

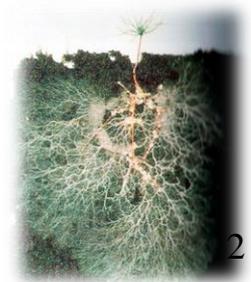
Micorrizas

Prof. Everlon Cid Rigobelo



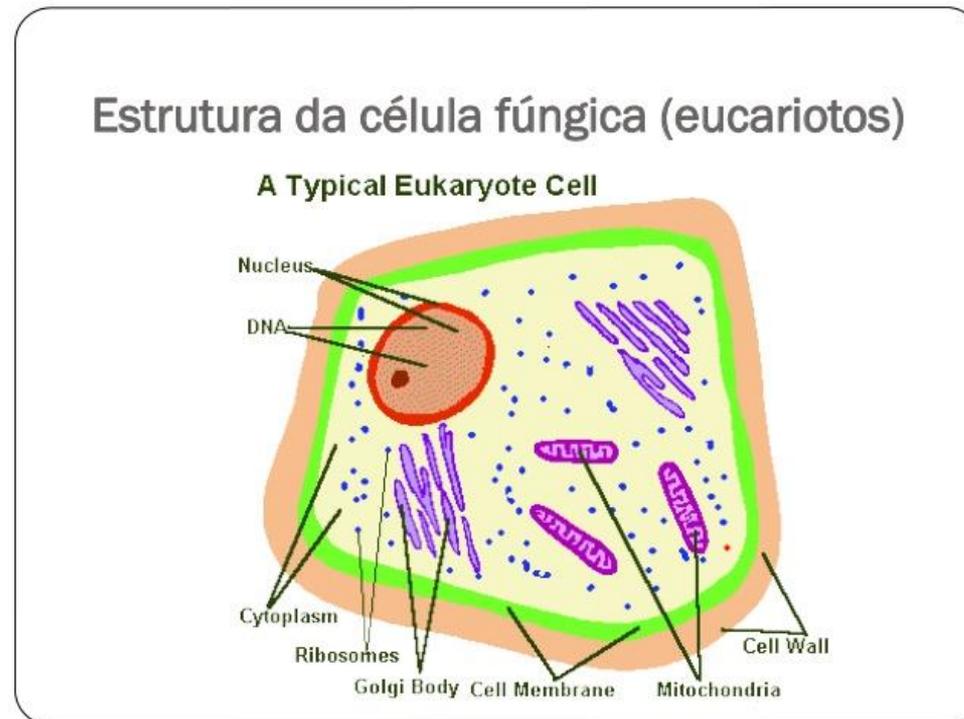
Micro-organismos

- Seres vivos mais primitivos do planeta
 - Surgiram a 3,9 bilhões de anos atrás
- Adquiriram diversas características
 - Adaptabilidade para coexistência com outros seres vivos
 - Diversas relações em forma e função



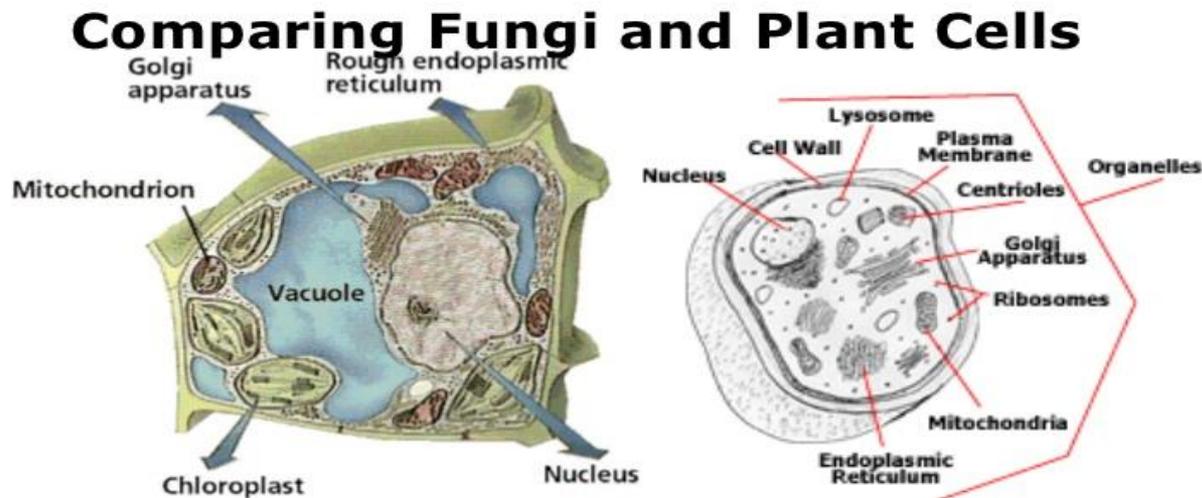
Fungos

- Seres eucarióticos
 - Unicelulares ou pluricelulares



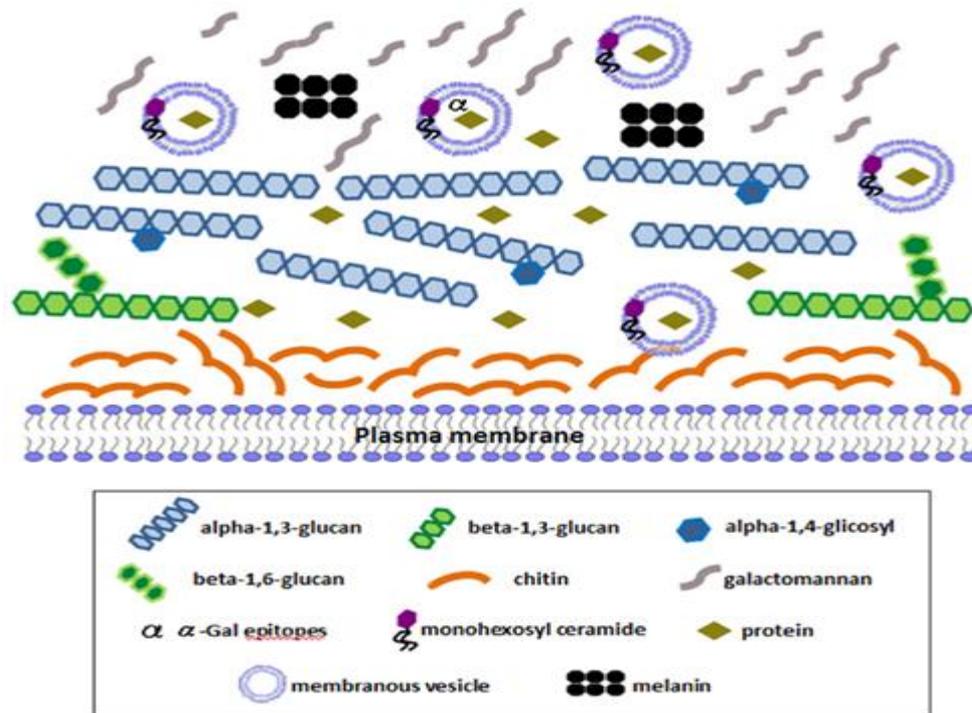
Fungos \neq Plantas

- Aclorofilados
- Ausência de celulose na parede celular
- Não armazenam amido



Fungos = Animal

- Quitina na parede celular
- Armazenam glicogênio



Classificação em Filos



Eumycota



Mastygomicota



Zygomycota



Ascomycota

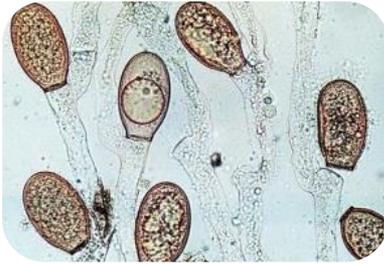


Deuteromycota



Basidiomycota

Classificação em Filos



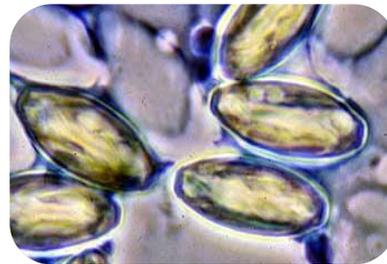
Chytridiomycota



Neocallimastygomicota



Blastocladiomycota



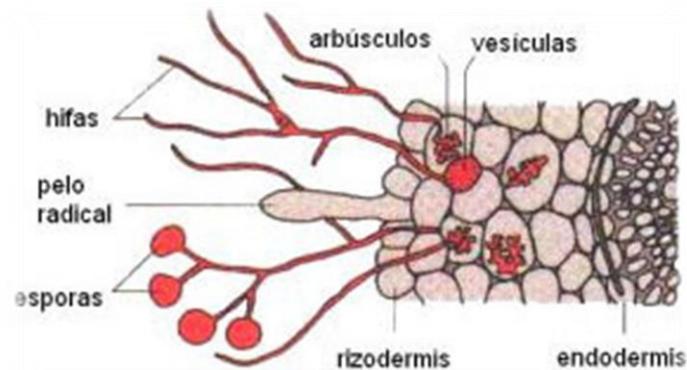
Microsporidia



Glomeromycota

Micorrizas

- Surgiram a 400 milhões de anos atrás
 - Aparecimento com as plantas terrestres
- Simbiose entre plantas e micro-organismos heterotróficos



Micorrizas

- Fungos saprofíticos
 - Surgiram a 1 bilhão de anos atrás
 - Elaboraram estratégias para colonizar os tecidos vegetais
 - Estabelecer mutualismos com as plantas



