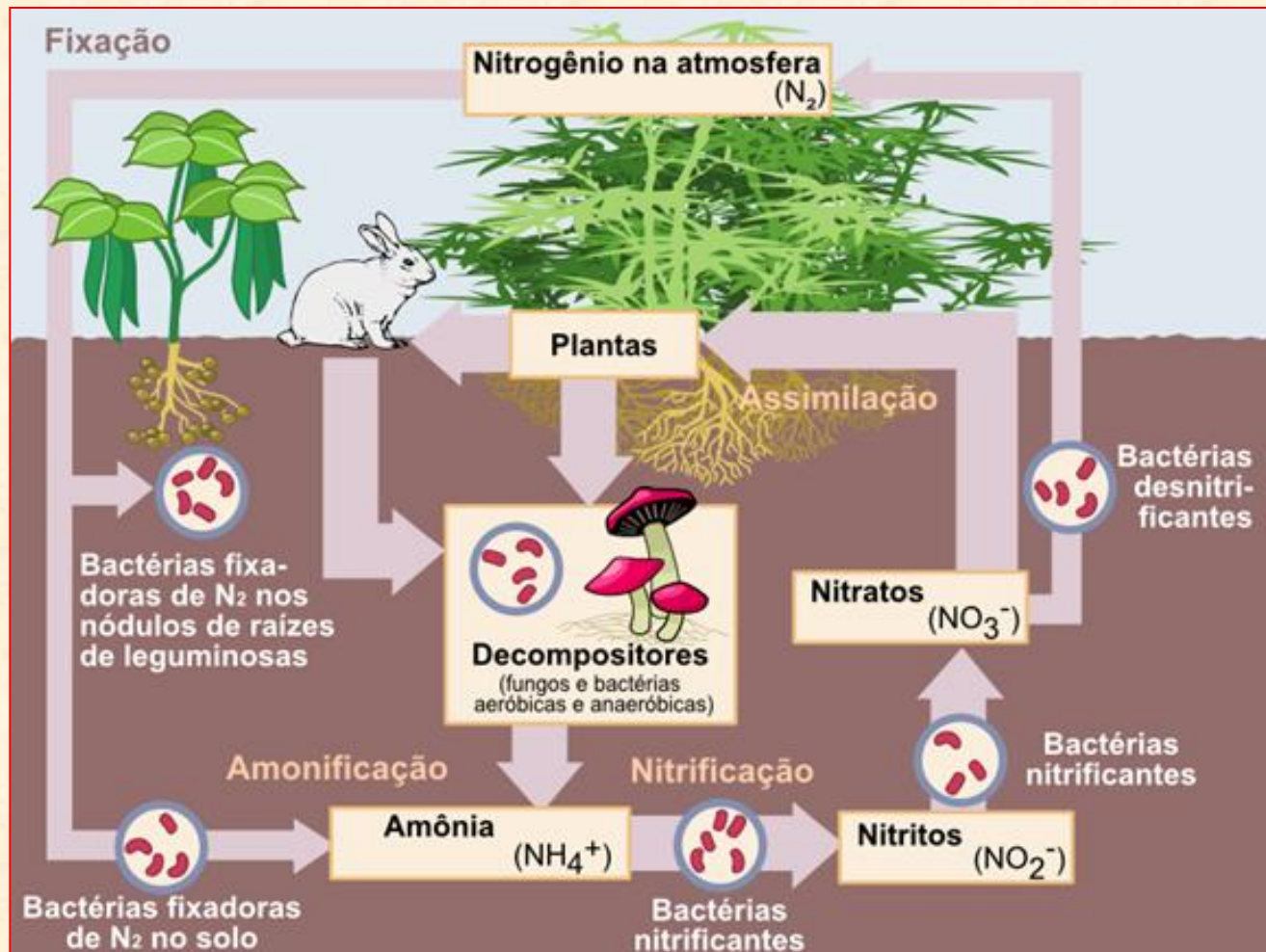
FIGURA 5.1 Sistemas hidropônicos e aeropônicos de cultivo de plantas em soluções nutritivas, nas quais a composição e o pH podem ser automaticamente controlados. (A) Em um sistema hidropônico, as raízes são imersas em solução nutritiva e o ar é borbulhado através da solução. (B) Um sistema hidropônico alternativo, frequentemente usado em produção comercial é o de cultivo em lâmina de nutrientes, no qual a solução nutritiva é bombeada na forma de uma fina lâmina ao longo de uma canaleta rasa, banhando as raízes das plantas. Nesse sistema, a composição e o pH da solução nutritiva podem ser controlados automaticamente. (C) No sistema aeropônico, as raízes são suspensas acima da solução nutritiva, a qual é turbilhonada por um rotor motorizado gerando um *spray* (C segundo Weathers e Zobel, 1992).

