



Departamento de Ciência do Solo

Laboratório de Microbiologia do Solo

Fungos Micorrízicos

Prof. Rafael Vasconcellos

Email: rlfvasc@usp.br

Plano de Aula

1. Origem da Simbiose e Evolução
2. Classificação, Biodiversidade e Ecologia
 - a) Fungos Micorrízicos Arbusculares
 - b) Ectomicorrizas
 - c) Orquidóides
 - d) Ericóides
3. Estruturas da Interação – FMA, Ecto e Orquidóides
4. Estabelecimento da Simbiose
5. Fatores Ambientais que afetam os FM
6. FM como ferramentas de Manejo Ambiental e Agrícola

Competências e Habilidades

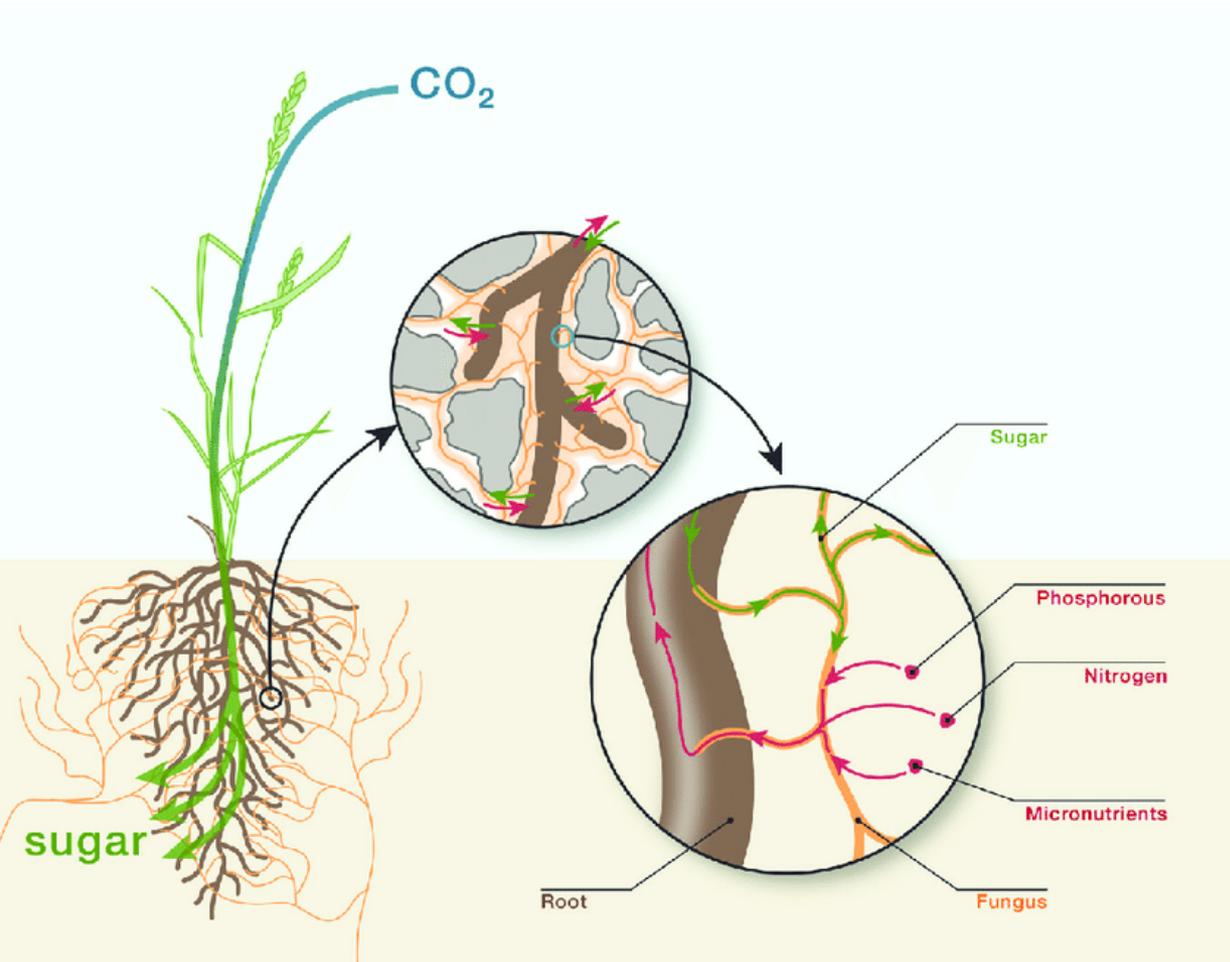
- Definir micorriza
- Conhecer os diferentes grupos de micorrizas e suas estruturas
- Conhecer o papel ecológico, ambiental e agrícola das micorrizas
- Reconhecer o impacto antrópico sobre as micorrizas
- Reconhecer a importância das micorrizas como ferramenta ambiental e agrícola