Fungos Saprofíticos



Zigomiceto

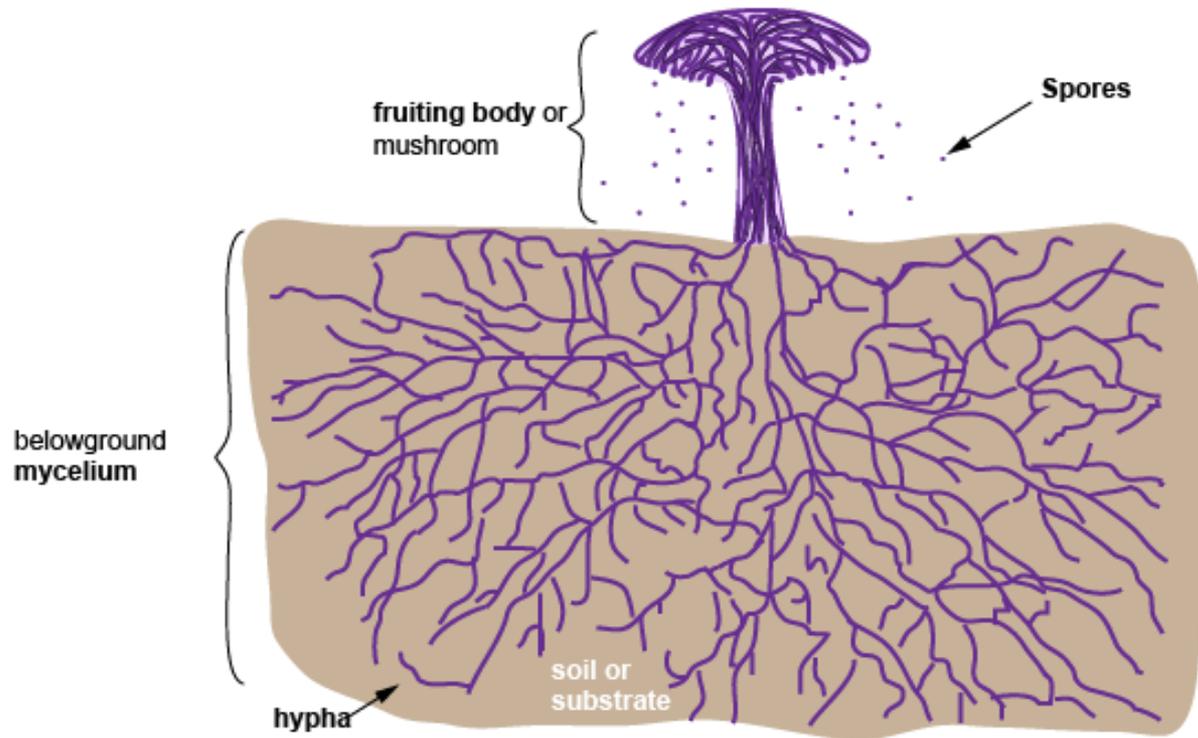


Mycena hematopus

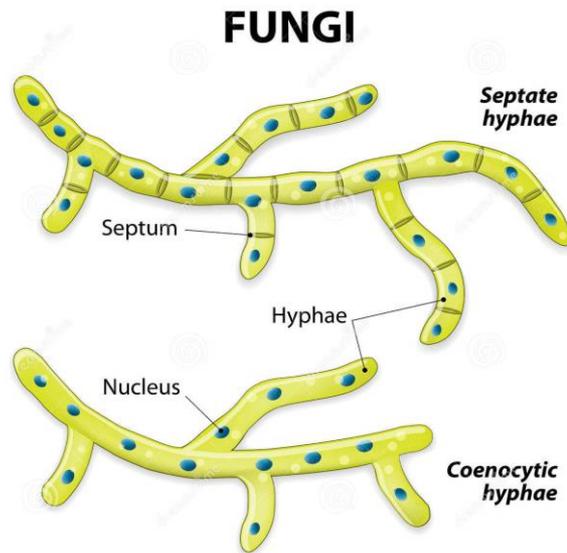


Ascomicetos

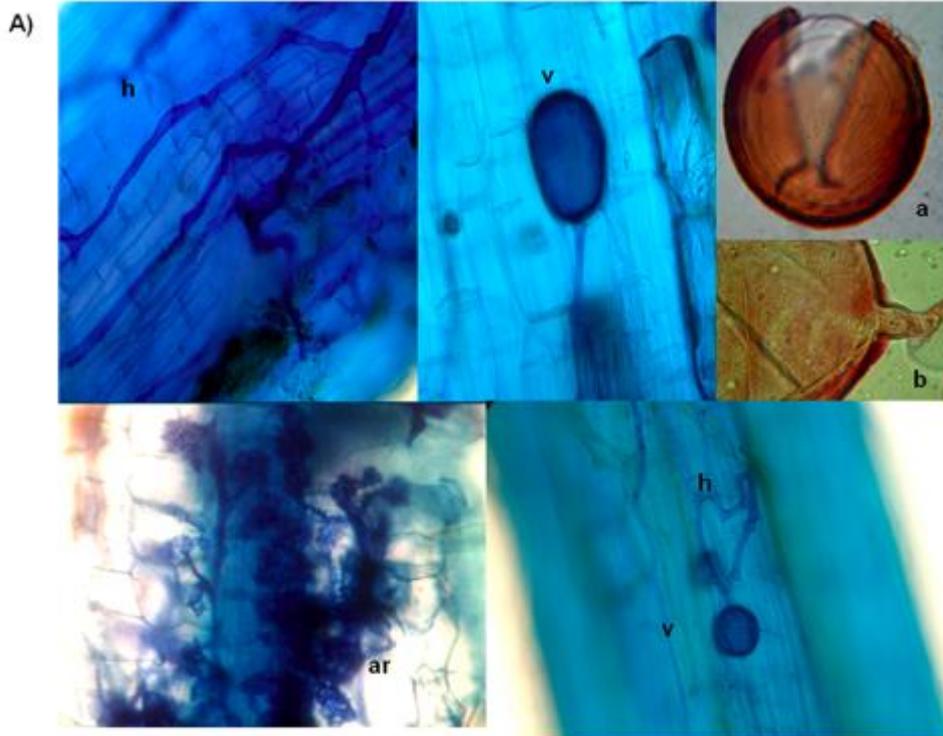
Hifas



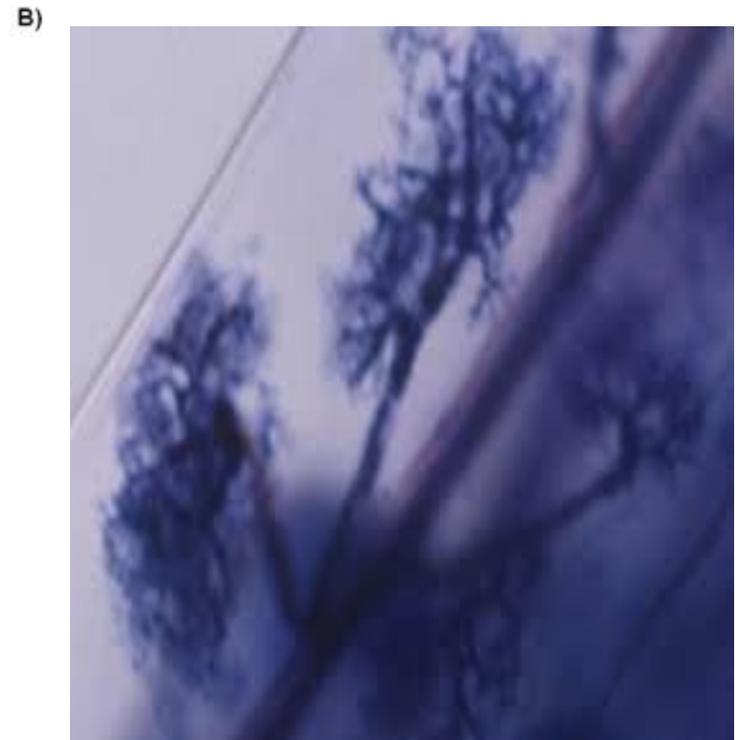
Tipos de Hifas



Fungos Micorrízicos



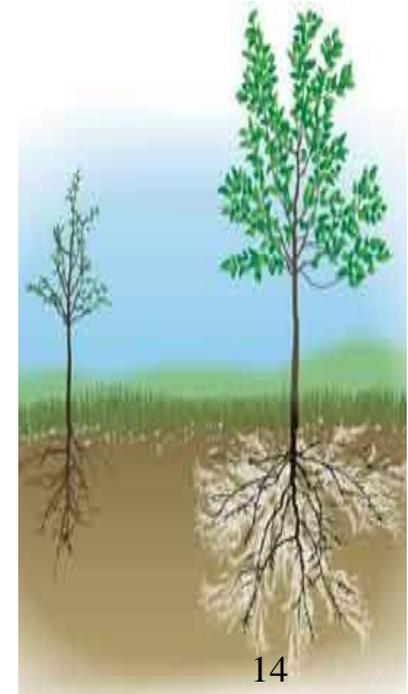
Pacispora sp



Funneliformes sp

Exigências de uma simbiose estável

- Capacidade de se comunicarem molecularmente
 - Mecanismos de tropismos e tactismos
 - Interação célula-célula
 - Integração morfológica e funcional



As consequências dessa simbiose

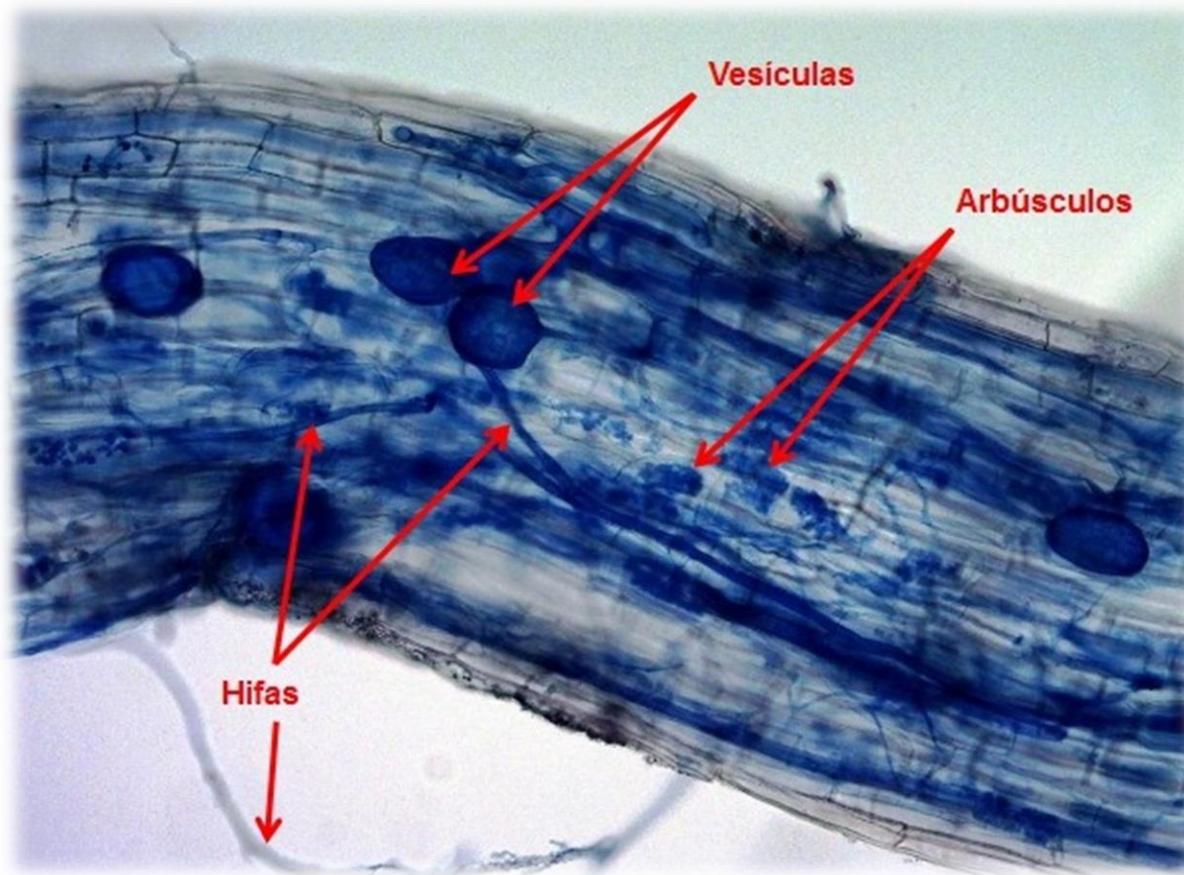
- Permitiu a coexistência dos parceiros
- Facilitou a evolução
- Promoveu a diversidade das espécies
- Colonização do *habitat* terrestre



Micorriza doença?

- Alguns fitopatologista da época consideravam como doença.
- Ficou provado experimentalmente
 - Órgão morfológicamente característico
 - Com dependência fisiológica íntima e recíproca

Estrutura



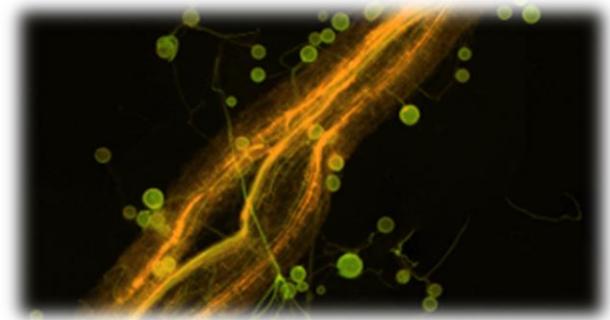
Como surgiram as micorrizas?

- O processo evolucionário é desconhecido
 - Fungos fitossimbióticos originaram de fungos saprofíticos obrigatórios
- Ao longo do tempo
 - Adquiriram elevado grau de compatibilidade genética e funcional
 - Com os parceiros autotróficos



Como surgiram as micorrizas?

- Fungos saprófitas perderam
 - A capacidade saprofítica tornando-se biotróficos
 - Capacidade de patogênese
- Adquiriram regulação
 - Na capacidade de síntese de enzimas hidrolíticas
 - Que causam citólise e necrose de células do HO₁₉



Fungos de raízes são micorrizas?

- Nem todos os fungos que habitam as raízes formam micorrizas
 - Fungos sem nenhum efeito sobre as raízes
 - Relações naturalistas
 - Associações peritróficas

Simbiotrofismo

- Facultativo
 - Fungos associado as raízes e com certa capacidade saprofítica
- Obrigatório
 - Fungo perdeu a capacidade saprofítica
 - Para completar o ciclo depende de células vivas do hospedeiro

Simbiotrofismo

- Incapacidade de viver saprofiticamente
- Incapacidade de realizar fotossíntese
 - Associação com raízes
 - Obtenção de C e outros nutrientes da planta HO

Simbiotrofismo

- É uma parceria favorecida:
 - Biotrofismo bem desenvolvido, balanceado e permanente
 - Compatibilidade estrutural e fisiológica entre os parceiros
 - Habilidade dos simbiossitos de atuar de maneira regulável
 - Controlando os benefícios mútuos da relação

Benefícios da relação micorrízica

- Aumento da produção de plantas em solos marginais



Benefícios da relação micorrízica

- Facilitam a recuperação de áreas degradadas e solos contaminados



Benefícios da relação micorrízica

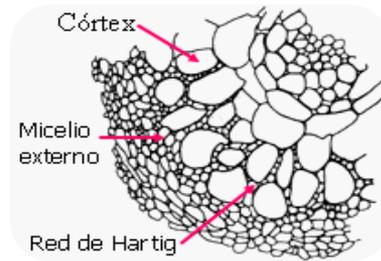
- Redução do uso de insumos agrícolas
 - Fertilizantes



Tipos de Micorrizas



Arbusculares



Ectomicorrizas



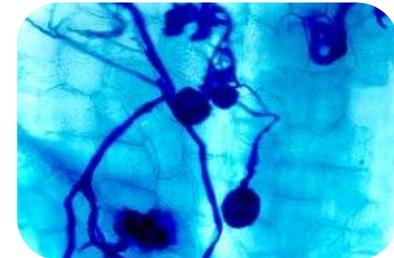
Orquidoides



Ectendomicorrizas



Arbutóides



Ericóides

Table 1 The characteristics of the important mycorrhizal types

	Kinds of mycorrhiza						
	VA	Ectomycorrhiza	Ectendo- mycorrhiza	Arbutoid	Monotropoid	Ericoid	Orchid
Fungi							
septate	—	+	+	+	+	+	+
aseptate	+	—	—	—	—	—	—
Intracellular colonization	+	—	+	+	+	+	+
Fungal sheath	—	+	+ or —	+ or —	+	—	—
Hartig net	—	+	+	+	+	—	—
Vesicles	+ or —	—	—	—	—	—	—
Achlorophylly	— (?+)	—	—	—	+	—	+*
Fungal taxa	Zygo	Basidio/Asco (Zygo)	Basidio/Asco	Basidio	Basidio	Asco	Basidio
Plant taxa	Bryo Pterido Gymno Angio	Gymno Angio	Gymno Angio	Ericales	Monotropaceae	Ericales Bryo	Orchidaceae

* All orchids are achlorophyllous in the early seedling stages. Most orchid species are green as adults.