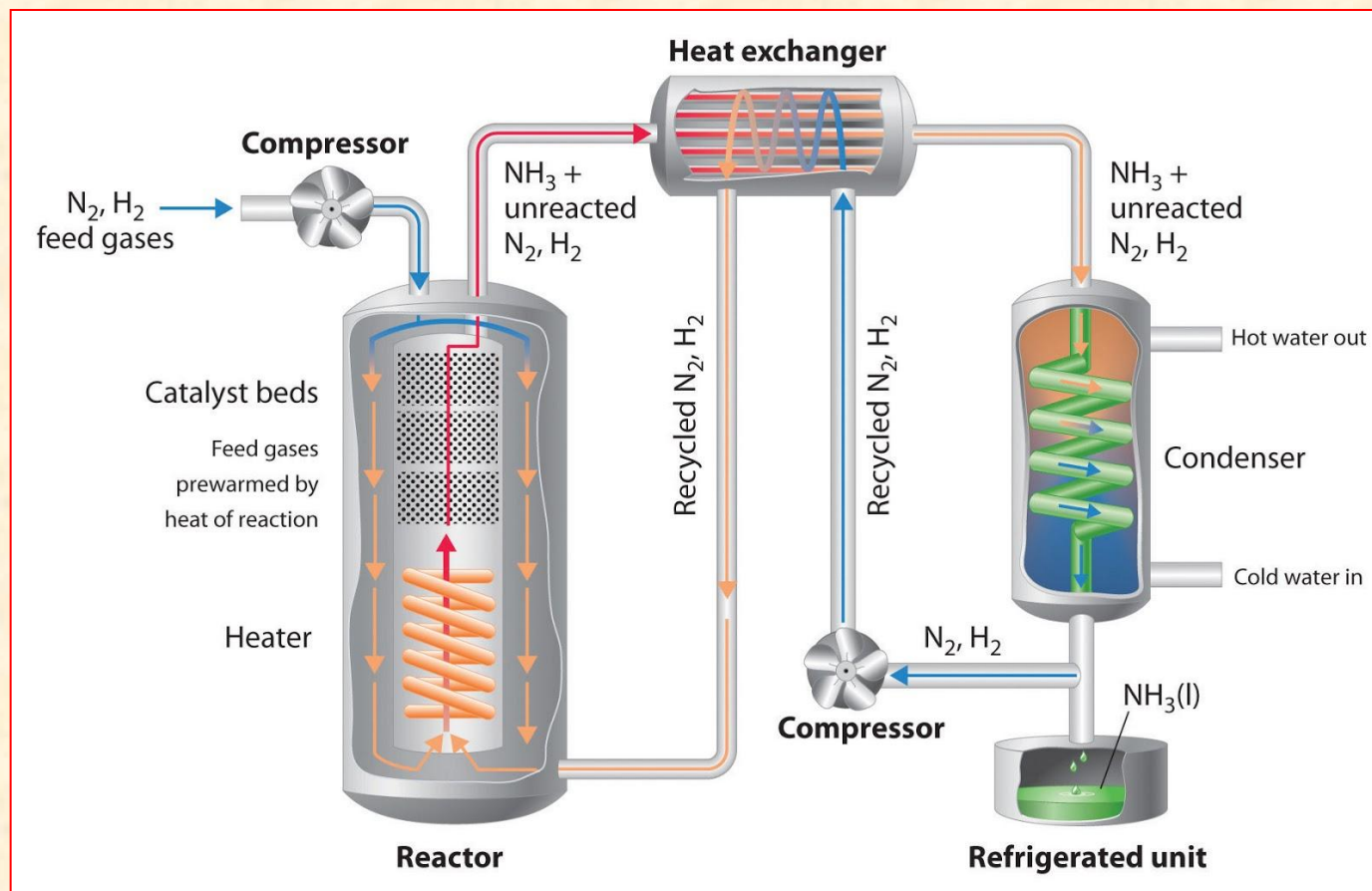






Ciclo do Nitrogênio

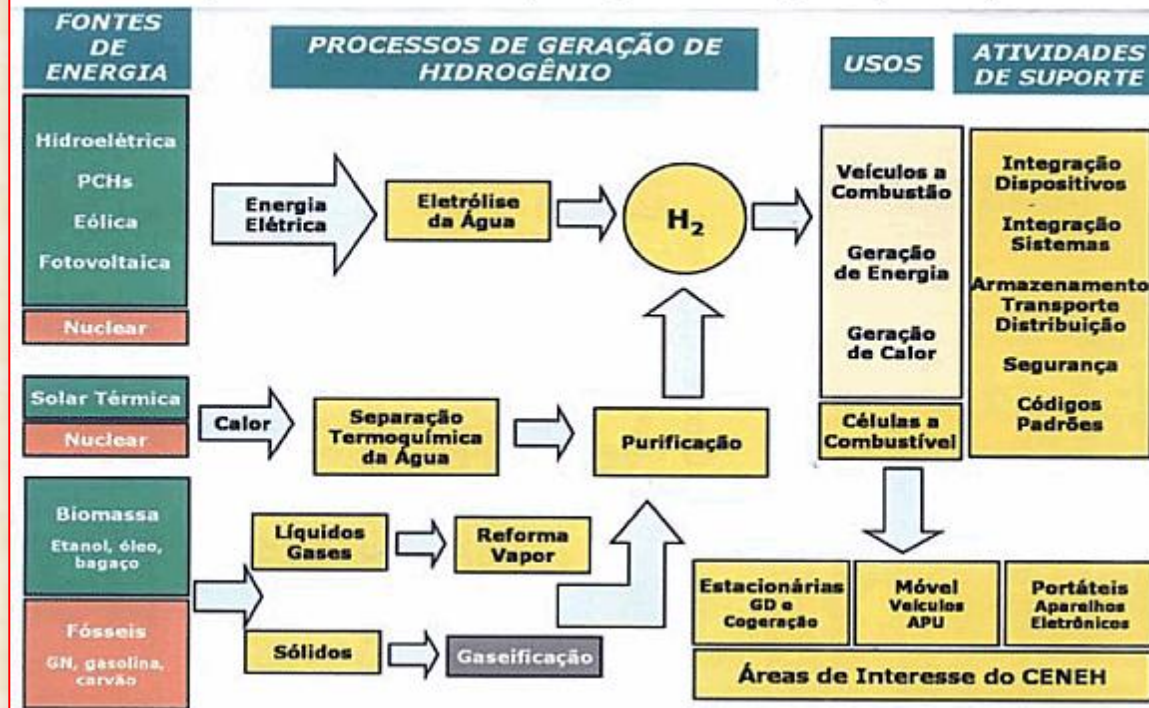




A síntese de amônia (NH₃), também designada *síntese de Haber*, *processo de Haber*, *Processo Haber-Bosch* ou, ainda, *síntese de Haber-Bosch*. É o processo industrial de produção de NH₃, a partir do N₂ (atmosférico) e do H (derivado do gás natural, petróleo ou carvão). A reação é catalisada com o ferro, sob as condições de 250 atmosferas de pressão e uma temperatura de 450 °C:

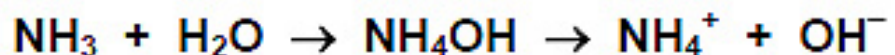


Figura 1: Alternativas de produção do hidrogênio (CENEH)



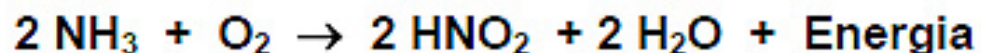


Aparelho de laboratório utilizado por Fritz Haber para sintetizar amônia em 1909. Fotografia tirada em julho de 2009 no Museu Judaico de Berlim.

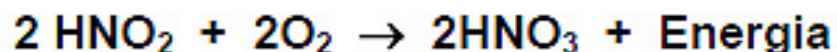


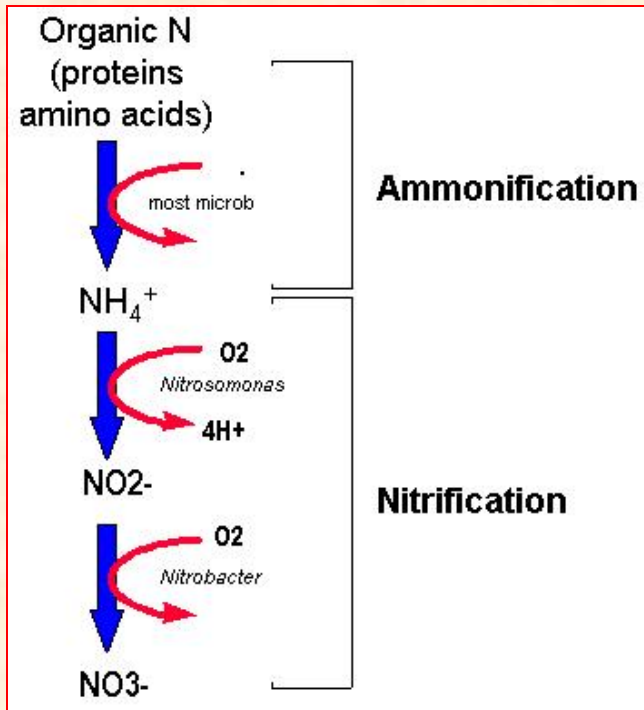
A oxidação dos íons amônio produz nitritos como resíduos nitrogenados, que por sua vez são liberados para o ambiente ou oxidados a nitrato. A conversão dos íons amônio em nitrito e nitrato é conhecida por **nitrificação**, que ocorre pela ação de bactérias nitrificantes (*Nitrosomas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*). O processo de nitrificação pode ser dividido em duas etapas:

- **Nitrosação:** A amônia é transformada em nitrito (NO_2^-):



- **Nitração:** Ocorre a transformação do íon nitrito em íon nitrato (NO_3^-):

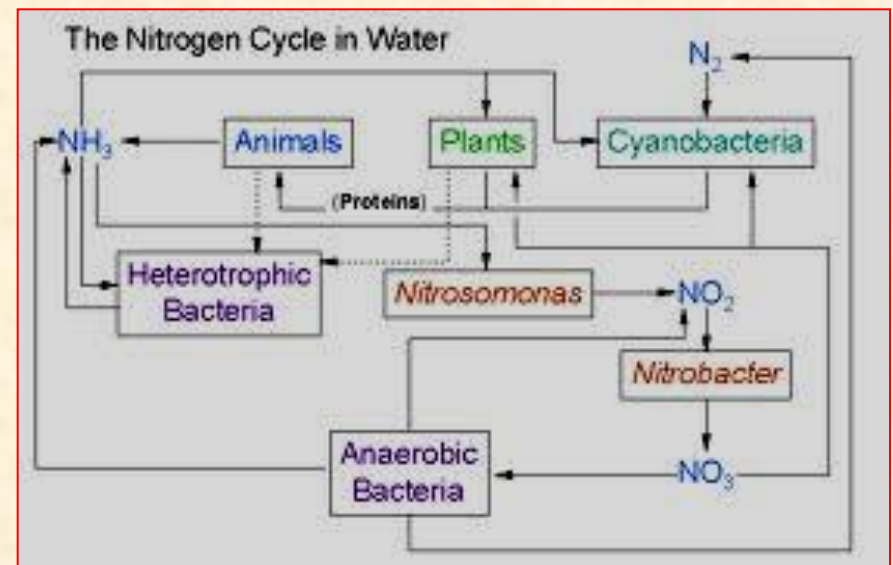




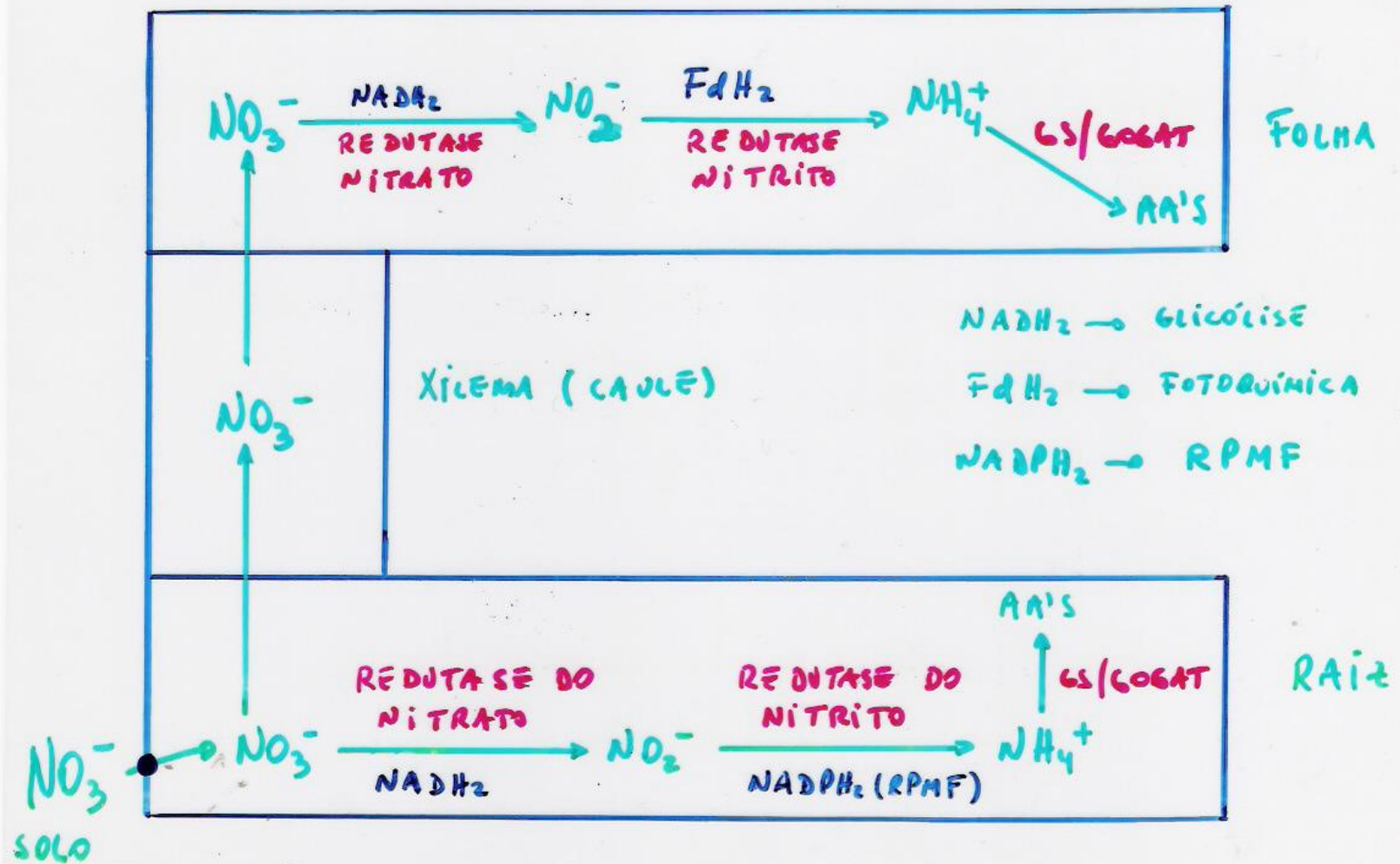
Nitrobacter



Nitrosomonas



ASSIMILAÇÃO DO NO_3^- PELAS PLANTAS:



