

DESENVOLVIMENTO (MATURAÇÃO) DE SEMENTES

PARTE II

Julio Marcos Filho
Tecnologia de Sementes
Depto. Produção Vegetal – USP/ESALQ

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

- Sequência de eventos programados geneticamente
 - Monocotiledôneas → endosperma
 - Dicotiledôneas → cotilédones
- Produção final: número de sementes formadas + taxa de crescimento das sementes + duração do período de "enchimento"

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

- Fontes de açúcares
 - Folhas, frutos, fotossíntese pré e pós antese: fotossintatos transferidos através de gradiente osmótico
 - Carbono é, em grande parte, integrante de componentes estruturais
 - Fotossintatos (açúcares e outros solutos) → fruto (via floema) → semente

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

- Nitrogênio e Minerais
 - Raízes
 - Nódulos
 - Minerais: raízes → gemas, folhas e ramos (via xilema) → fruto (via floema)
 - Senescência e remobilização de reservas (fruto, nucela, endosperma)

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

- Sementes maduras → dois a três tipos principais de reservas armazenadas.
- Síntese é paralela durante a maturação, de modo que as sementes possuem capacidade múltipla de biossíntese.
- Síntese ocorre em compartimentos celulares distintos:
amido, em amiloplastos
lipídios, em esferossomos (ou corpúsculos de óleo)
proteínas, no citosol e retículo endoplasmático

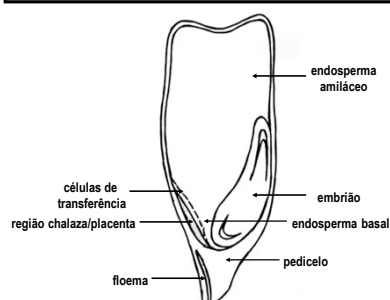
TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

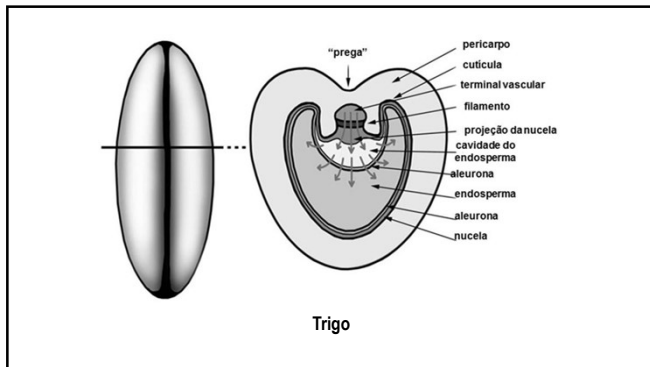
- Não há conexão vascular direta planta / semente, nem entre tegumento e embrião ou endosperma
Conexão via plasmodesmos → simplasto
Paredes + espaços intercelulares → apoplasto (transporte mais rápido)
- Últimas ramificações do sistema vascular chegam ao óvulo, via funículo e chalaza

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

- Para receber nutrientes da planta, a semente usa mecanismos de transporte a curtas distâncias

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

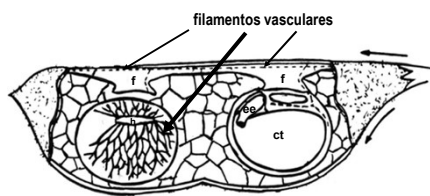




TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

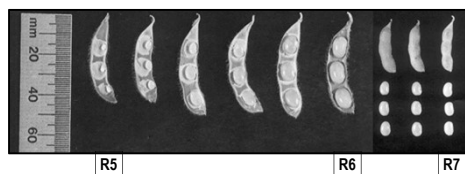
- Sementes cotiledonares

O PROCESSO DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA



ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS

- Leguminosas:
Reservas nos cotilédones
No início do desenvolvimento, fonte é a nucela
Período de acúmulo de reservas



Desenvolvimento da semente e da vagem de soja (Ritchie *et al.*, 1994)

Estádios	Mat. Seca (mg/sem.)	Teor de água (%)	Proteínas (mg/sem.)	Óleo (mg/sem.)	Açúcares (mg/sem.)
R 4	0,2	78,4	----	----	----
R 5	5,9	83,1	2,5	0,1	1,3
R 6	123,6	62,4	42,0	26,7	19,3
R 7	194,2	51,9	71,9	31,7	30,8
R 8	188,3	9,7	73,4	36,2	32,4