The structural characters given relate to the mature state, not the developing or senescent states. Entries in brackets indicate rare conditions.

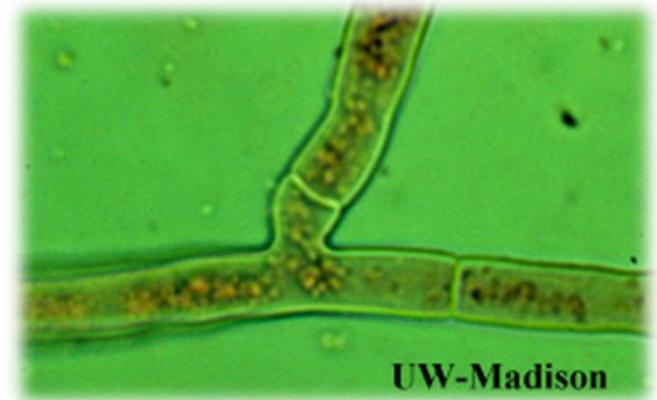
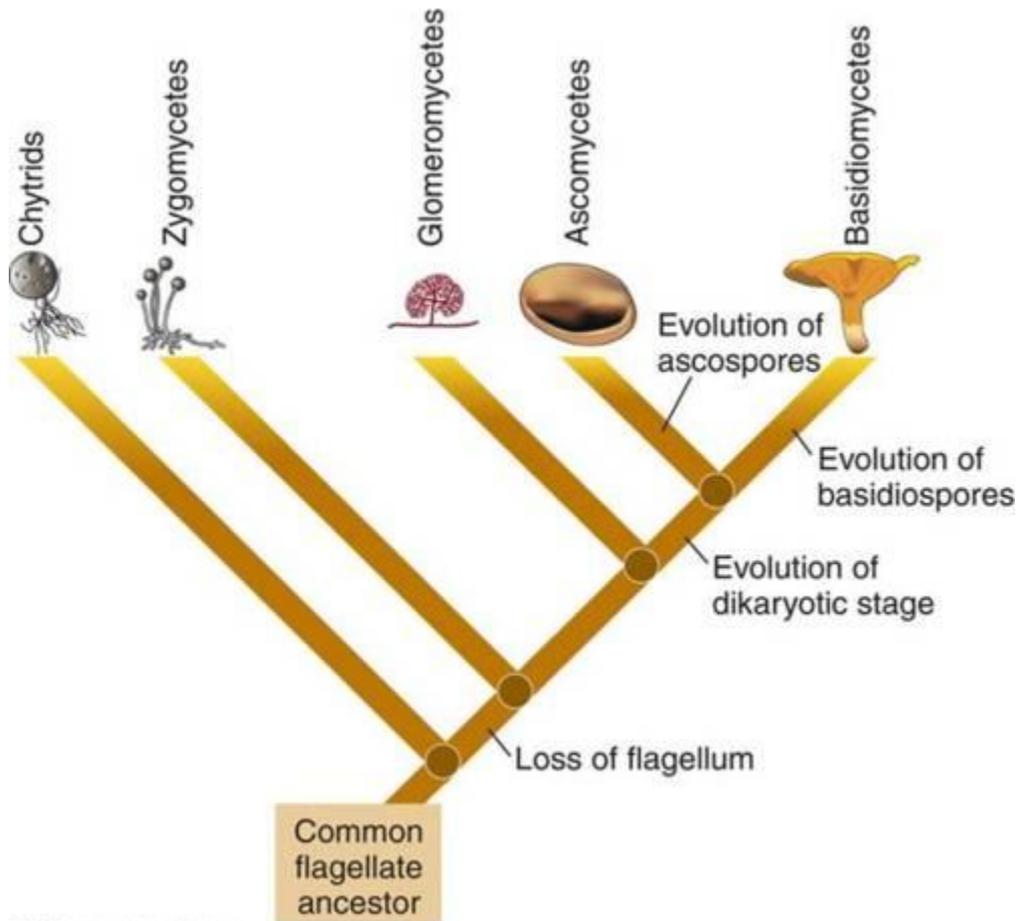
The fungal taxa are abbreviated from Zygomycetes, Ascomycetes and Basidiomycetes; the plant taxa from Bryophyta, Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae.

Smith, E.S; Read, J.D. Mycorrhizal symbiosis 2.ed. New York: Academic Press, 1997.605p.

Micorrizas Arbusculares

- Formadas por fungos *Glomeromycotas*
 - Fungos septados
 - Colonizam Gimnospermas e Angiospermas
 - Algumas Briófitas e Pteridófitas

Glomeromycotas



Plantas



Gimnosperma



Angiosperma



Briófitas

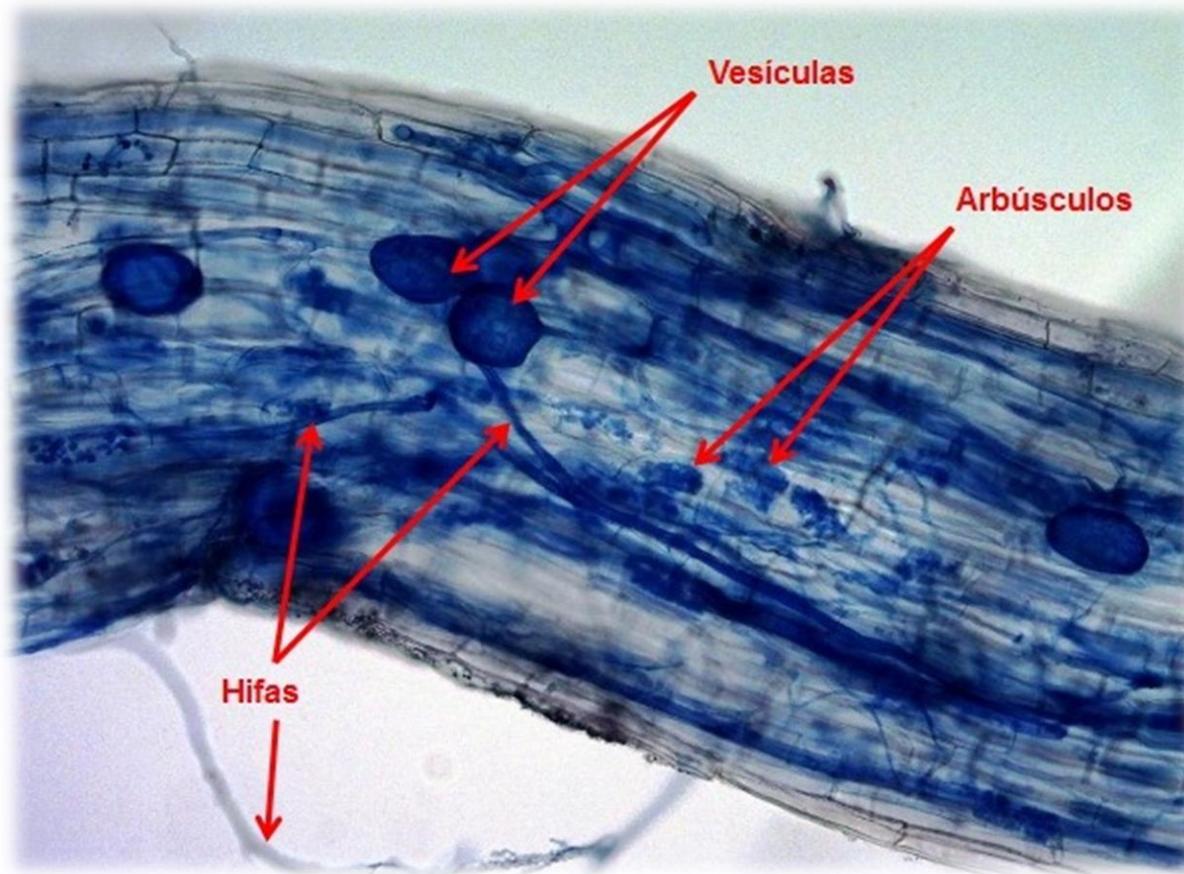


Pteridófitas

Micorrizas Arbusculares

- Formação de arbúsculos
 - Estruturas ramificadas e típicas das MAs
- Colonização das células do córtex
- Alguns fungos formam vesículas
 - Hifas com dilatações terminais

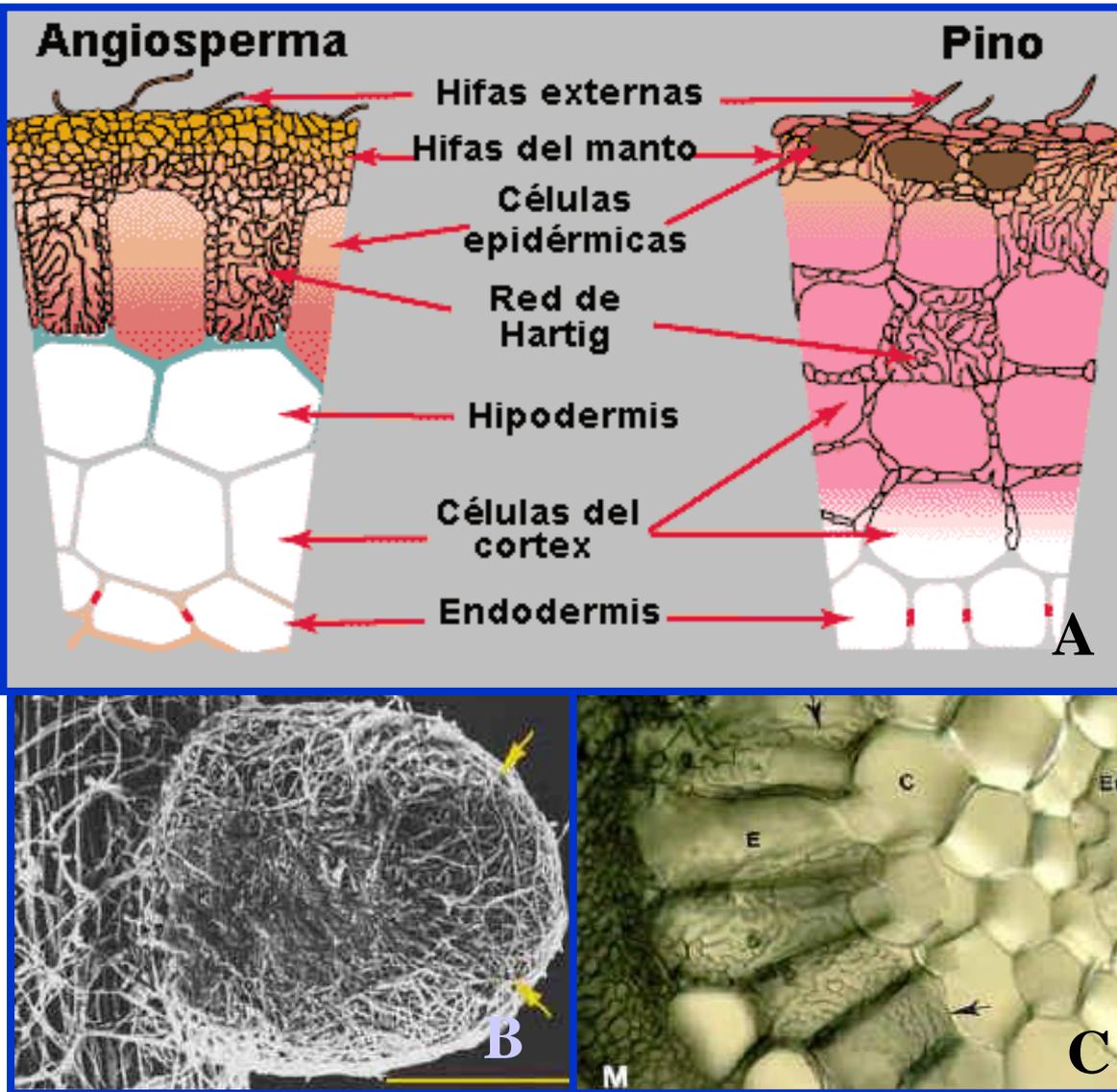
Micorrizas Arbusculares



Ectomicorrizas

- Na maioria formado por fungos septados
 - Pertencentes as Basideomicetos
 - Não penetram no córtex das raízes
 - Formação da rede de Hartig
 - Formação do manto fúngico ao redor das raízes

PROCESSO DE COLONIZAÇÃO DAS ECTOMICORRIZAS



1. Ativação dos propágulos do fungo;
2. Formação do tubo de hifas na rizosfera;
3. Formação do manto e rizomorfo;
4. Penetração nas junções celulares da raiz (intercelular);
5. Colonização do córtex pelas hifas;
6. Formação da rede de Hartig.