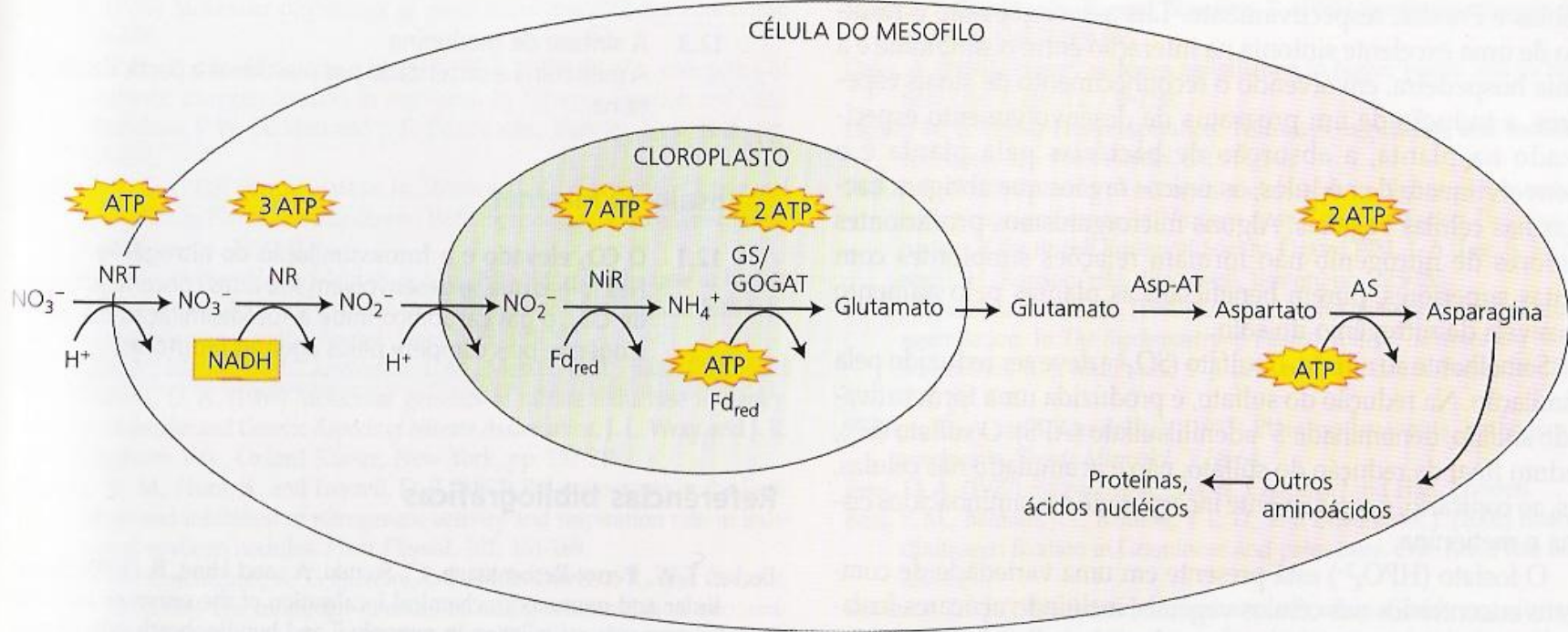


FIGURA 12.19 Resumo dos processos envolvidos na assimilação do nitrogênio mineral na folha. O nitrato translocado das raízes pelo xilema é absorvido por uma célula do mesófilo através de um dos simportes nitrato-próton (NRT) para o citoplasma. O nitrato é, então, reduzido a nitrito via nitrato redutase (NR). O nitrito é translocado para o estroma do cloroplasto junto com um próton. No estroma, o nitrito é reduzido à amônio, via nitrito redutase (NiR) e esse amônio é convertido em glutamato pela ação sequencial da glutamina sintetase (GS) e da glutamato sintase (GOGAT). Novamente no citoplasma, o glutamato é transaminado a aspartato, via aspartato aminotransferase (Asp-AT). Finalmente, a asparagina sintetase (AS) converte o aspartato em asparagina. As quantidades aproximadas de ATP equivalente para cada reação estão indicadas acima.

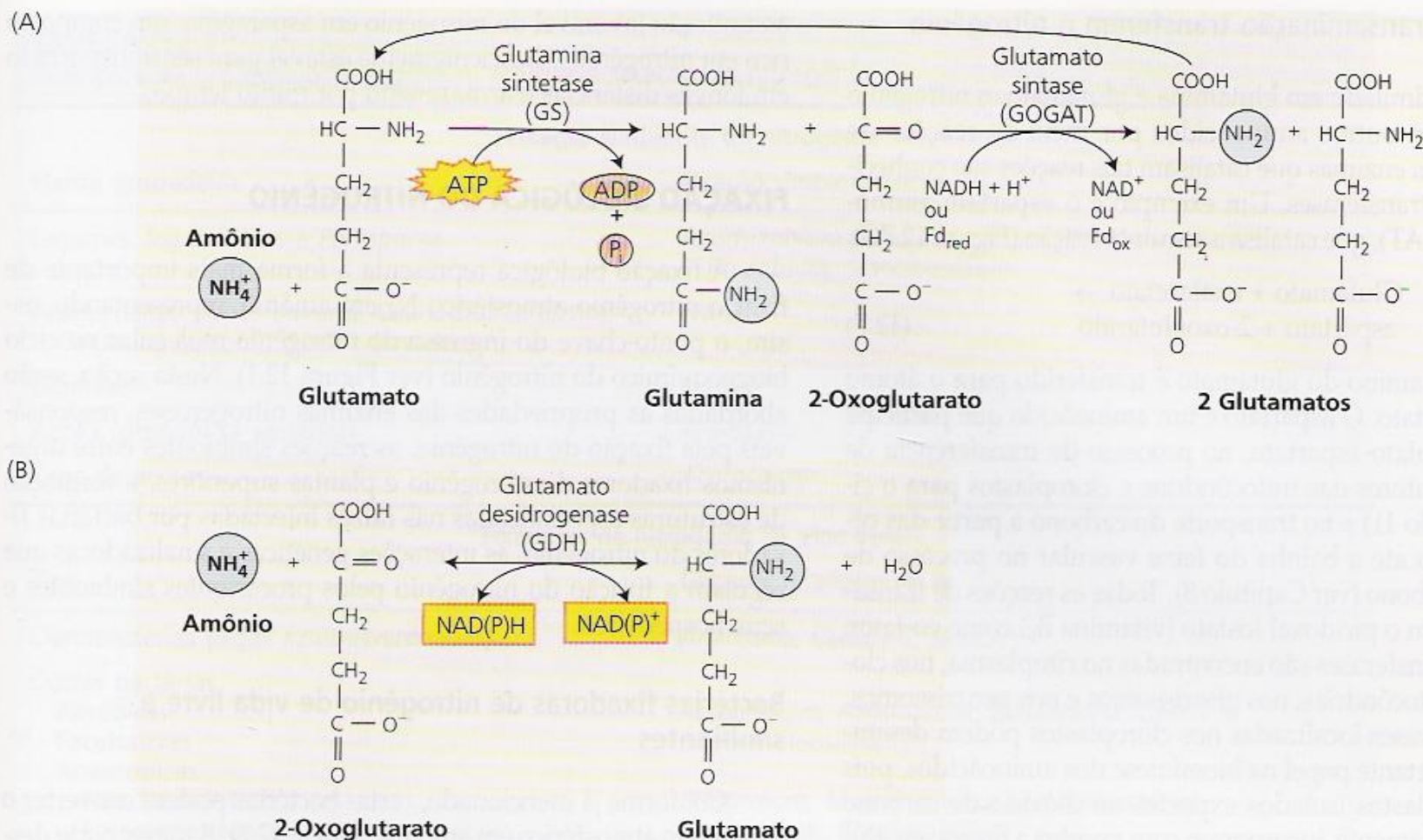
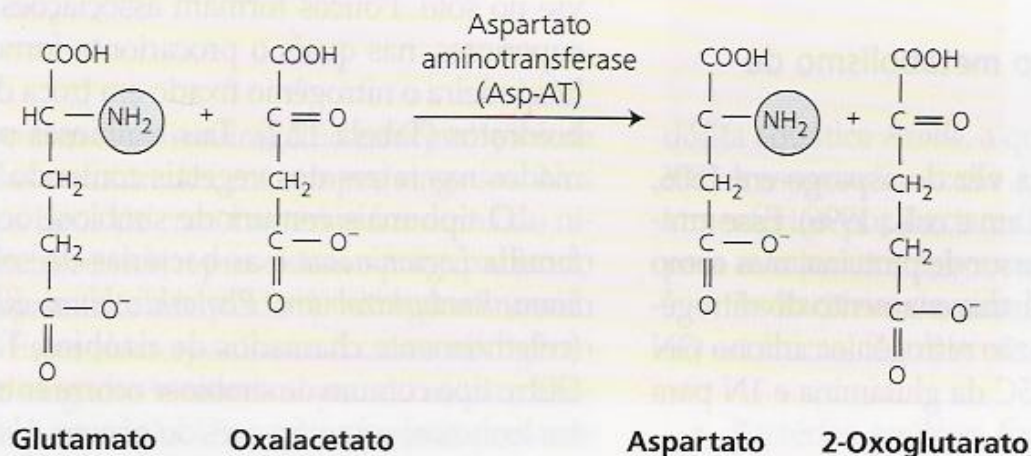