Definição de Micorriza

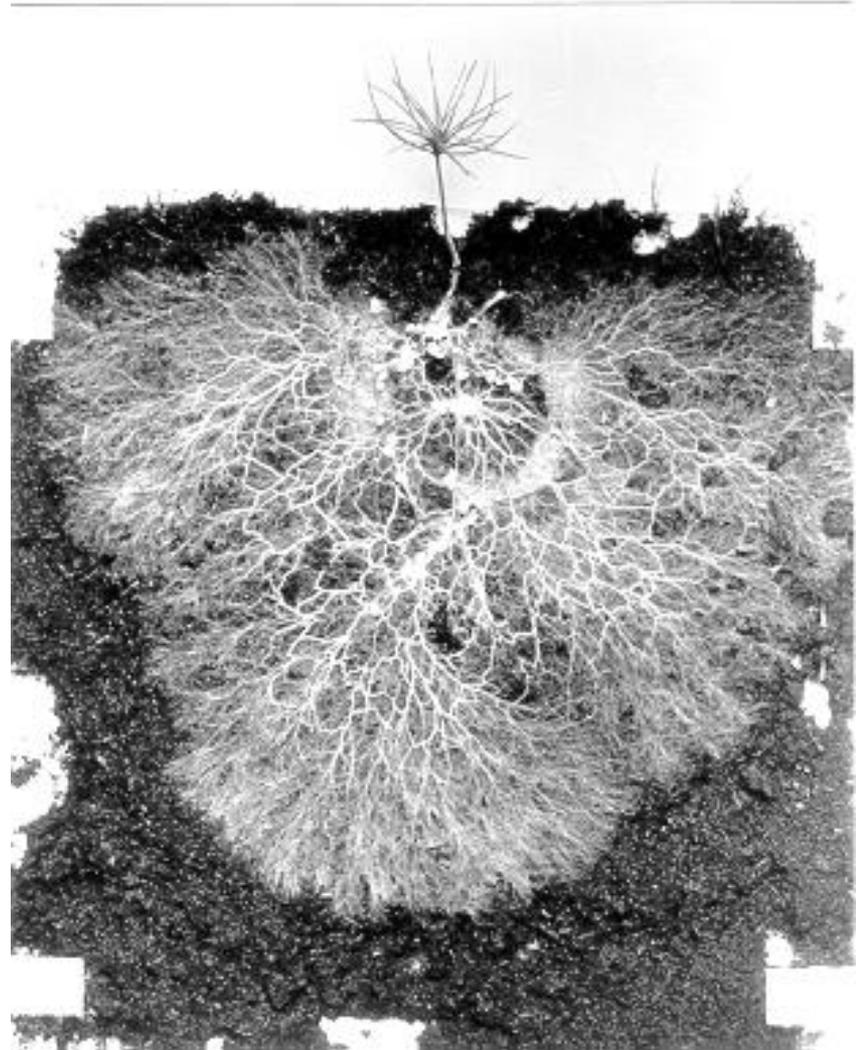
Definição:

“Associações simbióticas mutualísticas entre raízes de plantas e fungos do solo”