Figura 3. Estabelecimento de ectomicorrizas em Angiosperma e pino (A); Raíz de pino colonizada por *Pisolithus tinctorius*, mostrando a formação do manto de hifas (B); Corte transversal de raíz de *Populus tremuloides*, mostrando a rede de Hartig (C)

Ectomicorrizas

- Provocam intensas modificações morfológicas
 - Nas células colonizadas
- São típicas de árvores de clima temperado
 - Coníferas
- Elevada frequência nos ecossistemas = MAs

Ectendomicorrizas

- Muito semelhante as ectomicorrizas
 - Rede de Hartig grossa
 - Elevado grau de penetração intracelular
 - Ocorrem nas partes mais velhas das raízes

Ectomicorrizas

- Membros das coníferas
 - *Pinus*



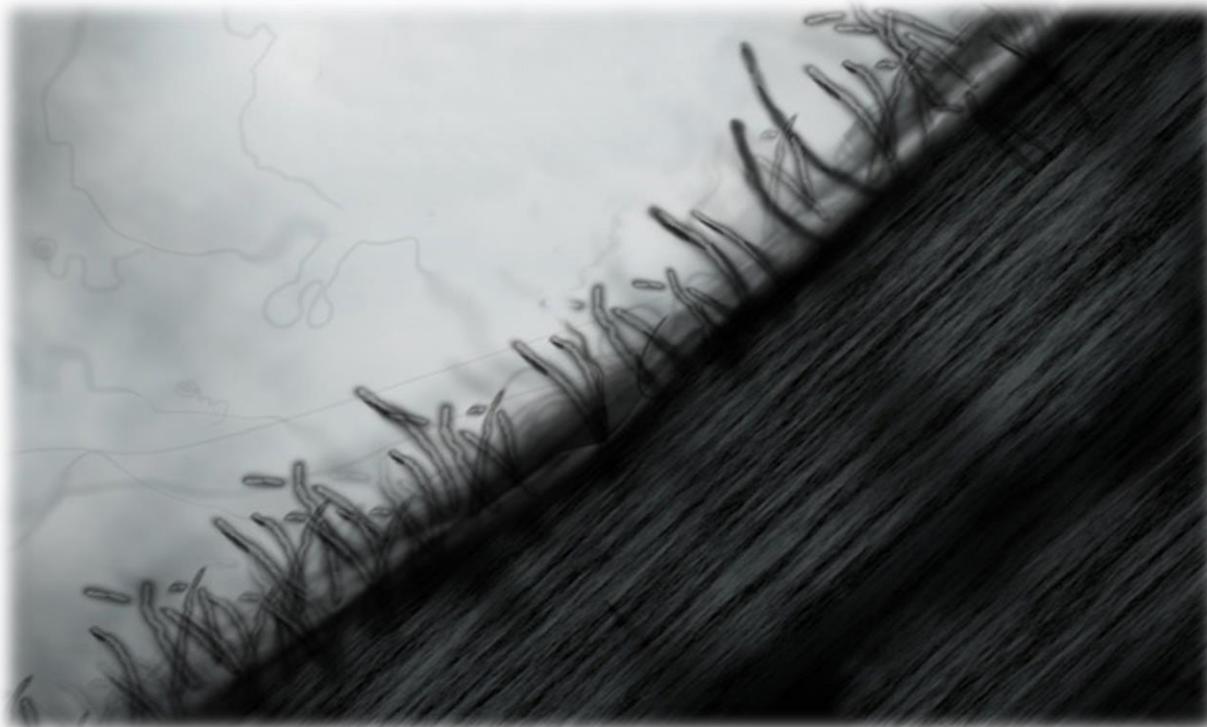
Ectomicorrizas

- Ascomiceto
 - *Tricharina*



Ectomicorrizas

- Surgem em solos sob intensa ação antrópica
- *Wilcoxina mikolae* solos elevada MO



Micorrizas Arbutóides

- Espécies vegetais



*Pyrola
elliptica*



*Arctostaphylos
uva-ursi*

Micorrizas Arbutóides

- Fungos *Lactarius* e *Russula*
- Planta - *Monotropa uniflora*



Lactarius sp



Russula sp



Monotropa uniflora

Fungos – Micorrizas Arbutóides



*Hebeloma
crustuliniforme*



*Laccaria
laccata*



*Lactarius
sahufluus*



*Rhizopogon
vinicolor*

- 
- Esses mesmos fungos formam ectomicorrizas
 - Com outras plantas
 - Aparentemente a planta regula o desenvolvimento da ectendomicorriza

Mico-heterotrofia

- Plantas aclorofiladas dependentes de fungos desprovidos de clorofila
 - Depende de suprimento externo de compostos orgânicos
 - Fornecidos pelo fungo para germinar

Mico-heterotrofia

- O estímulo que o fungo causa na planta
 - Origina-se do solo ou de um HO secundário
 - *Pinus*



Monotrope uniflora



Sarcodes sanguinea

Mico-heterotrofia

- Ocorre em orquídeas
- Briófitas e Pteridófitas
 - Estádio gametofíticos
- Fungos transfere compostos orgânicos
 - HO secundário para HO monotropóide aclorofilado
 - Importante função ecológica

Micorrizas Ericóides

- Ocorrem na família Ericaceae
 - Plantas distribuídas no mundo todo
 - Hemisfério Norte

Micorrizas Ericóides

- Família *Epacridaceae*

- Hemisfério Sul

- Gêneros de Plantas

- *Rhododendron*, *Vaccinium*, *Epacris*



Micorrizas Ericóides

- Fungo septado
 - Produz hifas enroladas no interior das células
 - São muito específicas quanto ao hospedeiro

Micorrizas Ericóides

- Raízes ericóides
 - Células epidérmicas não produzem pêlos radiculares
 - Células colonizadas intracelularmente
 - *Calluna vulgaris*



Micorrizas das Orquídeas

Orquidoídes

- Formados de fungos septados
 - Colonizam intracelularmente as raízes
 - Formam enrolados de hifas no interior celular



Orquidóides

- Oquídeas aclorofiladas
 - Mico-heterotróficas
- Fungos
 - *Rhizoctonia repens*

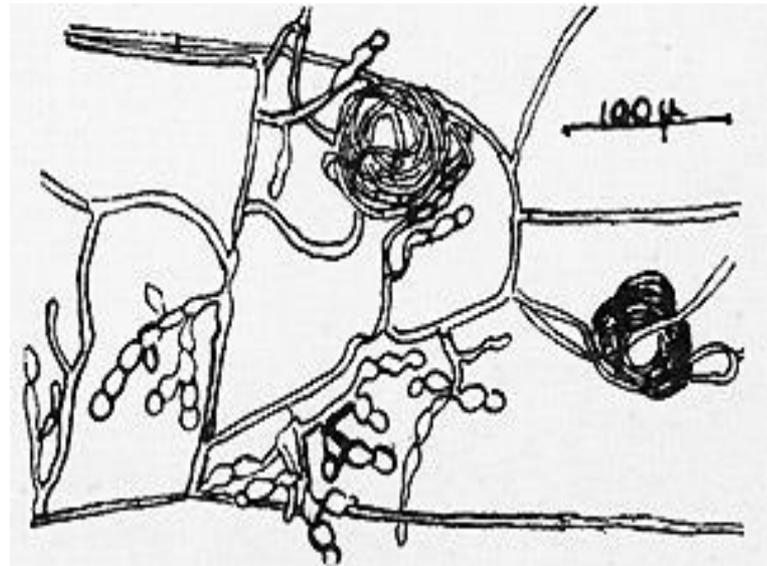
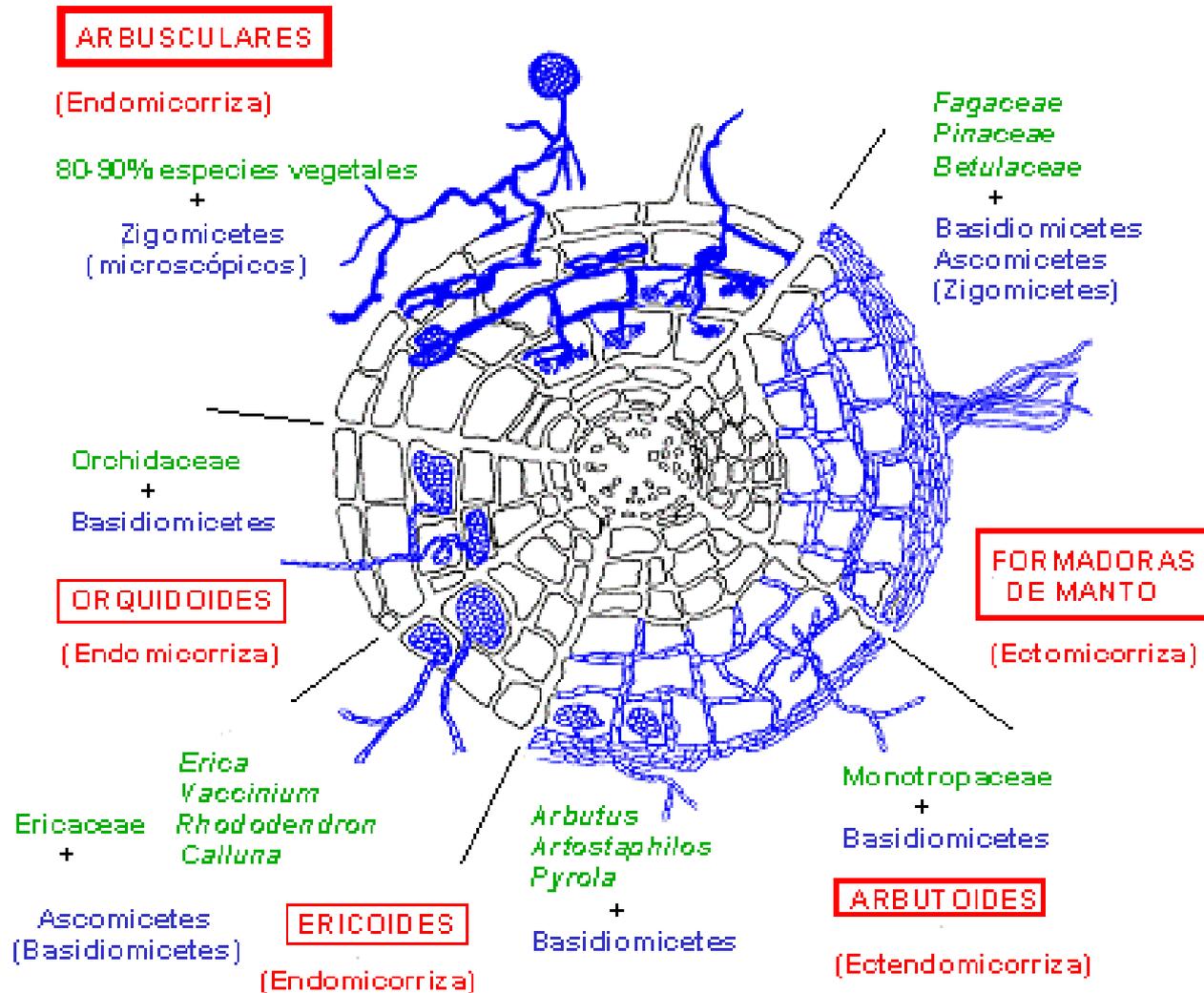