FIGURA 12.7 Estrutura e rotas de síntese de compostos envolvidos no metabolismo do amônio. O amônio pode ser assimilado por um dos vários processos. (A) A rota da GS-GOGAT que forma a glutamina e o glutamato. É necessário um co-fator reduzido para a reação: ferredoxina nas folhas verdes e o NADH nos tecidos não-fotossintéticos. (B) A rota do GDH que forma o glutamato, utilizando o NADH ou o NADPH como um agente redutor. (C) Transferência do grupo amino do glutamato para o oxalacetato para formar o aspartato (catalisado pela enzima aspartato aminotransferase). (D) Síntese da asparagina pela transferência de um grupo aminoácido da glutamina para o aspartato (catalisada pela enzima asparagina sintetase).

(C)



(D)

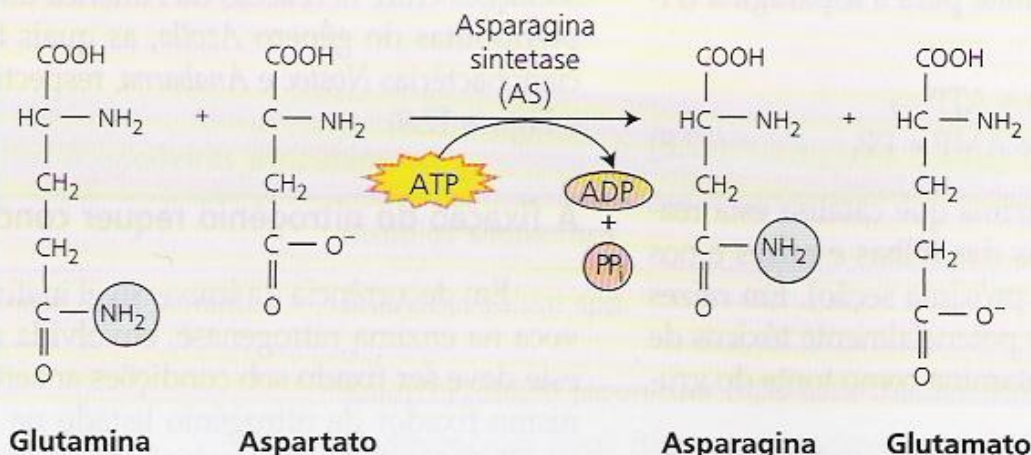


FIGURA 12.7 Estrutura e rotas de síntese de compostos envolvidos no metabolismo do amônio. O amônio pode ser assimilado por um dos vários processos. (A) A rota da GS-GOGAT que forma a glutamina e o glutamato. É necessário um co-fator reduzido para a reação: ferredoxina nas folhas verdes e o NADH nos tecidos não-fotossintéticos. (B) A rota do GDH que forma o glutamato, utilizando o NADH ou o NADPH como um agente redutor. (C) Transferência do grupo amino do glutamato para o oxalacetato para formar o aspartato (catalisado pela enzima aspartato aminotransferase). (D) Síntese da asparagina pela transferência de um grupo aminoácido da glutamina para o aspartato (catalisada pela enzima asparagina sintetase).

TABELA 12.1

Principais processos do ciclo biogeoquímico do nitrogênio

Processo	Definição	Taxa (10^{12} g ano ⁻¹) ^a
Fixação industrial	Conversão industrial do nitrogênio molecular em amônia	80
Fixação atmosférica	Conversão fotoquímica e pelos relâmpagos do nitrogênio molecular em nitrato	19
Fixação biológica	Conversão do nitrogênio molecular em amônia pelos procariontes	170
Aquisição pelos vegetais	Absorção e assimilação do amônio ou nitrato pelos vegetais	1200
Imobilização	Absorção e assimilação do amônio ou nitrato por microrganismos	N/C
Amonificação	Ação das bactérias e fungos no catabolismo da matéria orgânica do solo em amônio	N/C
Nitrificação	Oxidação bacteriana (<i>Nitrosomonas</i> sp.) do amônio em nitrito e a posterior oxidação pelas bactérias (<i>Nitrobacter</i> sp.) do nitrito em nitrato	N/C
Mineralização	Ação das bactérias e fungos no catabolismo da matéria orgânica do solo em nitrogênio mineral, por meio da amonificação ou nitrificação	N/C
Volatilização	Perda física do gás amônia para a atmosfera	100
Fixação do amônio	Ligação física do amônio nas partículas do solo	10
Desnitrificação	Conversão bacteriana do nitrato em óxido nitroso e nitrogênio molecular	210
Lixiviação do nitrato	Escoamento físico do nitrato dissolvido no lençol de água das camadas superiores do solo e eventualmente para os oceanos	36

Nota: Organismos terrestres, do solo e dos oceanos contêm cerca de $5,2 \times 10^{15}$ g e 95×10^{15} g e $6,5 \times 10^{15}$ g, respectivamente, de nitrogênio orgânico que é ativo no ciclo. Admitindo que a quantidade de N_2 na atmosfera permanece constante (entrada = saída), o tempo médio de residência (o tempo médio que a molécula de nitrogênio permanece na forma orgânica) é cerca de 370 anos [(tamanho do pool)/(fixação input) = $(5,2 \times 10^{15} \text{ g} + 95 \times 10^{15} \text{ g}) / (80 \times 10^{12} \text{ g ano}^{-1} + 19 \times 10^{12} \text{ g ano}^{-1} + 170 \times 10^{12} \text{ g ano}^{-1})$] (Schlesinger, 1997). ^a N/C, não-calculado.

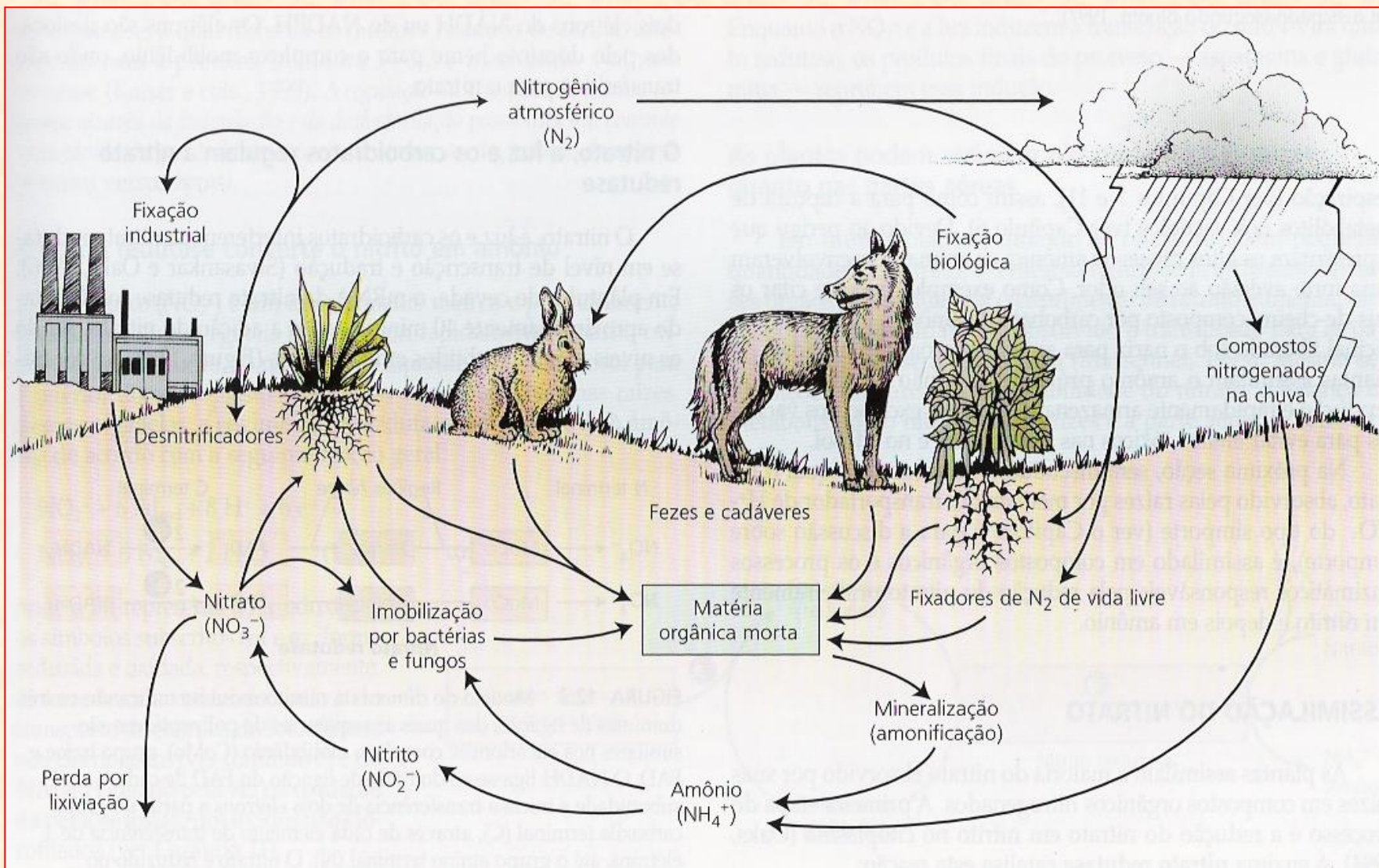
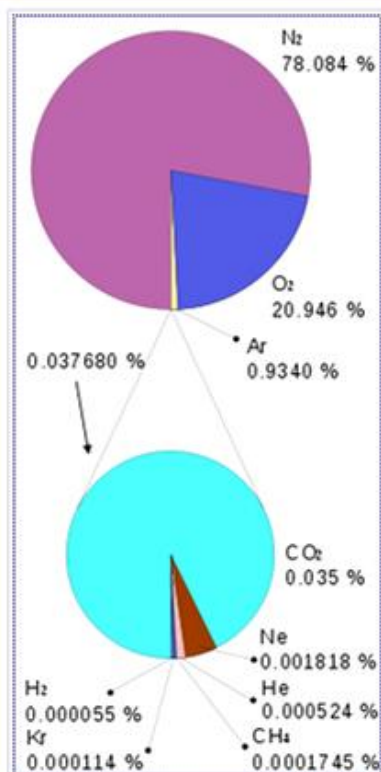