Variação da composição da semente de soja durante a maturação (Dornbos e McDonald, 1986)

HORMÔNIOS

Citocininas: divisão celular

Giberelinas: expansão celular e direcionamento da síntese (enzimas)

Ácido abscísico: síntese e transferência

Auxinas: assimilação

FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DA SEMENTE

- Número potencial de sementes

Número de sementes que será produzido, se for completado o desenvolvimento de todos os óvulos formados; lembrar que o limite de produção é imposto pelo genótipo

Depende do número de flores produzidas, eficiência da polinização e fecundação, taxa de abortamento, disponibilidade de nutrientes

TRANSFERÊNCIA E ASSIMILAÇÃO DAS RESERVAS



Zinselmeier et al. (1999)

- A maioria das plantas produz quantidade de óvulos superior ao número de sementes que podem suportar até a maturidade
- O período de polinização/fecundação é crítico para determinar o número de sementes produzidas e o potencial de produção
- Período de transferência/assimilação de reservas é extremamente vulnerável a estresses: tamanho e potencial fisiológico das sementes podem ser drasticamente afetados

FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DA SEMENTE

Isso mostra que a planta tem limite de produção, limitado pelo genótipo.

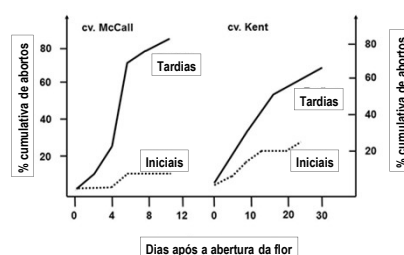
A produção máxima é alcançada se a planta alcançar um nível mínimo ("X") de desenvolvimento, podendo não ser ultrapassada mesmo quando níveis superiores a esse são atingidos

O suprimento de assimilados determina o grau de desenvolvimento das sementes; estresses durante esse período podem ser devastadores à produção e desempenho das sementes

FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DA SEMENTE

Se um número muito grande de óvulos é fertilizado, o número de sementes pode ser excessivo em relação à quantidade de nutrientes disponibilizada pela planta → aumento da taxa de abortamento

Se um número relativamente pequeno de óvulos é fertilizado, o número de sementes será restrito, em relação à quantidade de nutrientes disponibilizada pela planta → baixa produção, embora sementes formadas possam ser maiores



Acúmulo de abortos de flores e vagens no decorrer da maturação de dois cultivares de soja (Heitholt et al., 1986).

INFLUÊNCIA DO AMBIENTE SOBRE O DESENVOLVIMENTO

- Fertilidade do solo

Suprimento adequado → tamanho e peso
Princípio da compensação

- Disponibilidade de água

Suprimento adequado → número, tamanho, peso, potencial fisiológico

Deficiência hídrica: época de ocorrência (polinização, fecundação, divisões celulares, transferência de massa seca ?) → quantidade, tamanho, potencial fisiológico

- Associação com estresse térmico

Época de Deficiência Hídrica	Sementes (Nº/ planta)	Desenvolvimento das Sementes		Peso Sementes (mg)
		Taxa (mg/dia)	Nº Dias	
Testemunha	638	8,68	43	292
Divisões celulares	544	8,24	47	283
Transferência de matéria seca	644	8,11	44	277

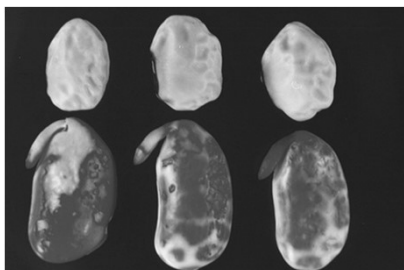
Efeitos da deficiência moderada de água sobre o desenvolvimento de sementes de milho (Ouattar *et al.*, 1987)

Época de Deficiência Hídrica	Sementes (Nº/ planta)	Desenvolvimento das Sementes		Peso Sementes (mg)
		Taxa (mg/dia)	Nº Dias	
Testemunha	518	9,91	46	311
Divisões celulares, até a maturidade fisiológica	519	8,18	28	168
Transferência de matéria seca, até a maturidade fisiológica	545	9,76	38	273