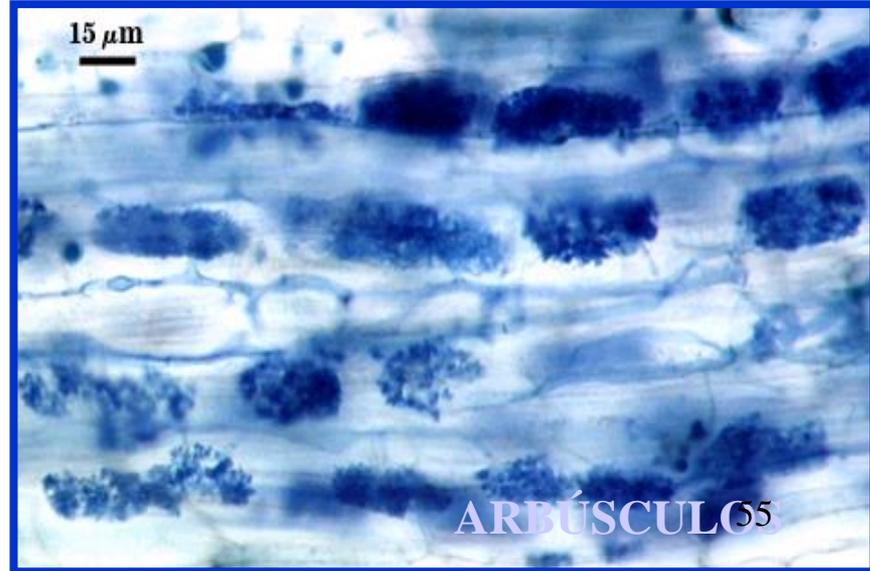
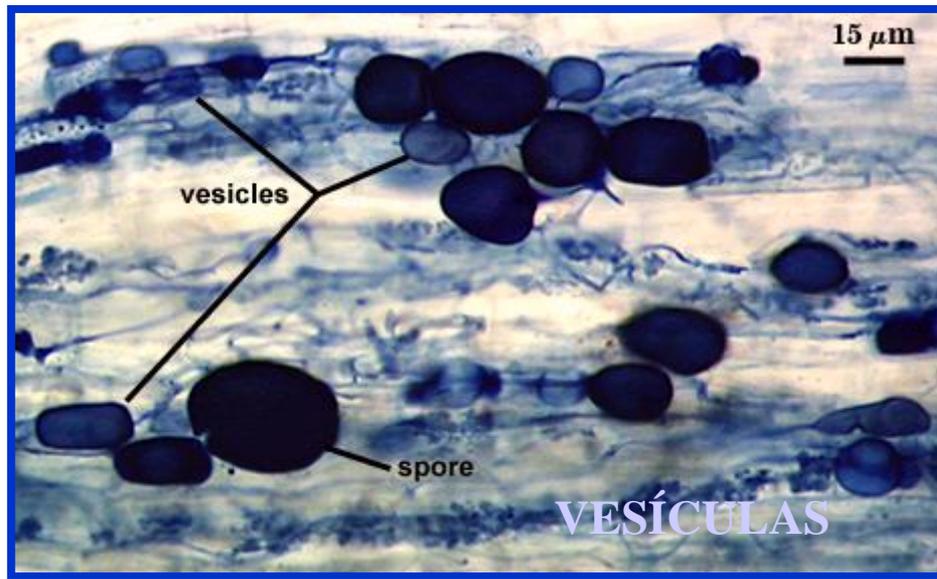
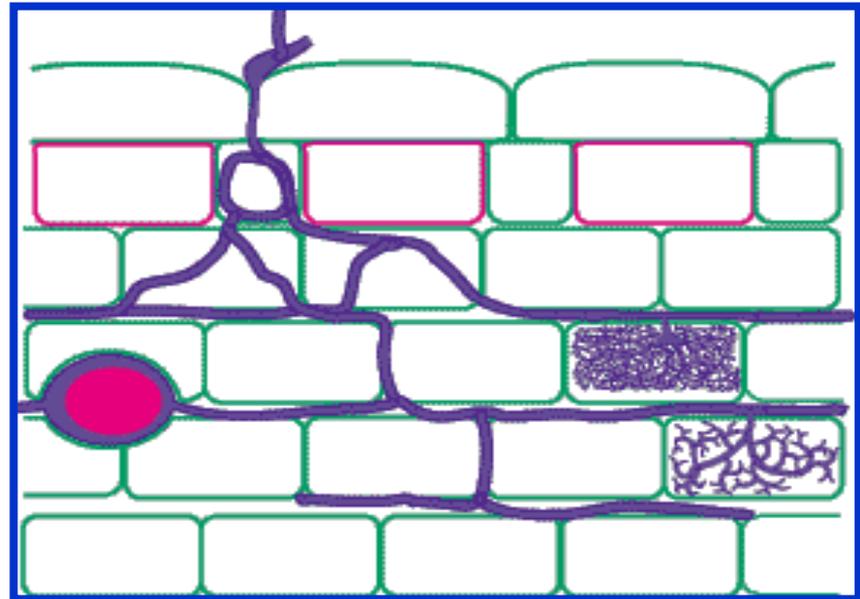
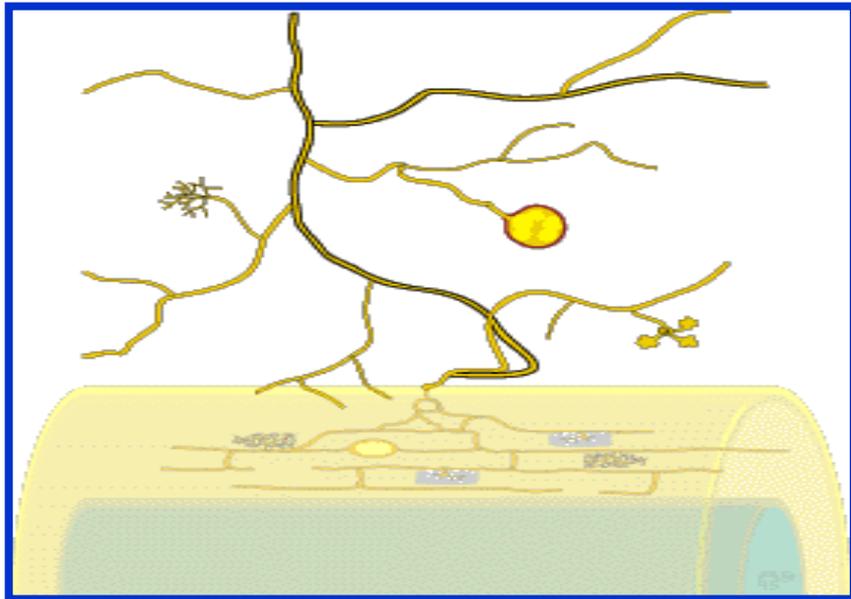
Fig. 36. — *Rhizoctonia repens* (Noël Bernard).



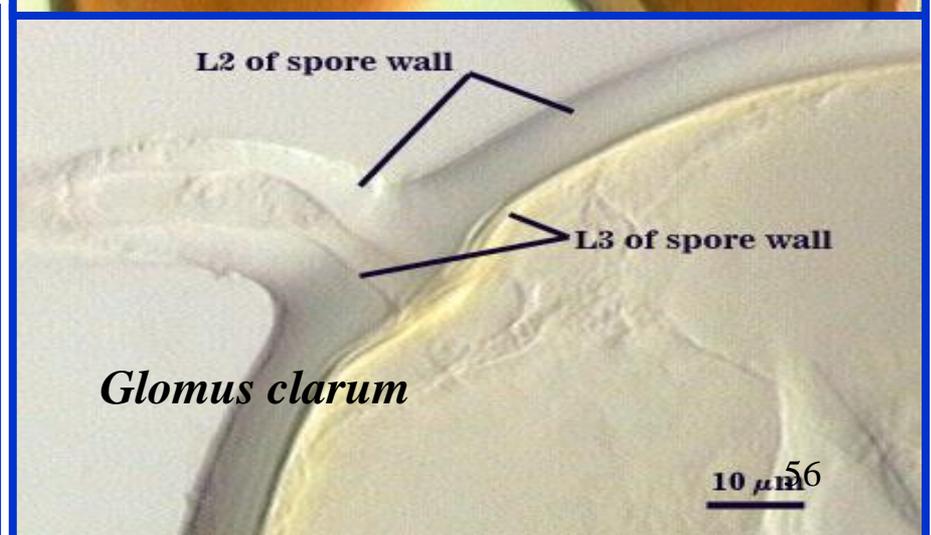
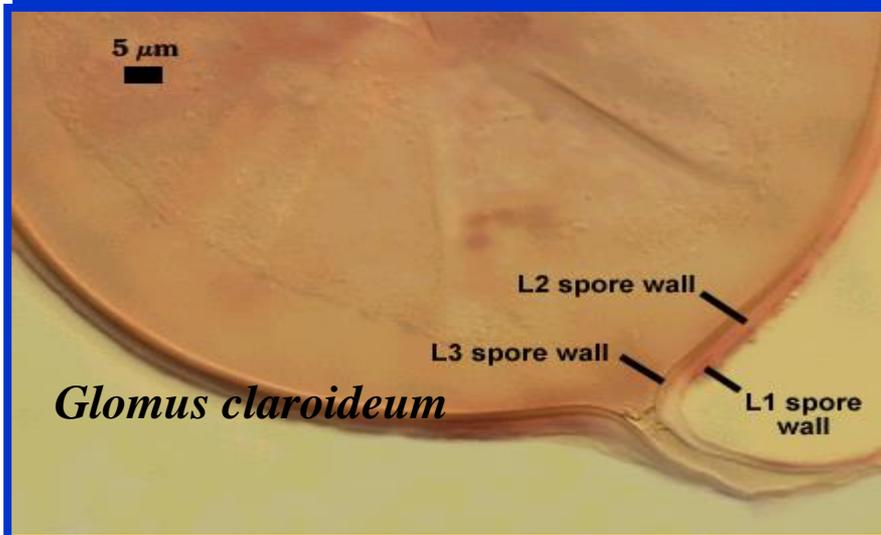
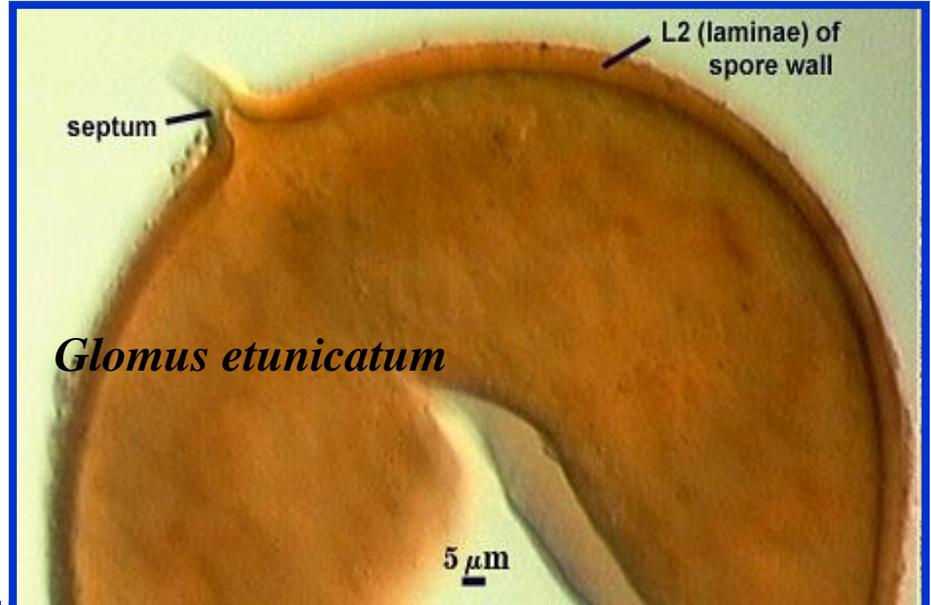
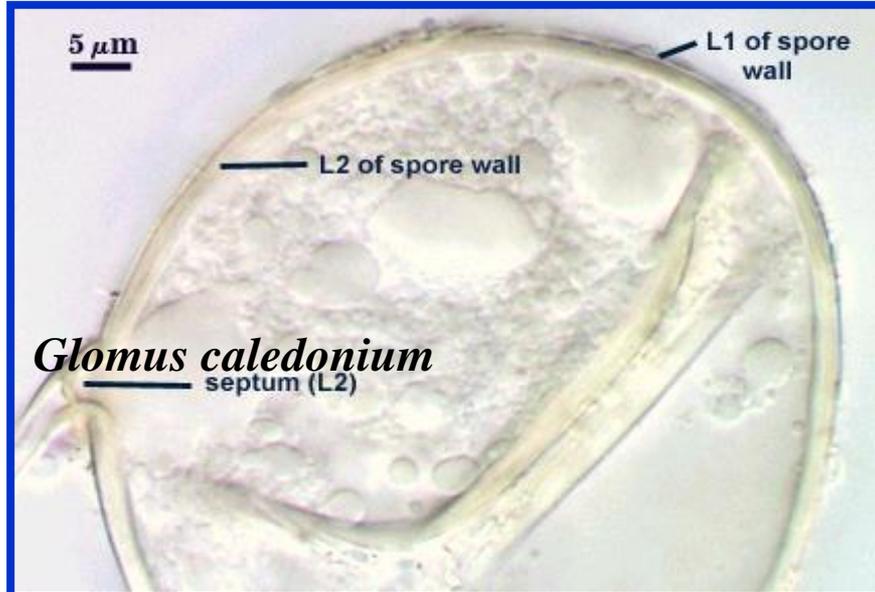
Tipos de Micorrizas



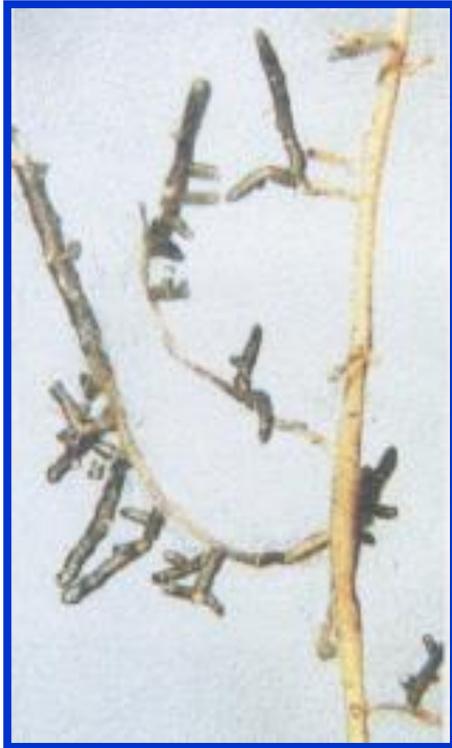
ESTRUTURAS DO FUNGO NAS RAÍZES COLONIZADAS



Fungos Micorrízicos



ECTOMICORRIZAS



Alterações morfológicas em raízes colonizadas por ectomicorrizas

FISIOLOGIA DA ASSOCIAÇÃO

ENDOMICORRIZAS

Fungo – planta

- ✓ Absorção do P orgânico pelo fungo da solução do solo;
- ✓ Conversão do P em grânulos de polifosfato nos vacúolos;
- ✓ Armazenamento nas vesículas;
- ✓ O P inorgânico é transferido para a parte aérea via xilema;

Planta – fungo

- ✓ Transferência de carboidratos oriundos da fotossíntese (sacarose) via floema;
- ✓ Nas raízes são hidrolisados (glicose e frutose);
- ✓ Transferência para o fungo pelos arbúsculos.