FIGURA 12.1 Ciclo do nitrogênio. O nitrogênio da atmosfera varia desde a forma gasosa à de íons reduzidos, antes de ser incorporado a compostos orgânicos nos organismos vivos. Algumas etapas envolvidas no ciclo do nitrogênio estão representadas.



Composição da atmosfera da Terra. O gráfico inferior representa os gases residuais que, ao todo, compõem 0.039% da atmosfera. Os valores foram normalizados para propósitos ilustrativos. Os números são de medidas feitas em uma variedade de anos (especialmente 1987, com dados de CO₂ e metano de 2009) e não representam uma fonte única.

Composição do ar seco, por volume^[2]

ppmv: partes por milhão por volume (nota: a fração volumétrica somente é igual à fração molar para gases ideais)

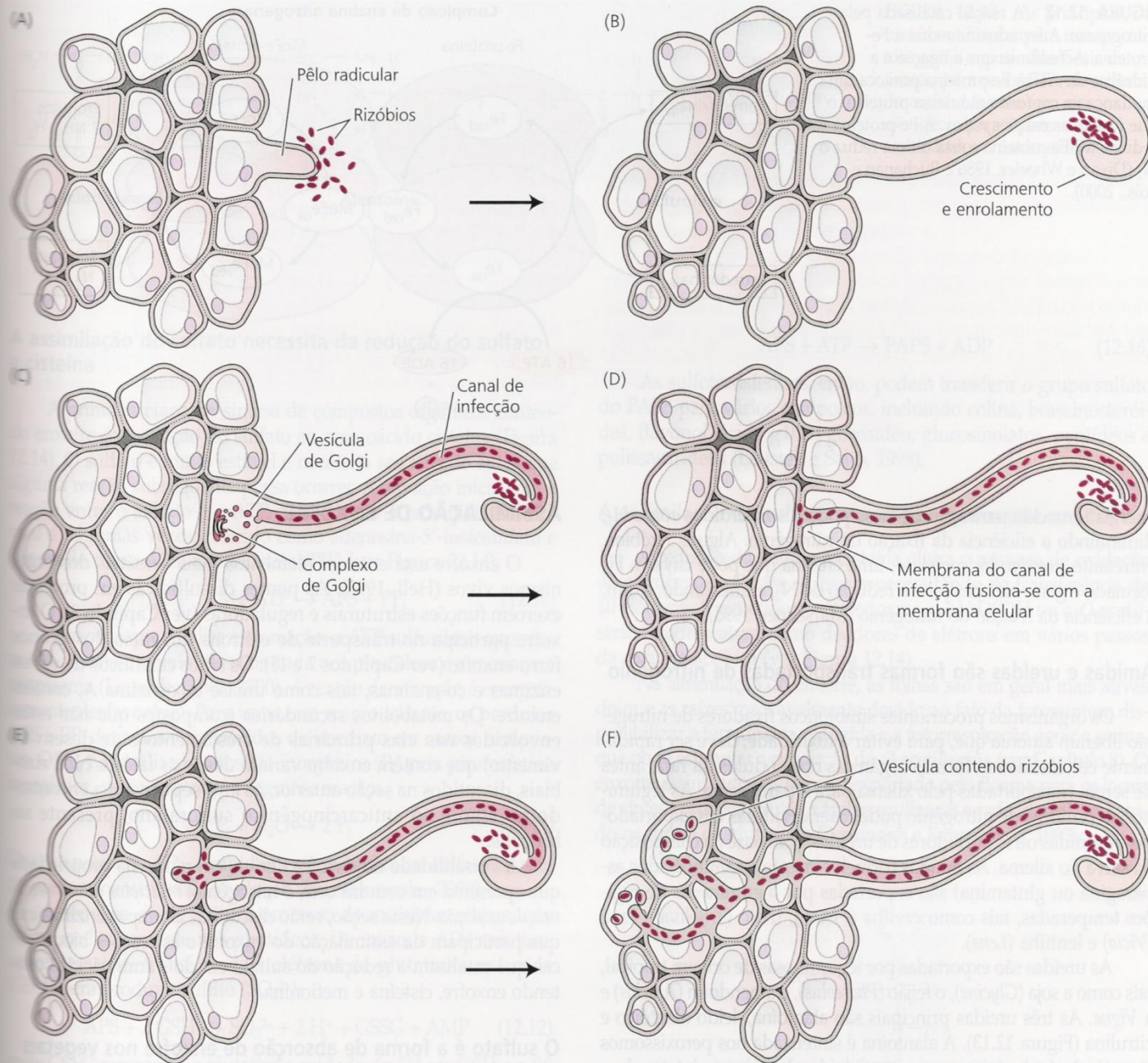
Gás	Volume
Nitrogênio (N ₂)	780.840 ppmv (78.084%)
Oxigênio (O ₂)	209.460 ppmv (20.946%)
Argônio (Ar)	9.340 ppmv (0.9340%)
Dióxido de carbono (CO ₂)	380 ppmv (0.0380%)
Neônio (Ne)	18,18 ppmv (0.001818%)
Hélio (He)	5,24 ppmv (0.000524%)
Metano (CH ₄)	1,79 ppmv (0.000179%)
Criptônio (Kr)	1,14 ppmv (0.000114%)
Hidrogênio (H ₂)	0,55 ppmv (0.000055%)
Óxido nítrico (N ₂ O)	0,3 ppmv (0.00003%)
Xenônio (Xe)	0,09 ppmv (9×10 ⁻⁶ %)
Ozônio (O ₃)	0,0 to 0,07 ppmv (0% to 7×10 ⁻⁶ %)
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	0,02 ppmv (2×10 ⁻⁶ %)
Iodo (I)	0,01 ppmv (1×10 ⁻⁶ %)
Monóxido de carbono (CO)	0,1 ppmv (0.00001%)
Amônia (NH ₃)	traços
Não incluído na atmosfera seca acima:	
Vapor de água (H ₂ O)	~0,40% na atmosfera toda, tipicamente 1%-4% na superfície

Fixação Biológica do Nitrogênio (N₂):

78% da atmosfera (N ≡ N)



- A enzima *nitrogenase* é sintetizada pelos genes *nif* presentes no material genético da bactéria fixadora do N₂
- Algumas bactérias também sintetizam enzimas *hidrogenases* que quebram o H₂, aumentando a eficiência do processo de fixação biológica do N₂ (*estirpes “up⁺”*)