Efeitos da deficiência severa de água sobre o desenvolvimento de sementes de milho (Ouattar *et al.*, 1987)



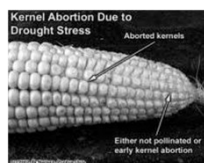
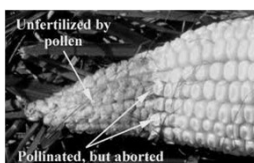
APROSMAT, 2006



França-Neto



Abortos causados por seca



INFLUÊNCIA DO AMBIENTE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA SEMENTE

- Luminosidade
Fotossíntese x desempenho
Retenção de flores e frutos
- Posição da semente na planta
Flores tardias
- Temperatura
Valor crítico: 35°C durante o período de transferência de matéria seca
Maturação "forçada"

INFLUÊNCIA DO AMBIENTE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA SEMENTE

- Deficiência hídrica associada ao estresse térmico

- Soja: enrugamento
- Temperaturas > 32° C: atuam proteínas de choque térmico (biointiladas) em determinados cultivares
- Maturação "forçada" (sementes esverdeadas)

Estresse Hídrico	Produção (g/planta)		Sementes (nº/planta)		Peso Matéria Seca (g/sem)	
	29°C	35°C	29°C	35°C	29°C	35°C
Testemunha	34,3	24,4	136	131	208	188
Moderado	24,0	14,8	132	108	192	135
Severo	18,3	8,7	112	87	164	99

Efeitos dos estresses hídrico e térmico sobre a produção, número e peso das sementes de soja (Dornbos e Mullen, 1991).

SOJA - Maturidade Fisiológica R₇

Sementes esverdeadas (soja, repolho)



Estresse hídrico + Alta temperatura durante a maturação

Não há degradação completa da clorofila (luz + enzimas) na passagem de R₆ para R₇, ou seja, as sementes desidratadas rapidamente não perdem a clorofila no mesmo grau que aquelas desidratadas mais lentamente

(Zorato et al., 2007; Pádua, 2006; Pádua et al., 2009)

Denise Dias



Gilda Pádua

SEMENTES ESVERDEADAS

- Deficiência hídrica e/ou estresse térmico (“forçada”)
- Aplicação de dessecantes ou fungicidas em época inadequada (podem afetar equilíbrio nutricional e atividade enzimática)
- Ataque de fungos (raízes, haste e/ou folhas)
- Ataque de insetos (percevejos)
- Excesso de água
- Distribuição inadequada de calcário ou fertilizantes
- Desuniformidade de maturação

Ocorrência é associada ao genótipo



Gilda Pádua

Coloração	Germinação (%)		TZ 1-3 (%)		Emergência (%)	
	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses
Amarelado	88	87	75	73	87	88
Esverdeado	60	19	52	20	58	38

Soja: presença de sementes esverdeadas e seus efeitos imediatos e latentes no potencial fisiológico (Scheren e Tolentino Junior, 2005)

REVERSÃO DO METABOLISMO DE DESENVOLVIMENTO

Padrão de desenvolvimento da semente: divisão e expansão celular, acúmulo de matéria seca, dessecação

Durante a maior parte do período de desenvolvimento:
formação e atividade de enzimas envolvidas em processos de síntese, gerenciada pela síntese de RNA-m específico

REVERSÃO DO METABOLISMO DE DESENVOLVIMENTO

Gerenciamento:

Citocininas → divisão celular

Giberelinas → expansão celular e direcionamento da síntese de reservas

Ácido abscísico → acúmulo de matéria seca

Auxinas → assimilação de matéria seca

As sementes germinam enquanto presas à planta-mãe ?



tomate

Por que sementes não germinam no interior do fruto??

Denise Dias

Por que sementes não germinam no interior do fruto??