ECTOMICORRIZAS

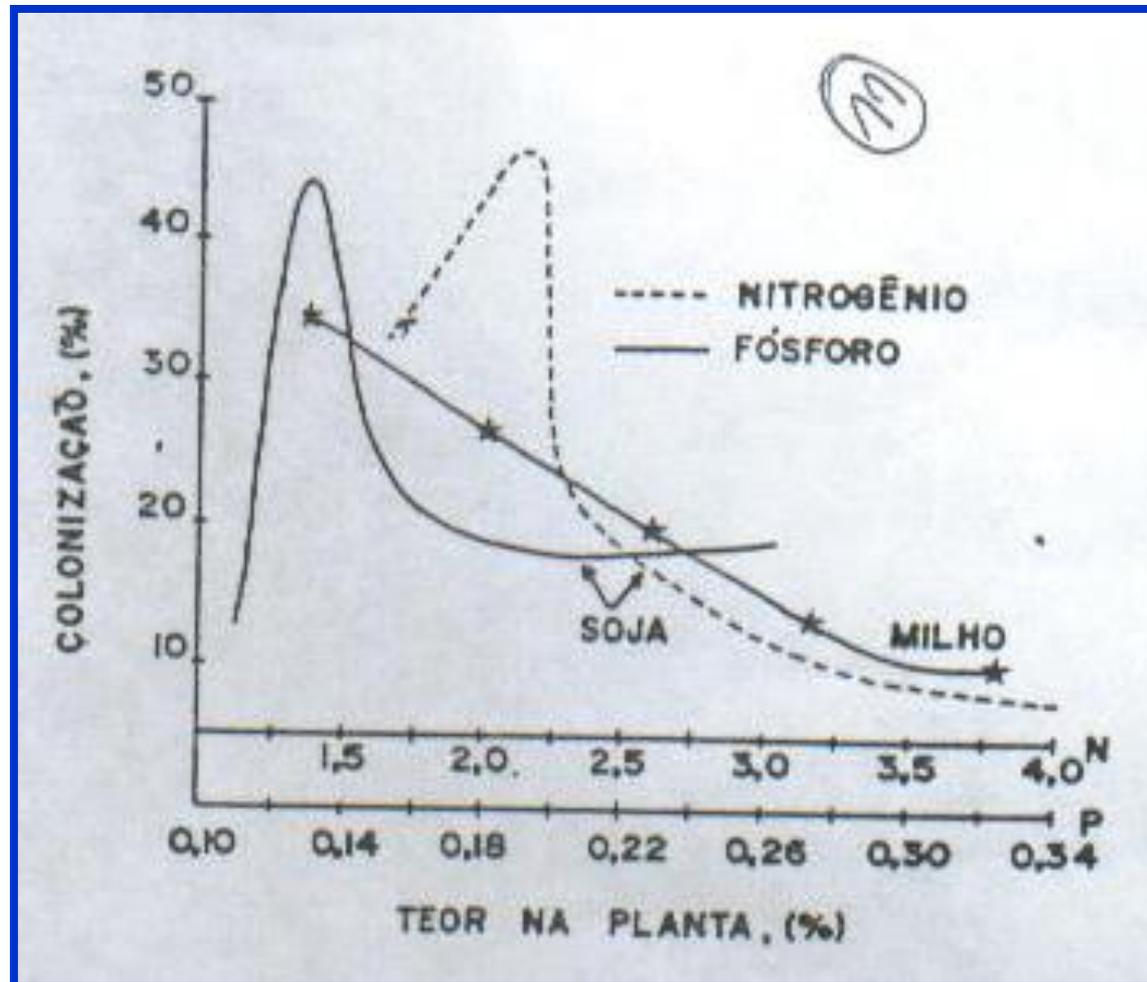
Fungo – planta

- ✓ Absorção do P pelo fungo da solução do solo;
- ✓ Acúmulo dos nutrientes P e N no manto na forma de polifosfatos e aminoácidos;
- ✓ Transferidos para a planta na forma de P inorgânico e glutamina.

Planta – fungo

- ✓ Transferência de carboidratos oriundos da fotossíntese (sacarose);
- ✓ Nas raízes são hidrolisados (glicose e frutose);
- ✓ Transferência para os fungos rede de Hartig.

FATORES QUE INFLUENCIAM OS FMAs



Relação entre os teores de N e P na parte aérea do milho e soja e a taxa de colonização micorrízica.

Tabela. Relação entre a disponibilidade de P no solo e a ocorrência de espécies selecionadas de fungos MVA.

Espécie fungica	Faixa de P disponível no solo, ppm		
	<6	6-12	>12
Índice de ocorrência, % do total			
<i>Acaulospora morrowae</i>	31	45	27
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	20	50	47
<i>Acaulospora mellea</i>	12	0	0
<i>Scutellospora pellucida</i>	13	10	9
<i>Glomus etunicatum</i>	8	15	18
<i>Entrophospora colombiana</i>	18	10	4

▪ PH DO SOLO;

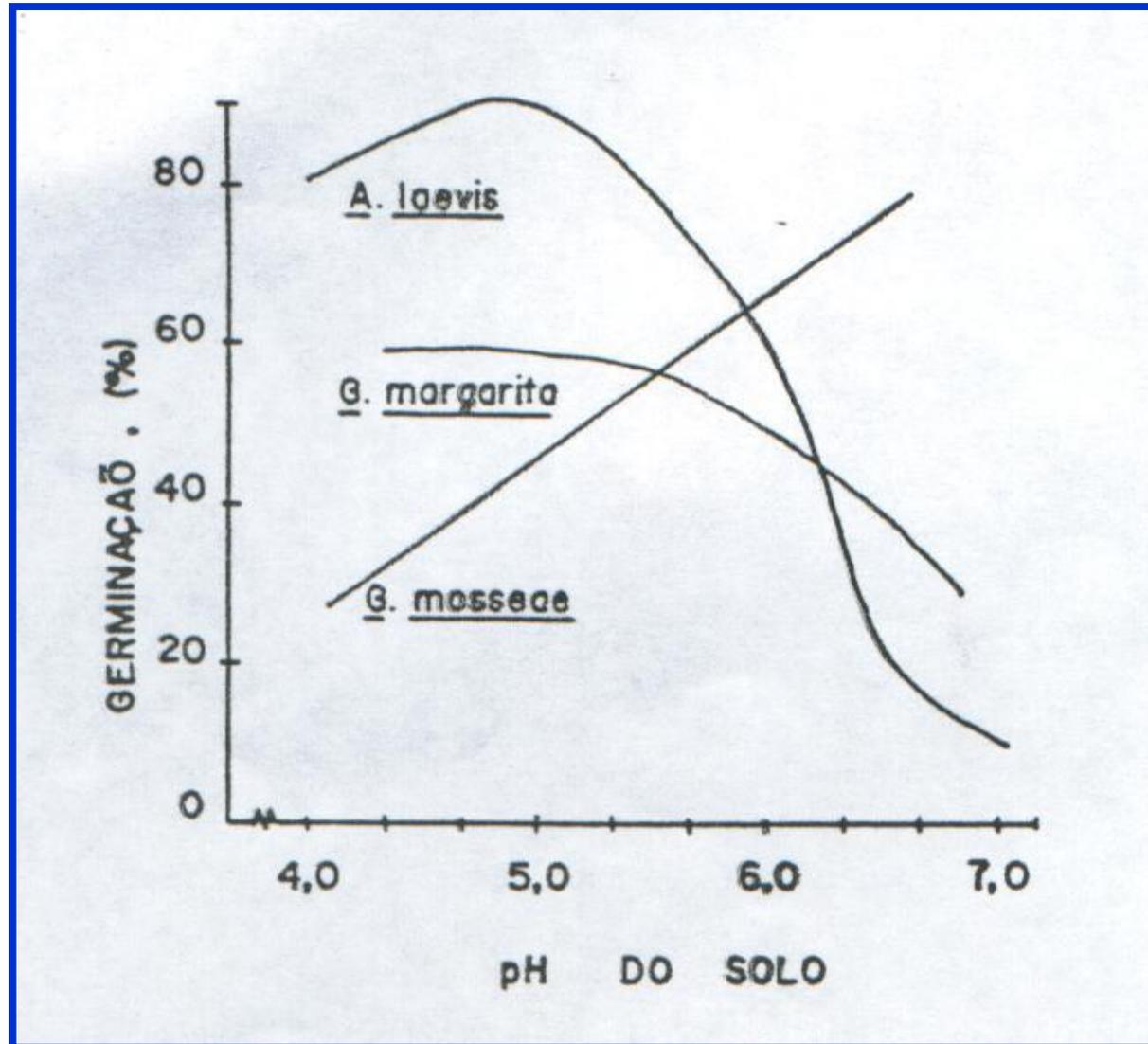


Figura. Efeito do pH do solo na germinação de esporos de fungos micorrízicos.

Tabela. Espécies de fungos MVA, predominantes na rizosfera do cafeeiro com diferentes pH.

Espécie	Ocorrência/ Densidade	Faixa de pH do solo			
		<4,5	4,6-5,5	5,6-6,5	>6,5
<i>Acaulospora morrowae</i>	Ocorrência/	100	91	68	50
	Densidade	4,2	4,6	4,6	1,5
<i>Acaulospora mellea</i>	Ocorrência/	100	80	66	25
	Densidade	9,7	7,3	4,4	1,0
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	Ocorrência/	75	76	75	100
	Densidade	3,0	3,9	5,3	3,8
<i>Glomus etunicatum</i>	Ocorrência/	0	33	34	25
	Densidade	0	2,8	2,4	1,0

■ CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO;

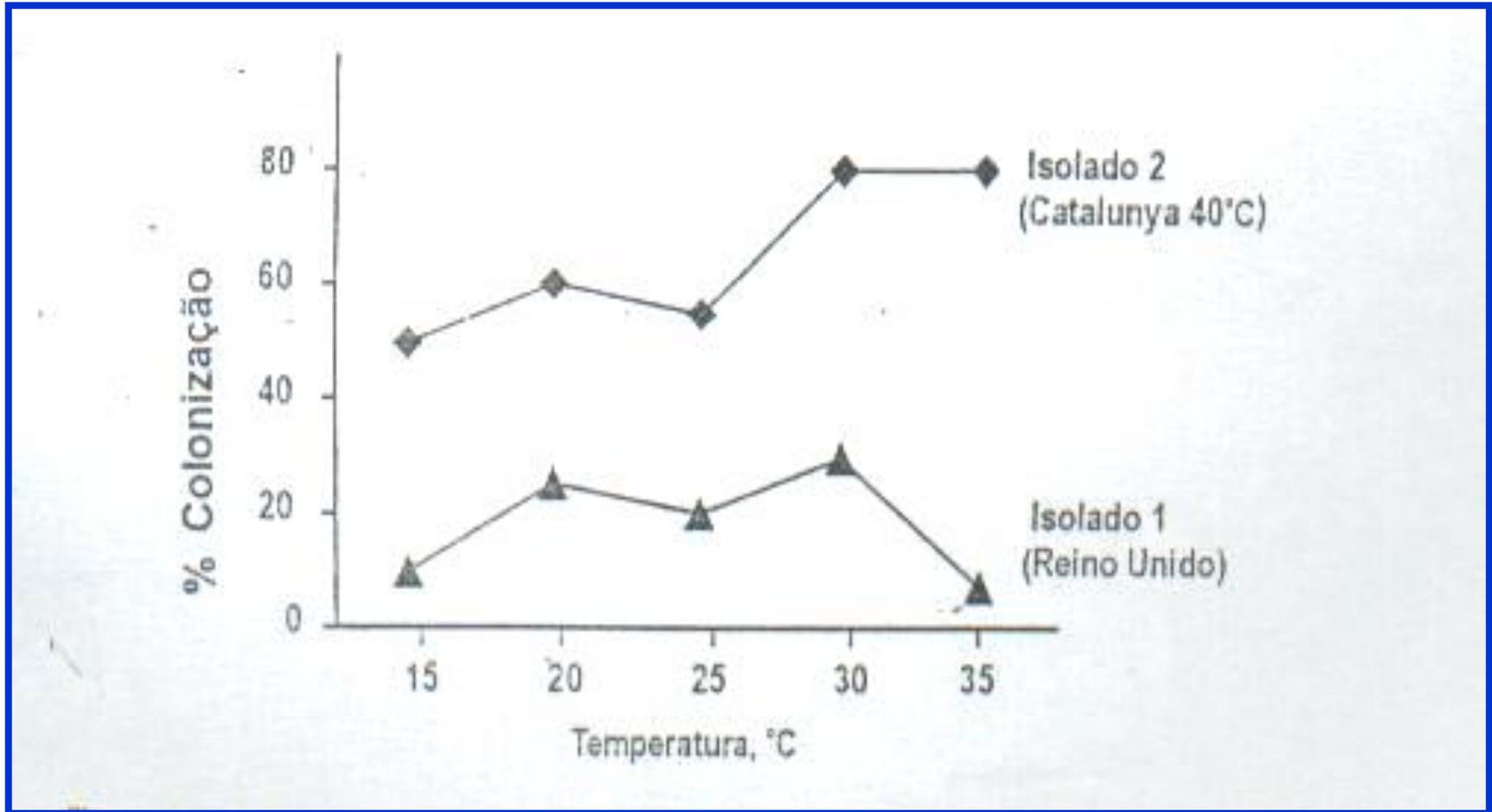


Figura. Efeito da temperatura na colonização de *Hordeum vulgare* por dois isolados de *Glomus mossae* de diferentes origens

Tabela. Efeitos mais comuns de práticas agronômicas que modificam o ambiente da camada arável e influenciam os FMAs