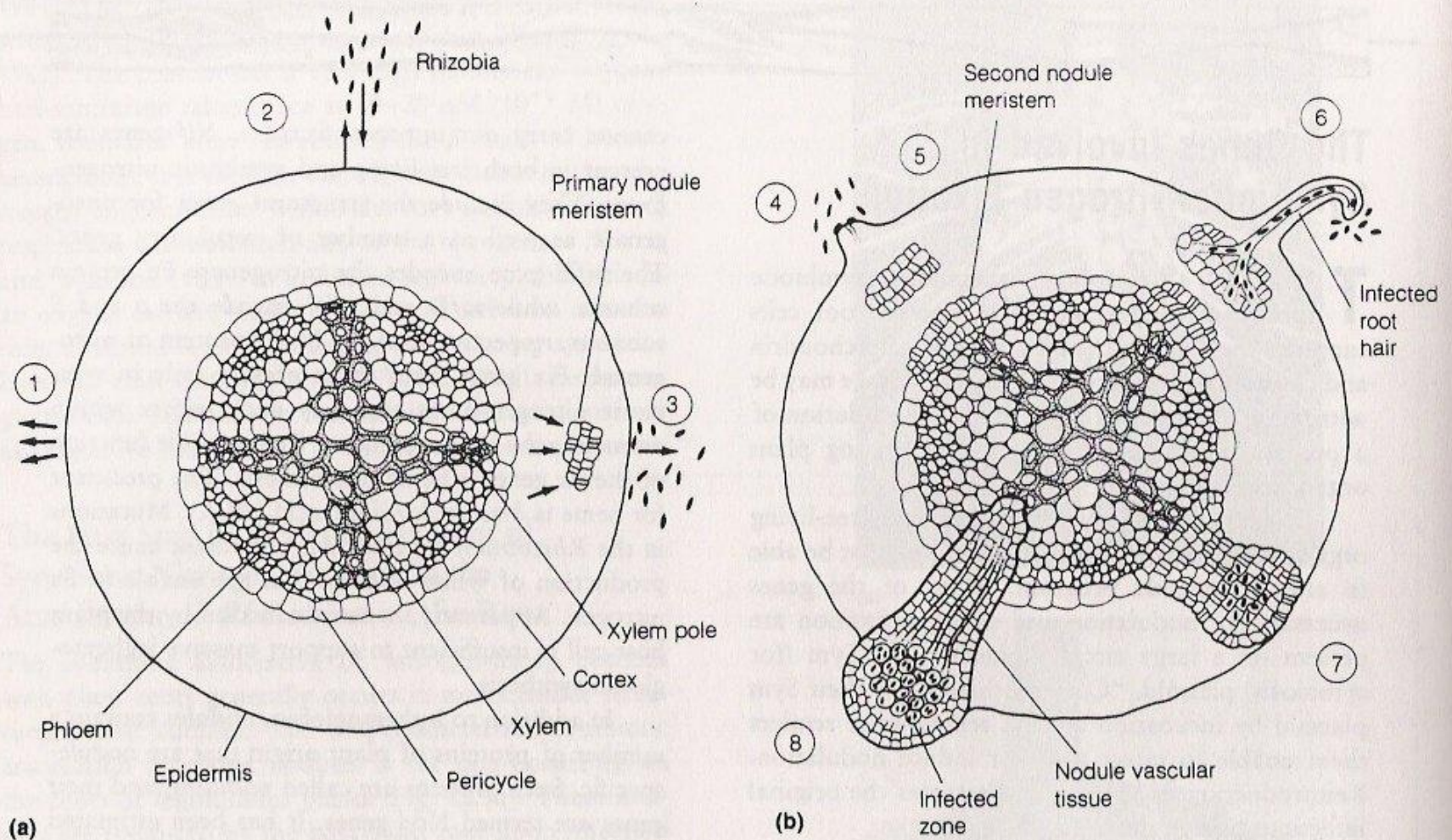
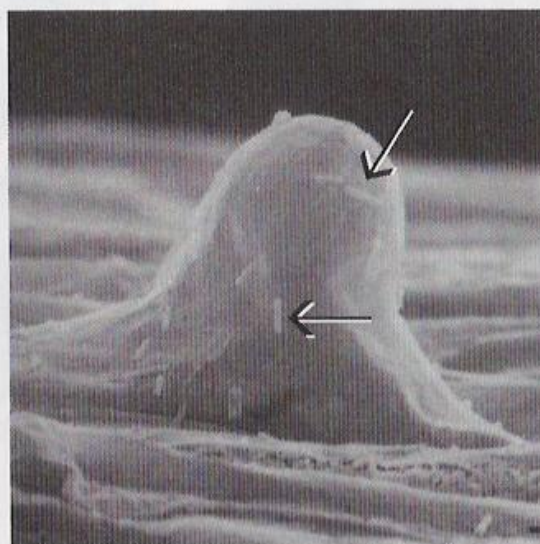


FIGURE 12.4. Stages in the initiation and development of a soybean root nodule. (a) Events involved in the initiation of the nodule: (1) the root excretes substances; (2) these substances attract rhizobia and stimulate them to produce cell-division factors; and (3) cells in the root cortex divide to form the primary nodule meristem. (b) Stages of infection and nodule formation: (4) bacteria attach to the root hair; (5) cells in the pericycle near the xylem poles are stimulated to divide; (6) the infection thread forms and extends inward as the primary nodule meristem and the pericycle continue to divide; (7) the two masses of dividing cells fuse into a single clump while the infection thread continues to grow; and (8) the nodule elongates and differentiates, including the vascular connection to the root stele. Bacteroids are released into the cells in the center. (From Rolfe and Gresshoff, 1988.)

30.9

Eventos da infecção da soja por *Bradyrhizobium japonicum*. (a) Micrografia eletrônica de varredura mostrando rizóbios (setas) presos a um pêlo radicular que emergiu recentemente. (b) Fotomicrografia de contraste de interferência diferencial mostrando um pequeno pêlo radicular curvado contendo múltiplos canais de infecção (setas). (c) Elétron-micrografia de um canal de infecção contendo rizóbios. A membrana plasmática e a parede celular da célula da raiz estão contíguas ao canal de infecção. Cada rizóbio está circundado por um halo de polissacarídeos capsulares. (d) Elétron-micrografia de grupos de bacterióides, cada qual circundado por uma membrana derivada da célula do nódulo de raiz infectada.



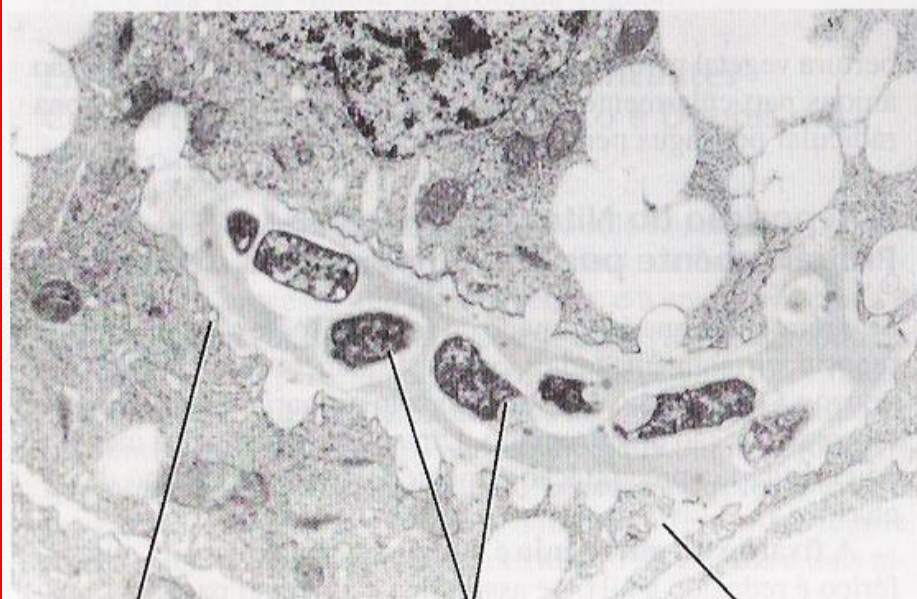
(a)

5 μm



(b)

20 μm



Canal de infecção

Rizóbios
(c)

Parede celular

1 μm



(d)

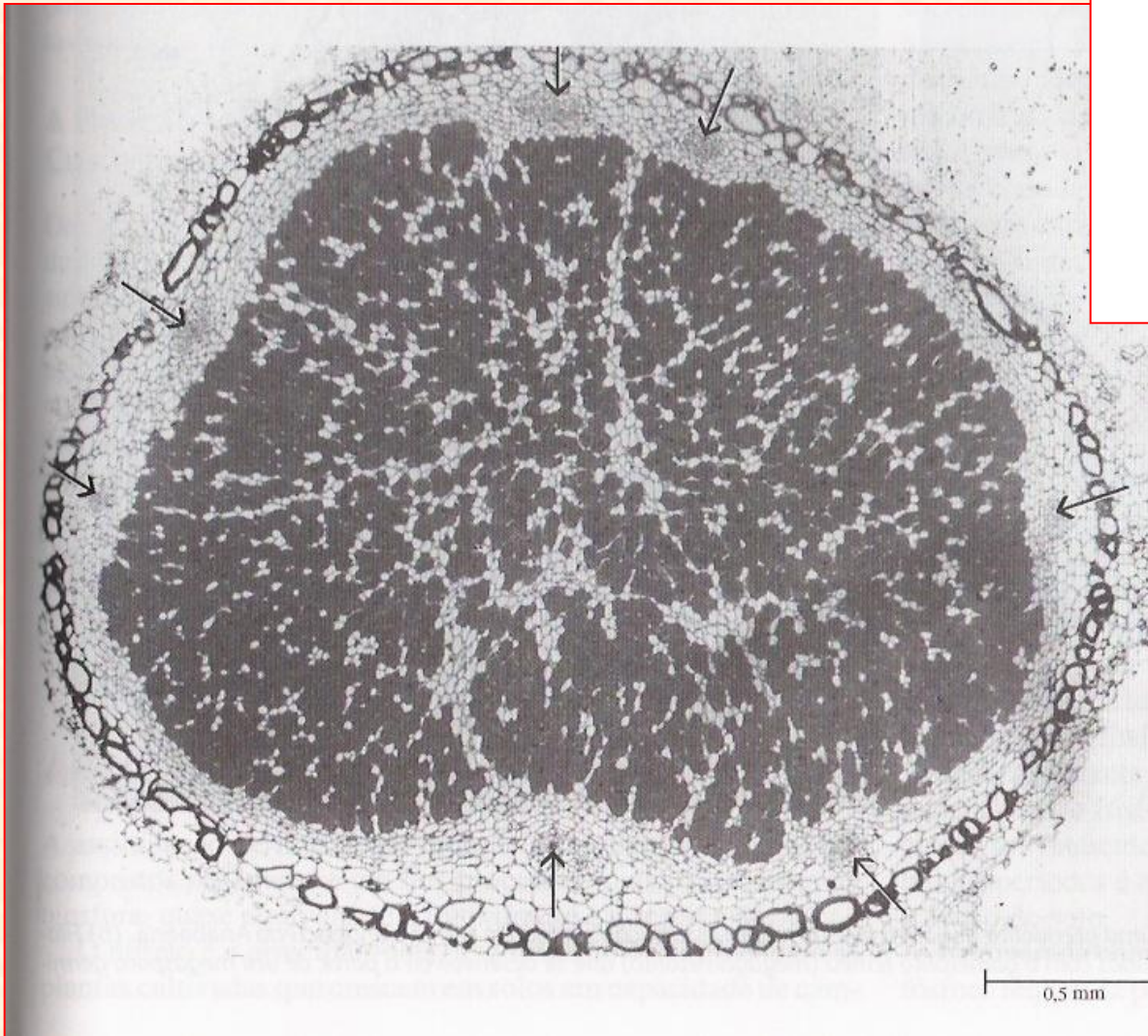
Bacterióides circundados por membranas

2 μm

Leg-hemoglobina:

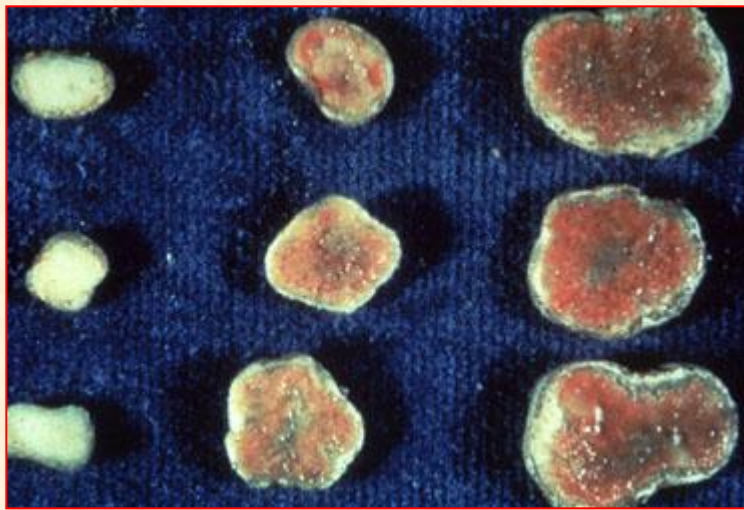
Confere coloração róseo-avermelhada aos nódulos viáveis

Porção heme \Rightarrow *bactéria*
Porção globina \Rightarrow *planta*



30.10

Seção através de um nódulo de raiz de soja maduro. Células não infectadas vacuoladas podem ser vistas entre as células infectadas contrastadas em escuro na zona central do nódulo. O córtex do nódulo contendo feixes vasculares e uma camada de células de esclerênquima contrastadas em escuro circunda a zona central.



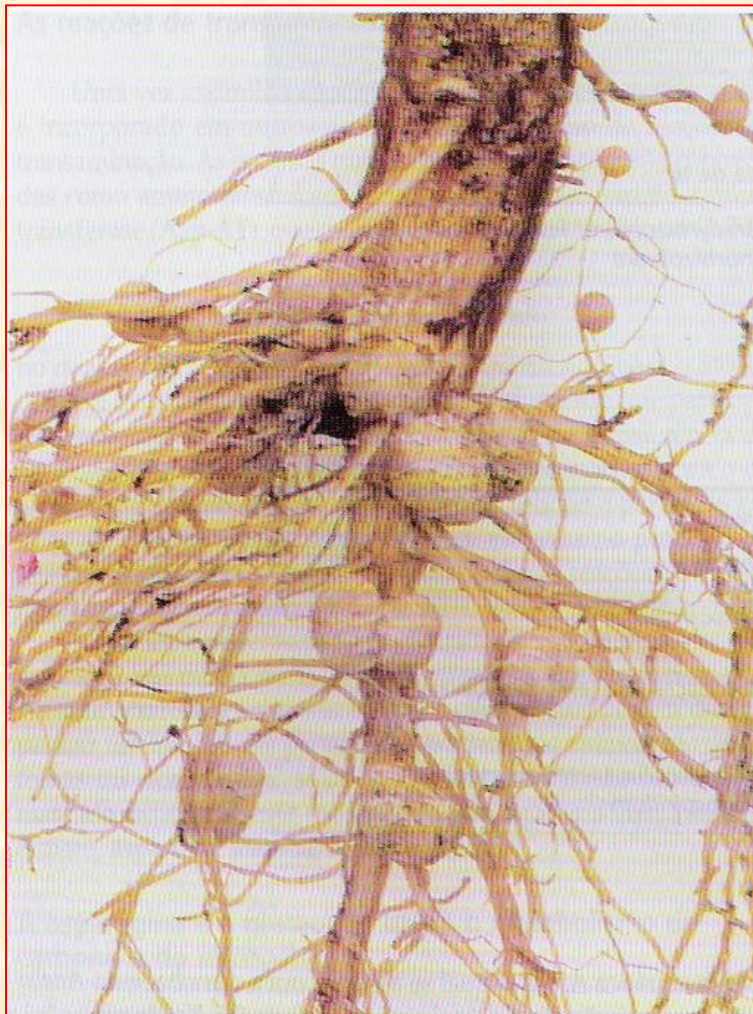
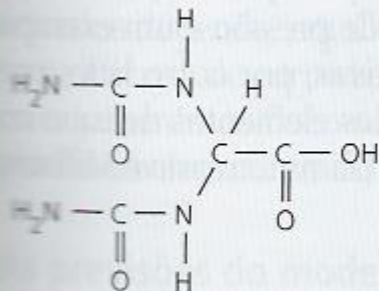


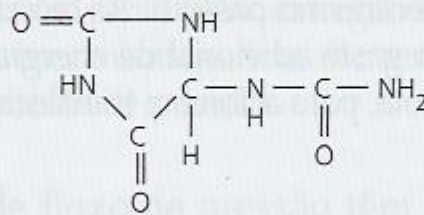
FIGURA 12.8 Nódulos em raiz em soja. Os nódulos são o resultado da infecção por *Rhizobium japonicum* (© Wally Eberhart/Visuals Unlimited).

Substâncias nitrogenadas transportadas no xilema a partir dos nódulos em leguminosas **tropicais**

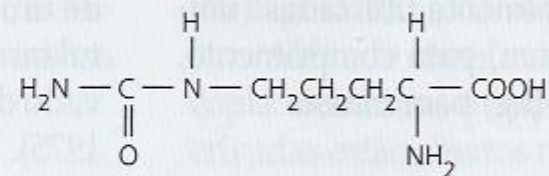
Espécies com nódulos fixadores de nitrogênio também utilizam ureídas como formas de transporte de nitrogênio.



Ácido alantóico



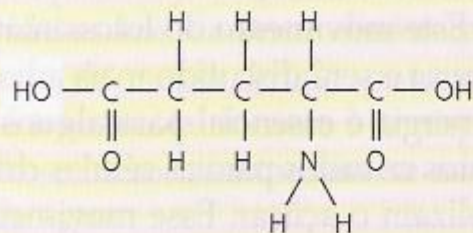
Alantoína



Citrulina

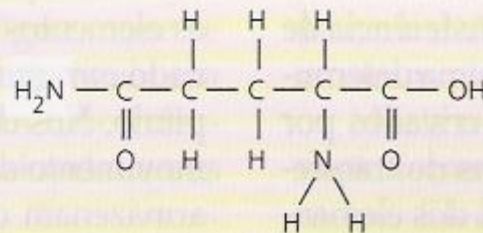
Ureídas

Substâncias nitrogenadas transportadas no xilema a partir dos nódulos em leguminosas **subtropicais**