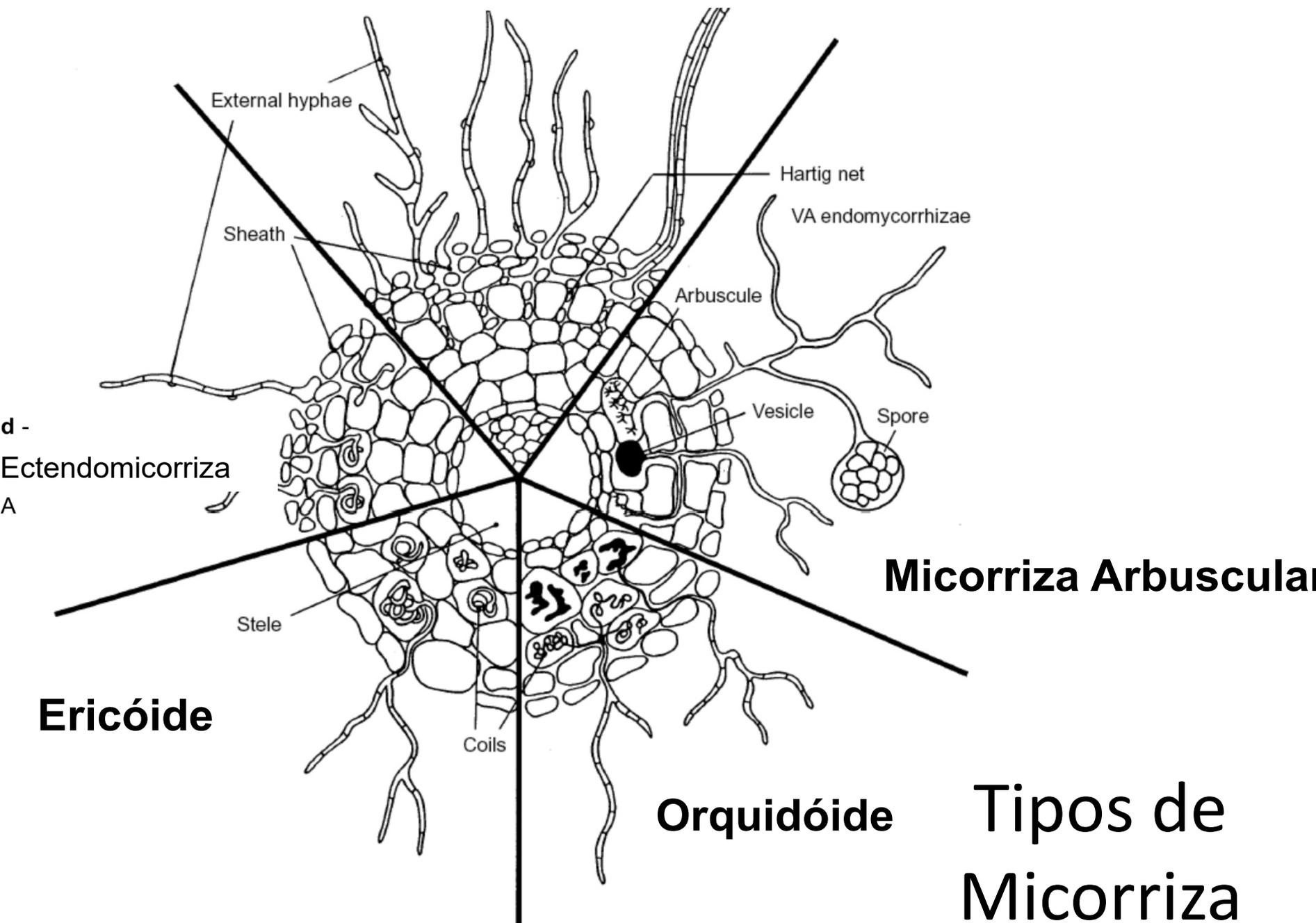


Efeitos da Interação Simbiótica

- Efeitos Nutricionais na planta
- Efeitos Não-Nutricionais na planta
- Efeitos Ecológicos