**PRATICAS
AGRÍCOLAS**

**CONSEQÜÊNCIAS DA
INTERFERÊNCIA**

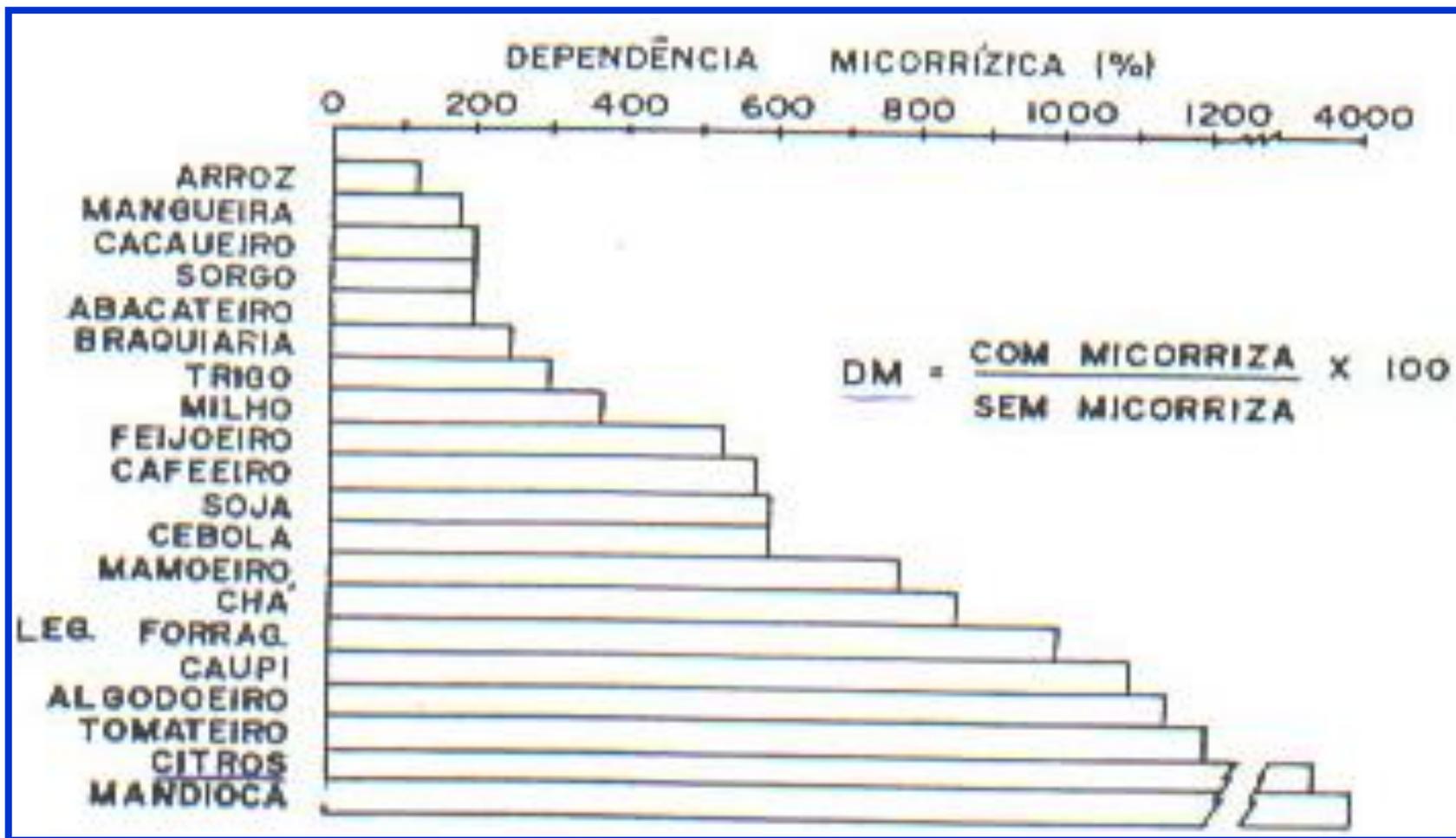
Monocultura	Seleção para sobrevivência
Rotação	Relação fungo-hospedeiro
Pousio	Reduz a colonização, esporulação
Policultura	Diversidade genética aumentada
Cultivo intensivo	Reduz a infectividade, esporulação
Fertilizantes	Depende da fertilidade do solo, cultura
Calagem	Altera a população dos fungos
Pesticidas	Reduz a colonização, elimina propágulos

EFICIÊNCIA MICORRIZICA – Capacidade do fungo em promover crescimento ou outro benefício para a planta.

Tabela. Influência da relação fungo planta nos efeitos sobre o crescimento de culturas selecionadas.

FUNGO PLANTA	ALGODÃO	ABACATE	MAMÃO	MANGA	CAFÉ	CITROS
<i>A. morrowae</i>	3,9	-	-	-	-	10,5
<i>A. scrobiculata</i>	2,0	1,0	1,0	1,4	1,5	2,4
<i>G. clarum</i>	5,3	1,2	1,7	1,8	4,1	9,7
<i>G. macrocarpum</i>	5,8	1,1	2,7	1,7	1,7	-
<i>G. intraradices</i>	-	1,2	1,1	1,2	-	-
<i>G. margarita</i>	1,0	1,1	1,5	1,8	5,2	4,9
<i>S. heterogama</i>	-	1,2	1,7	1,3	-	66 0,9

DEPENDÊNCIA MICORRIZICA - É o grau pelo qual a planta depende do fungo para o crescimento ou produção máxima, a um dado nível de fertilidade



Dependência micorrízica de várias espécies vegetais de interesse agrônomo.

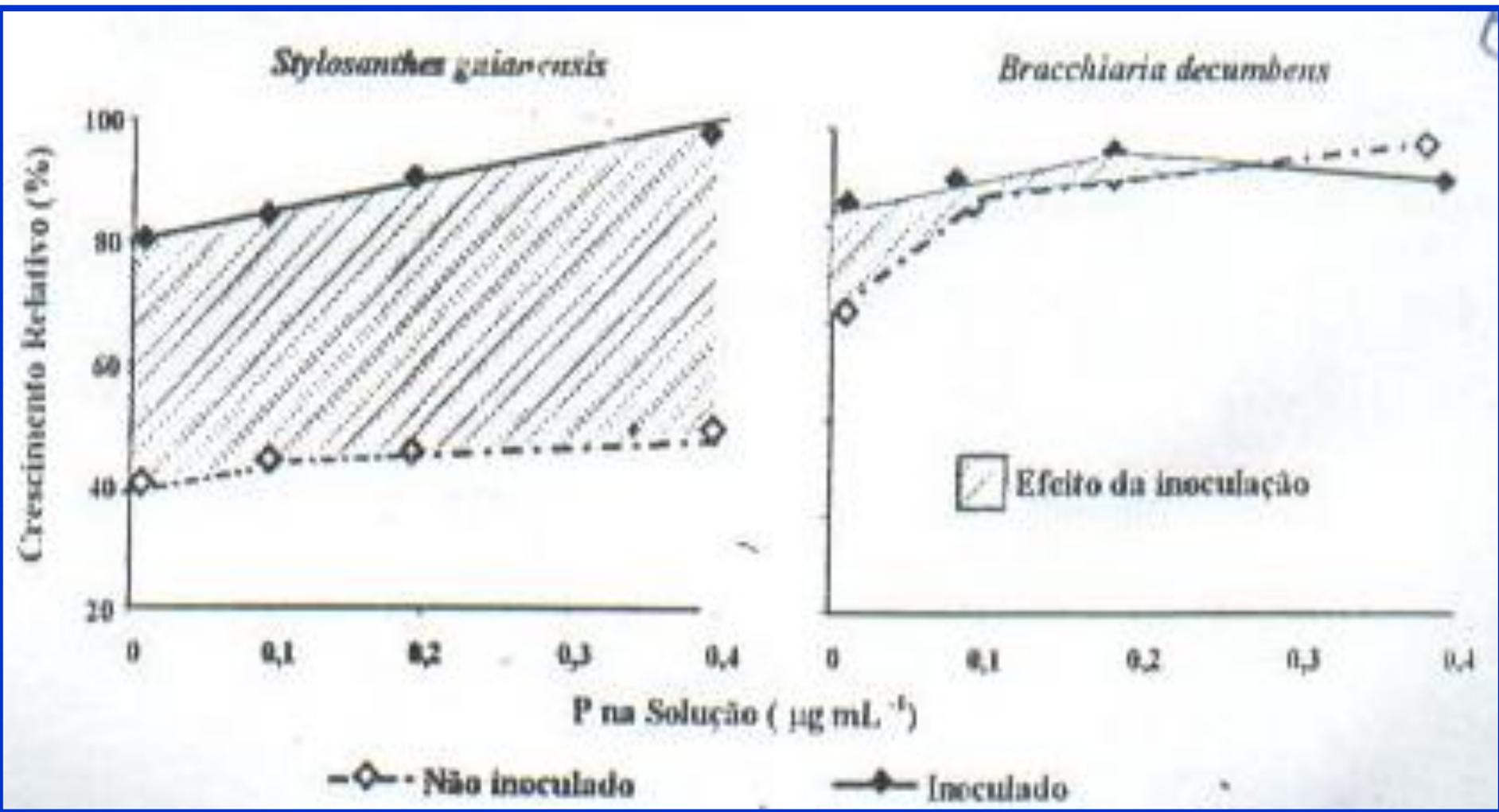


Figura. Crescimento de *Stylosanthes* e *Brachiaria* com e sem micorriza (*Glomus etunicatum*) em função da disponibilidade de P na solução do solo.

FATORES QUE INFLUENCIAM OS FMA_s

FATORES CLIMÁTICOS

- ✓ Intensidade luminosa;
- ✓ Temperatura;
- ✓ Quantidade e distribuição das chuvas

FMAAs – Efeito nas Plantas

- Melhoria do estado nutricional, por aumentar a área de absorção das raízes, devido às mudanças morfológicas e fisiológicas nas plantas;
- Aumento na mobilização e transferência de nutrientes (P, N, Cu, Zn);
- Maior capacidade de sobrevivência e crescimento inicial de mudas transplantadas;

FMAAs – Efeito nas Plantas

- Maior produtividade em solos pobres e locais adversos;
- Maior tolerância das plantas aos estresses abióticos;
- Redução das perdas por fatores bióticos.

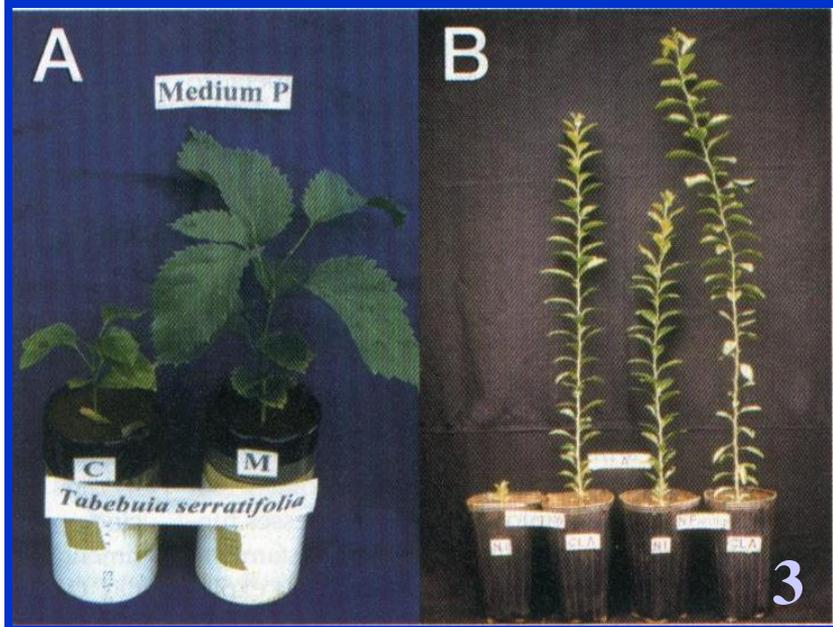
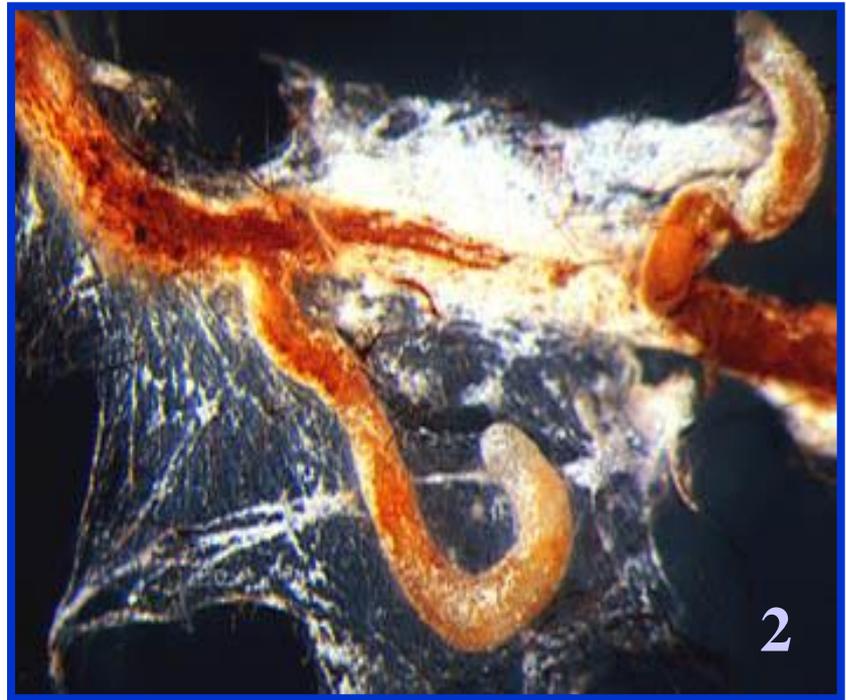
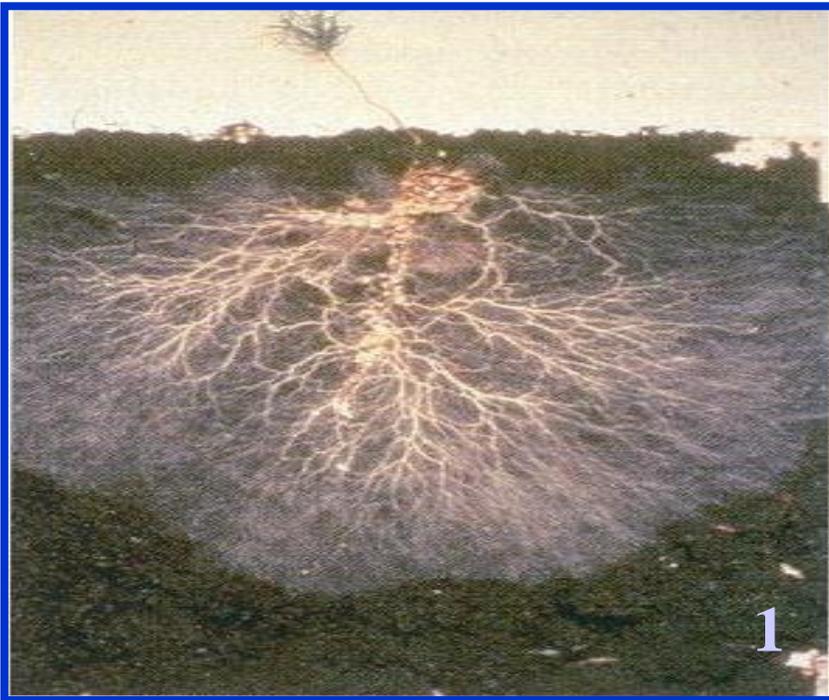