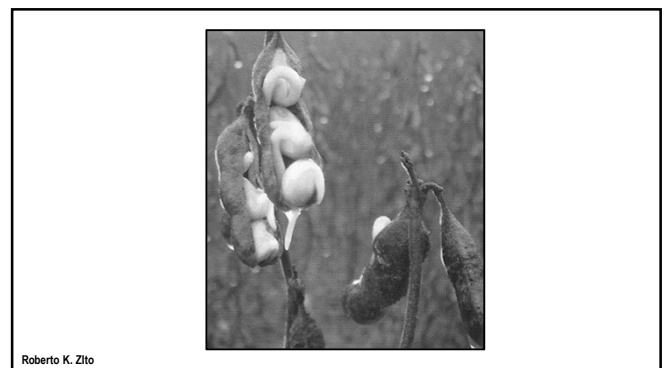
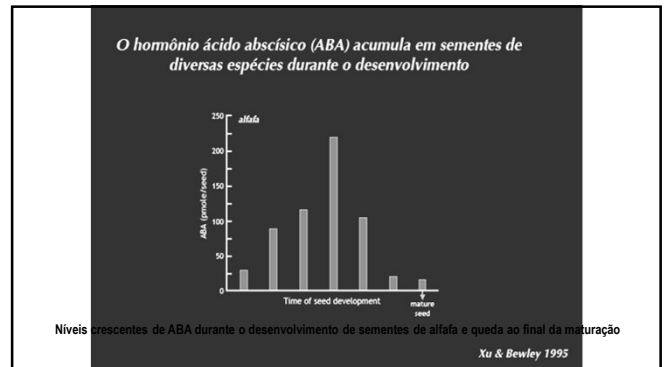
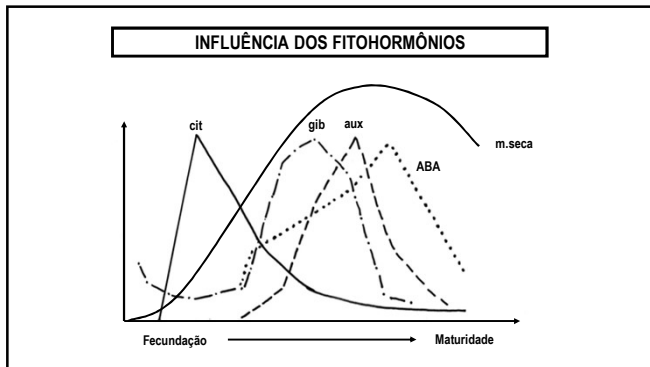


melão



tomate

Denise Dias



REVERSÃO DO METABOLISMO DE DESENVOLVIMENTO**Síntese e atividade do ABA:**

Prevenção contra a passagem direta da fase de embriogênese para a de germinação

Síntese e atividade do ABA:

Alta concentração durante a embriogênese

Síntese de RNA-m durante a embriogênese

Codificação da síntese de enzimas envolvidas em processos de síntese

REVERSÃO DO METABOLISMO DE DESENVOLVIMENTO

Durante a fase de desidratação:

Redução da síntese de ABA ou menor sensibilidade da semente aos níveis de ABA

Passa a predominar a síntese de enzimas envolvidas em processos de hidrólise (formação de “estoque”)

REVERSÃO DO METABOLISMO DE DESENVOLVIMENTO

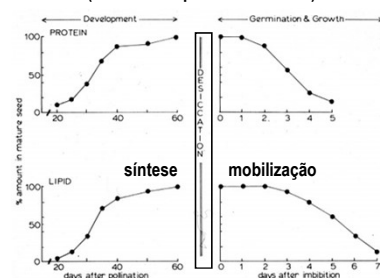
Gerenciamento pelo RNA-m, codificando genes que direcionam a síntese de enzimas envolvidas em processos de hidrólise

Consequência:

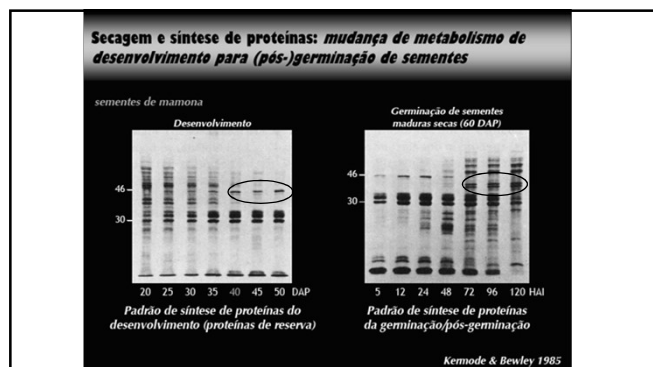
Reversão do metabolismo em população inalterada de células: “trabalhavam” para a síntese e, após a reidratação, passam a ativar processos de hidrólise