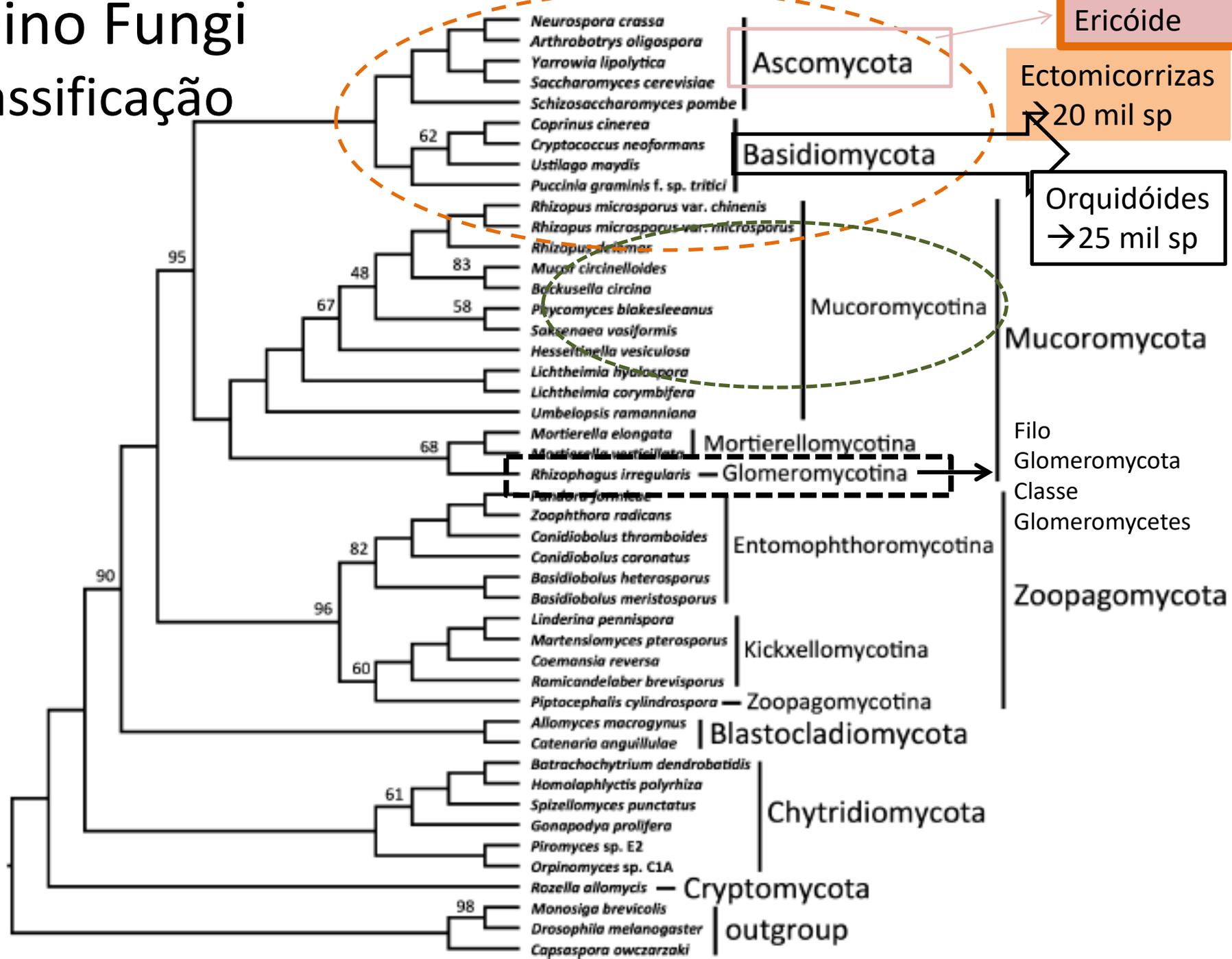


Ectomicorriza

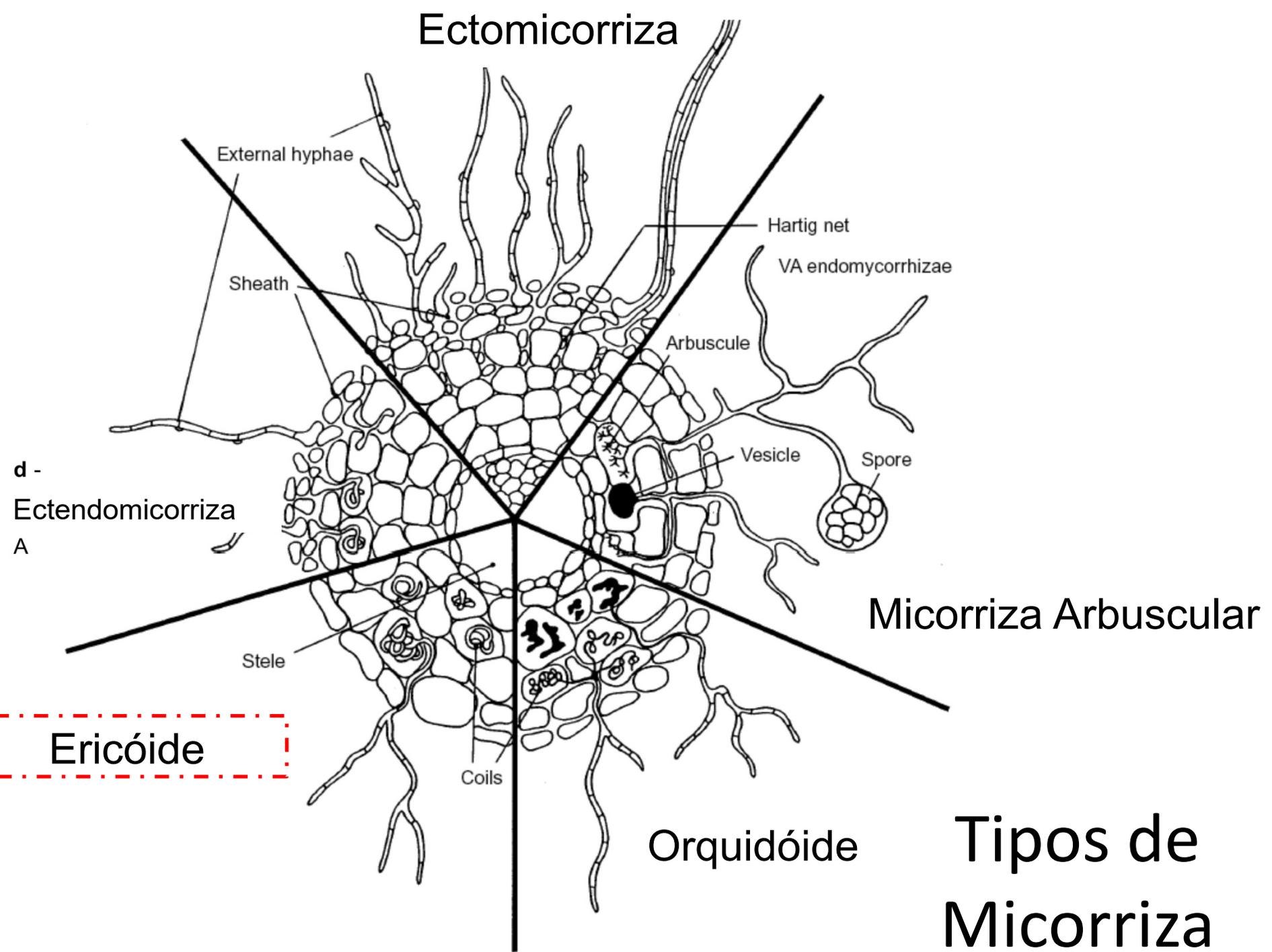


Reino Fungi

Classificação



Ectomicorriza



Tipos de Micorriza

Ericóides



Rhododendron



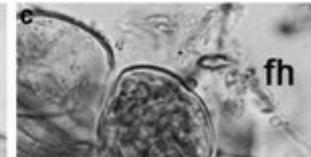