Figura. Extensão de raízes pelas hifas do fungo (1); Hifas em raízes (2); Resposta do ipê: c- sem inoculação e m - inoculada (a) e do citros (b) à inoculação com FMAs (3)

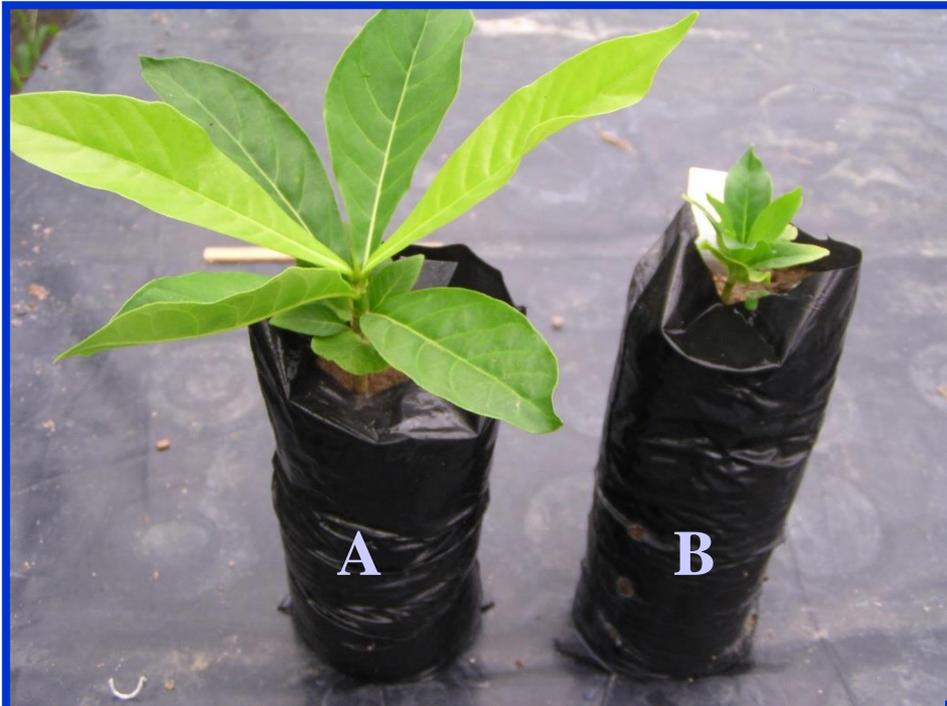
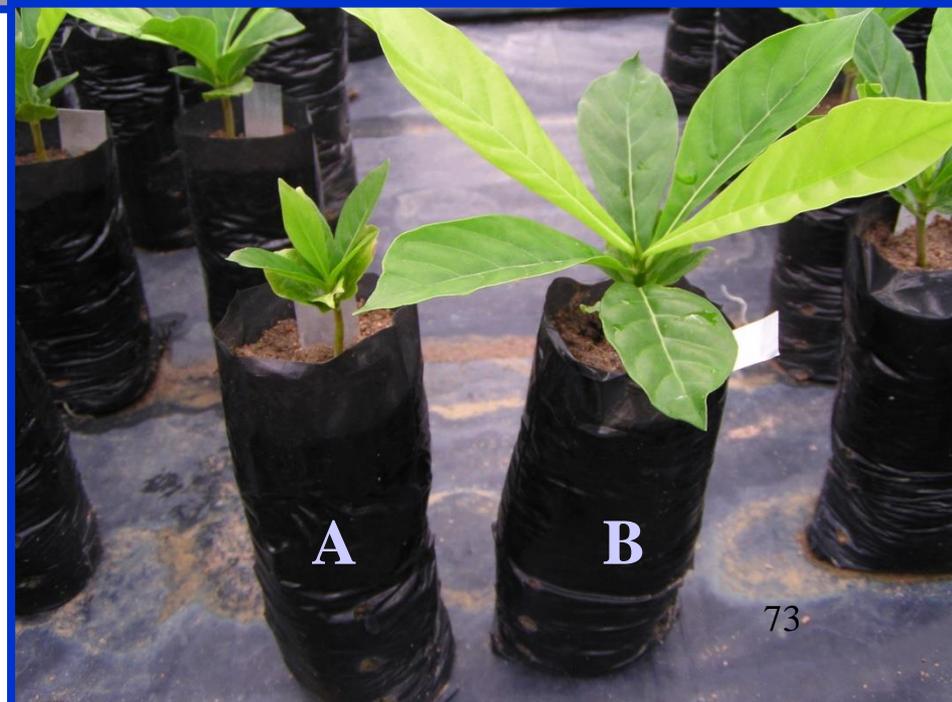


Figura. Mudanças de genipapo: A: inoculada e B não inoculada

Figura. Mudanças de genipapo: A: inoculada com *Scutellospora heterogama* e B inoculada com *Glomus etunicatum*.



Efeitos não nutricionais

- Formação de barreira física, resultante do desenvolvimento do manto que envolve e protege as raízes;
- Aumento da resistência das plantas ao “deficit” hídrico;
- Plantas com grande quantidade de segmento radiculares colonizados, apresentam redução significativa no ataque a patógenos;
- Absorção de fitotoxinas, que podem ter efeito contra ação de patógenos;

Efeitos não nutricionais

- Competição por substratos ou compostos estimulantes na micorrizosfera, responsáveis pelo quimiotaxismo de patógenos;
- Acúmulo de substâncias antimicrobianas nas células corticais como tanino;
- Modificação no espectro e quantidade de exsudatos que estimulam e dão sustentação à comunidade microbiana, com ação antagônica.

BIOFERTILIZANTES

- Maior absorção e utilização de nutrientes do solo.
 - Amenização de estresses nutricionais e nutrição balanceada.
 - Acessos a nutrientes pouco disponíveis.
-

BIOCONTROLADORA

- Ação de biocontrole sobre certos patógenos e pragas.
 - Redução de danos causados por pragas e doenças.
 - Amenização de estresses causados por fatores diversos como metais pesados e poluentes orgânicos .
 - Efeitos benéficos na agregação do solo, melhora a conservação da água e do solo.
-

BIORREGULADORA

- Atua na produção/acúmulo de substâncias reguladoras do crescimento (desenvolvimento e fixação).
 - Interface favoravelmente na relação água-plantas (aumenta a tolerância a déficit hídrico).
 - Alterações bioquímicas e fisiológicas (acúmulo de certos metabólitos secundários) Atua na produção/acúmulo de substâncias reguladoras do crescimento (desenvolvimento e fixação).
 - Interface favoravelmente na relação água-plantas (aumenta a tolerância a déficit hídrico).
 - Alterações bioquímicas e fisiológicas (acúmulo de certos metabólitos secundários)
-

Ação - Biofertilizantes

- Maior absorção e utilização de nutrientes do solo.
- Amenização de estresses nutricionais e nutrição balanceada.
- Acessos a nutrientes pouco disponíveis.

Ação - Biocontrole

- Ação de biocontrole sobre certos patógenos e pragas.
- Redução de danos causados por pragas e doenças.
- Amenização de estresses causados por fatores diversos como metais pesados e poluentes orgânicos
- Efeitos benéficos na agregação do solo, melhora a conservação da água e do solo.

FMA_s NO BIOCONTROLE DE DOENÇAS

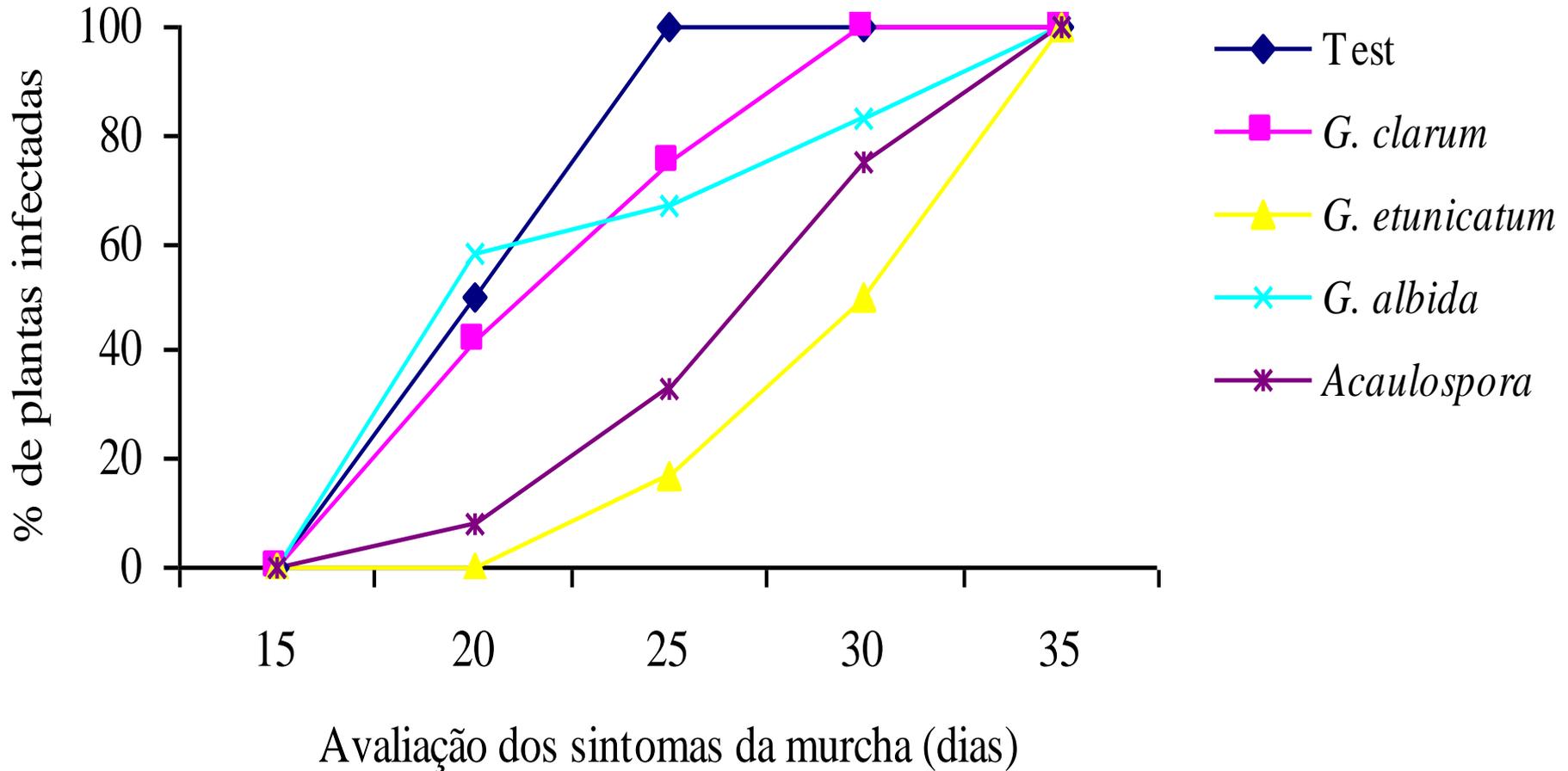


Figura. Mudas de tomateiro inoculadas com fungos micorrízicos e transplantadas para infectário contendo *Ralstonia solanacearum*.

UTILIZAÇÕES DAS MICORRIZAS



Figura. Recuperação de aterro sanitário (A); Revegetação de áreas degradadas com mudas de espécies nativas micorrizadas (B); Revegetação de dunas (C); Recuperação de begônias anteriormente atacadas por fungo de raiz (D) Recuperação de oliveiras com redução da incidência de doenças em geral e tolerância à

Considerações Finais