Ácido glutâmico

Aminoácido

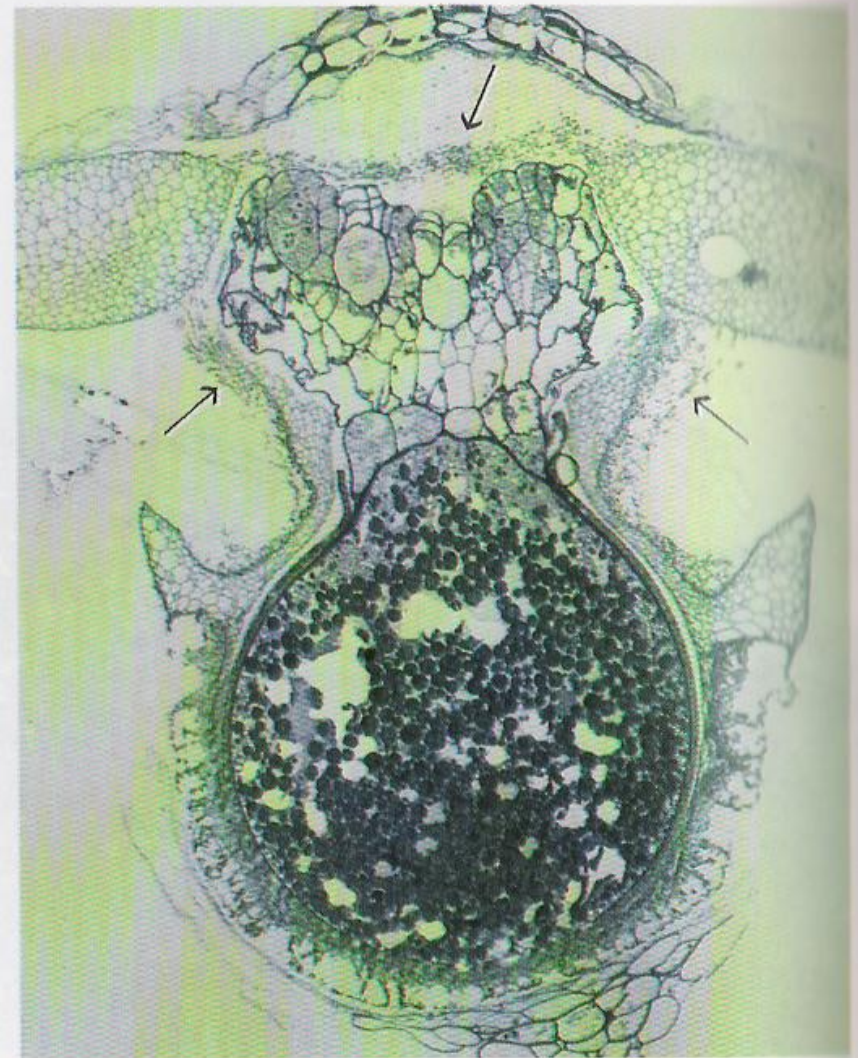


Glutamina

Amida



(a)



(b)

30.11

Simbiose Azolla-Anabaena. (a) Azolla filiculonides, uma pteridófita aquática que cresce em associação simbiótica com a cianobactéria Anabaena. (b) Filamentos da Anabaena podem ser vistos (setas) associados com o gametófito fêmea (megagametófito) que se desenvolveu a partir de um megásporo germinado de Azolla.

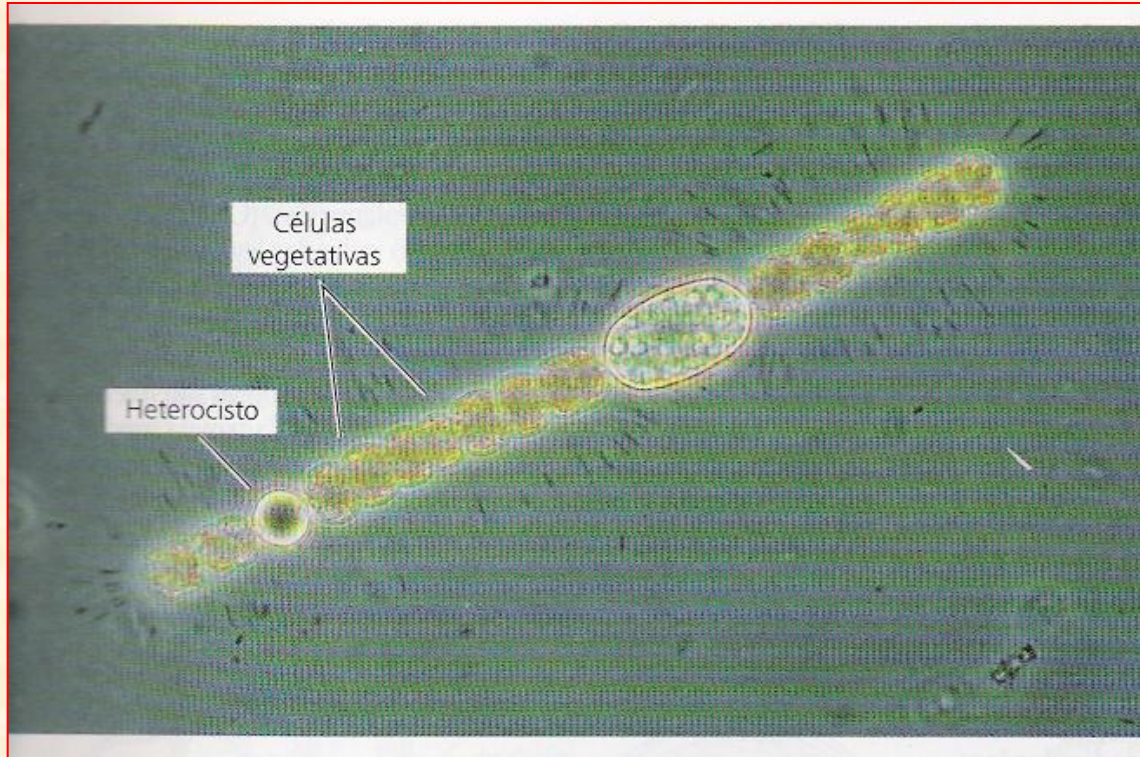


FIGURA 12.9 Um filamento de cianobactéria fixadora de nitrogênio (*Anabaena*) com um heterocisto. O heterocisto com paredes espessas, intercalado entre as células vegetativas, possui um ambiente interno anaeróbico que permite à cianobactéria fixar nitrogênio em condições aeróbicas (© Paul W. Johnson/Biological Photo Service).

Fixação Simbiótica do Nitrogênio:

Planta hospedeira:	Organismo simbiótico:
Legumes: Leguminosas e <i>Parasponia</i>	<i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Azorhizobium</i> , <i>Photorhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i>
Actinorrízicas: <i>Alnus</i> (árvore), <i>Ceanothus</i> (arbusto), <i>Casuarina</i> (árvore), <i>Datisca</i> (arbusto).	<i>Frankia</i> (actinomiceto)
<i>Gunnera</i>	<i>Nostoc</i>
<i>Azolla</i> (pteridófita aquática)	<i>Anabaena</i>
Cana-de-açúcar	<i>Acetobacter</i>
Gramíneas tropicais	<i>Azospirillum</i> (actinomiceto)

Associação entre plantas hospedeiras e o Rizóbio:

Planta hospedeira	Rizóbios simbiotes:
<i>Parasponia</i> (não leguminosa, anteriormente denominada Trema)	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Soja (<i>Glycine max</i>)	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> (crescimento lento) <i>Sinorhizobium fredii</i> (crescimento rápido)
Alfafa (<i>Medicago sativa</i>)	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
<i>Sesbania</i> (aquática)	<i>Azorhizobium</i> (forma nódulos nas raízes e no caule; no caule se desenvolvem raízes adventícias)
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i> ; <i>Rhizobium tropicii</i> ; <i>Rhizobium etli</i>
Trevo (<i>Trifolium</i>)	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i>
Trevo doce	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
Ervilha (<i>Pisum sativum</i>)	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>
<i>Aeschenomene</i> (aquática)	<i>Photorhizobium</i> (rizóbios fotossintética-mente ativos, que formam nódulos no caule, provavelmente associados a raízes adventícias)

Fixação Não-Simbiótica do Nitrogênio (fixadores de vida livre):

Tipo:	Gêneros:
Cianobactéria (alga verde azulada):	<i>Nostoc, Anabaena, Calothrix</i>
<i>Outras bactérias:</i>	
<i>Aeróbicas:</i>	<i>Azotobacter, Derxia, Azospirillum, Beijerinckia</i>
<i>Facultativas:</i>	<i>Bacillus, Klebsiella</i>
<i>Anaeróbicas:</i>	
Não fotossintetizante:	<i>Clostridium</i>
Fotossintetizante:	<i>Rhodospirillum</i>

FAB 06/09/08
VAL 06/03/09
LOT 040

Líquido
BIOMAX
premium

INOCULANTE PARA SOJA
Bradyrhizobium japonicum

GARANTIA:
6 X10⁹ células viáveis/mL no mínimo

Composição:
agentes estabilizantes e bactérias fixadoras de nitrogênio
das estirpes recomendadas: SEMIA-5079 e SEMIA-5080.
Natureza física: líquido - densidade: 1,03 g/mL
Registro do Produto no MAPA: SP - 00581 10021-2

RECOMENDAÇÕES DE USO:

Aplicação: 50 mL por 10 kg de sementes
Armazenamento e transporte: manter em local seco, evitando a incidência
da luz solar direta e temperaturas superiores a 30°C.
Indicação para aplicação:
No momento de usar o Biomax[®] Líquido, destapar o capô para líquido. Na
aplicação, misturar o produto com a água para líquido. Para melhor distribuição, adicionar 100 mL de água por
kg de sementes ou 100 mL de água por 10 kg de sementes por dia.
No final, adicionar a água de lavagem da pulverizadora. Usar preferencialmente
água filtrada ou água de poço de 40 a 50 L/h.



Produto para uso agrícola
Conteúdo líquido
1,2 litros



Rio-Soja Indústrias Químicas e Biotecnológicas Ltda.
Av. Marginal Esportiva, 1000 - Vila Esportiva km 303
Ca. Postal 7 - 14280-000 - Ribeirão Preto - SP
Fones: (16) 3316 1000
E-mail: bio@rio-soja.com.br
CNPJ 06.945.504/0001-00 - 16.444.504.0001-00
SP 06019-000 - Ribeirão Preto - SP
Instituto Brasileiro

Turfa[®]
BIOMAX
premium

INOCULANTE PARA SOJA

Bradyrhizobium japonicum



Substrato a base de turfa de alta
capacidade de retenção de umidade,
especial para sobrevivência e
aderência do rizóbio na semente



Produzido com substrato esterilizado,
de alta capacidade de reter umidade.

Peso líquido 180 g