Sementes Ortodoxas x Recalcitrantes

Secagem é o “sinal” para o disparo da reversão do metabolismo (anabolismo para catabolismo)



Henk Hilhorst



TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO DURANTE A MATURAÇÃO

Secagem durante a maturação:

É padrão de desenvolvimento, conduzindo o embrião à quiescência
Preparo para a germinação

Tolerância à dessecação:

Capacidade de recuperar as funções biológicas, quando as sementes são reidratadas após terem sido submetidas a desidratação natural ou artificial

Depende da capacidade de manutenção da estrutura das membranas e de prevenção da desnaturação de proteínas

TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO DURANTE A MATURAÇÃO

Tolerância à dessecação:

Depende da forma como o tecido é desidratado e reidratado novamente: época e rapidez

Perda gradual de água: menores problemas porque permite a atuação de mecanismos protetores

Perda da turgidez celular, com a secagem rápida: a célula pode entrar em colapso

TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO DURANTE A MATURAÇÃO

Tolerância à dessecação:

Fase Intolerante:

Divisão e expansão celular + parte do período de deposição de reservas

Fase Tolerante:

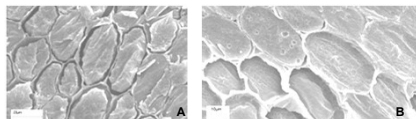
Maior parte das reservas depositada e assimilada

Dessecação prematura e rápida:

Síntese de enzimas e proteínas essenciais

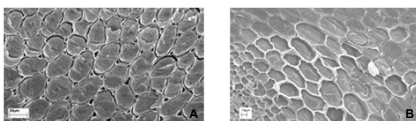
Perda da turgidez celular, danos a membranas, estrutura de enzimas, proteínas e ácidos nucleicos

2



Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura mostrando danos causados por secagem em eixos embrionários de sementes de soja colhidas com 65% de água. A: eixos embrionários de sementes submetidas a secagem artificial; B: sementes secadas naturalmente (Silva *et al.*, 2007).

3



Eixos embrionários de sementes de soja colhidas com 40% de água. A: eixos embrionários de sementes submetidas a secagem artificial; B: sementes secadas naturalmente (Silva *et al.*, 2007).

TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO DURANTE A MATURAÇÃO: SUBSTÂNCIAS OU MECANISMOS PROTETORES

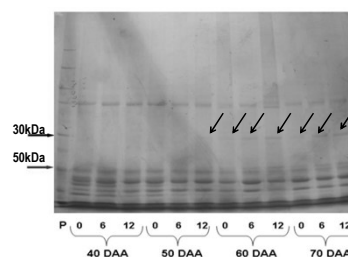
- Proteínas do tipo LEA (late embryogenesis abundant)

Hidrofílicas favorecem a tolerância à dessecação. Um dos subgrupos mais importantes é o das deidrininas

Geralmente localizadas no citoplasma e no núcleo, contribuem para a estabilização de membranas, de outras proteínas e macromoléculas: são estáveis e têm habilidade de atrair moléculas de água (manutenção da estrutura de membranas)

TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO DURANTE A MATURAÇÃO: SUBSTÂNCIAS OU MECANISMOS PROTETORES

- Sistemas antioxidantes: enzimas (SOD, CAT, PO)
- Açúcares solúveis: rafinose, estaquiose, sacarose
- Proteínas de “choque térmico” (HSP): induzidas por choque térmico → manutenção da estrutura de proteínas
- Secagem gradual



Perfil eletroforético de proteínas LEA em sementes de pimenta obtidas de frutos colhidos aos 40, 50, 60 e 70 DAA e armazenados por 0, 6 e 12 dias

Denise Dias

Vidigal *et al.*, 2009

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (RESERVAS ARMAZENADAS) DE SEMENTES

SUBSTÂNCIAS ARMAZENADAS NAS SEMENTES

Presentes no endosperma e/ou embrião

Raramente no perisperma

Classificação:

Amiláceas

Aleuro - Amiláceas

Oleaginosas

Aleuro - Oleaginosas

Córneas

Espécie	Proteínas (%)	Lípidios (%)	Carboidratos(%)	Estrutura
Algodão	39	33	15	Embrião
Amendoim	31	48	12	Embrião
Arroz	08	02	65	Endosperma
Cevada	12	03	76	Endosperma
Ervilha	25	06	52	Embrião
Feijão	23	01	56	Embrião
Girassol	17	46	19	Embrião
Linho	24	36	24	Embrião
Mamona	18	64	00	Endosperma
Milho	10	05	80	Endosperma
Pinus	35	48	06	Endosperma
Soja	37	17	26	Embrião
Sorgo	10	04	72	Endosperma
Trigo	12	02	75	Endosperma

Reserva	Semente	Endosperma	Embrião
Amido	74	88	09
Lípidios	04	< 1.0	31
Proteínas	08	07	19

Composição porcentual de reservas armazenadas em diferentes partes de sementes de milho, cv Iowa 939 (Bewley e Black)

SUBSTÂNCIAS ARMAZENADAS NAS SEMENTES**1. Carboidratos: principais reservas**

Monossacarídeos: pentoses e hexoses

Dissacarídeos: sacarose, lactose, maltose

Oligossacarídeos: rafinose, estaquiose, trealose
verbascoseProteção ao sistema de membranas e
danos por dessecação**SUBSTÂNCIAS ARMAZENADAS NAS SEMENTES****1. Carboidratos: principais reservas**

Função predominante → fornecimento de energia

Amido (polissacarídeo): amilose + amilopectina

Formado a partir de açúcares, depositado em amiloplastos

Hemicelulose, Celulose: polissacarídeos

Parede celular, principalmente tegumento

SUBSTÂNCIAS ARMAZENADAS NAS SEMENTES**2. Lipídios**

Função predominante → fornecimento de energia

Saturados e insaturados

Base: número de ligações duplas nas cadeias
de hidrocarbonetos

Espécie	Palmitico (16:0)	Estearico (18:0)	Oleico (18:1)	Linoleico (18:2)	Linolênico (18:3)
Milho	12	2	24	61	< 1
Girassol	6	4	26	64	0
Soja	11	3	22	54	8
Algodão	27	3	17	52	0
Amendoim	12	2	50	31	0
Gordura Animal	29	13	43	10	0,5

Composição percentual de ácidos graxos em óleos comerciais de
várias origens (Bewley e Black, 1985)

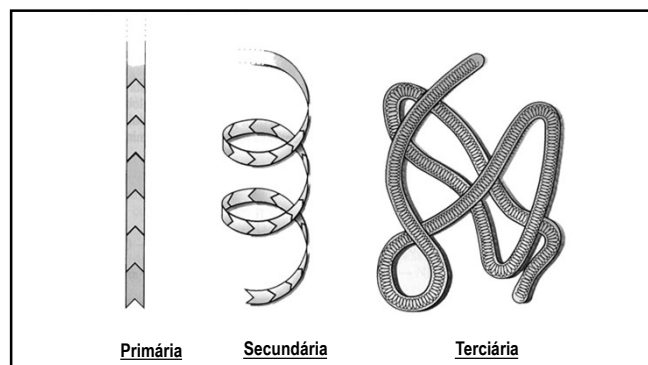
SUBSTÂNCIAS ARMAZENADAS NAS SEMENTES

3. Proteínas

Metabolicamente inativas:

Utilizadas para a formação de novos tecidos nos pontos de crescimento do embrião

Metabolicamente ativas: enzimas



RESERVAS ARMAZENADAS E CONSERVAÇÃO DAS SEMENTES

Composição química x Equilíbrio higroscópico

Espécie	Umidade Relativa do Ar (%)				
	30	40	50	60	70
Arroz	9,0	10,0	11,0	12,1	13,4
Milho	8,6	10,0	11,3	12,7	14,3
Trigo	9,3	10,5	10,9	13,8	14,6
Soja	5,4	7,2	8,9	10,7	12,7
Amendoim	4,2	5,0	6,2	7,2	8,9

Estabilidade química x Reação ao ambiente