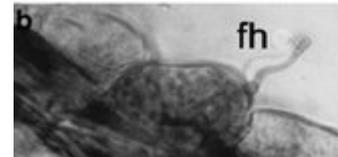
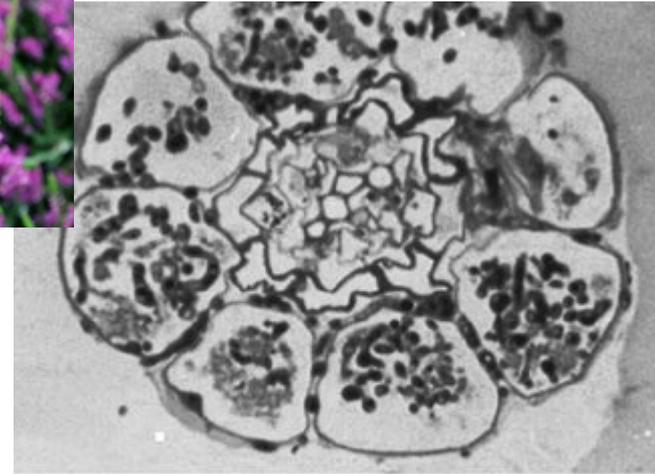
Epacridaceae

- 3900 mil → Número de espécies de plantas hospedeiras (Ordem Ericales)
- Espécies de fungos estimadas: 150 sp

Charneca (Heathland)– habitat vegetação xerófila

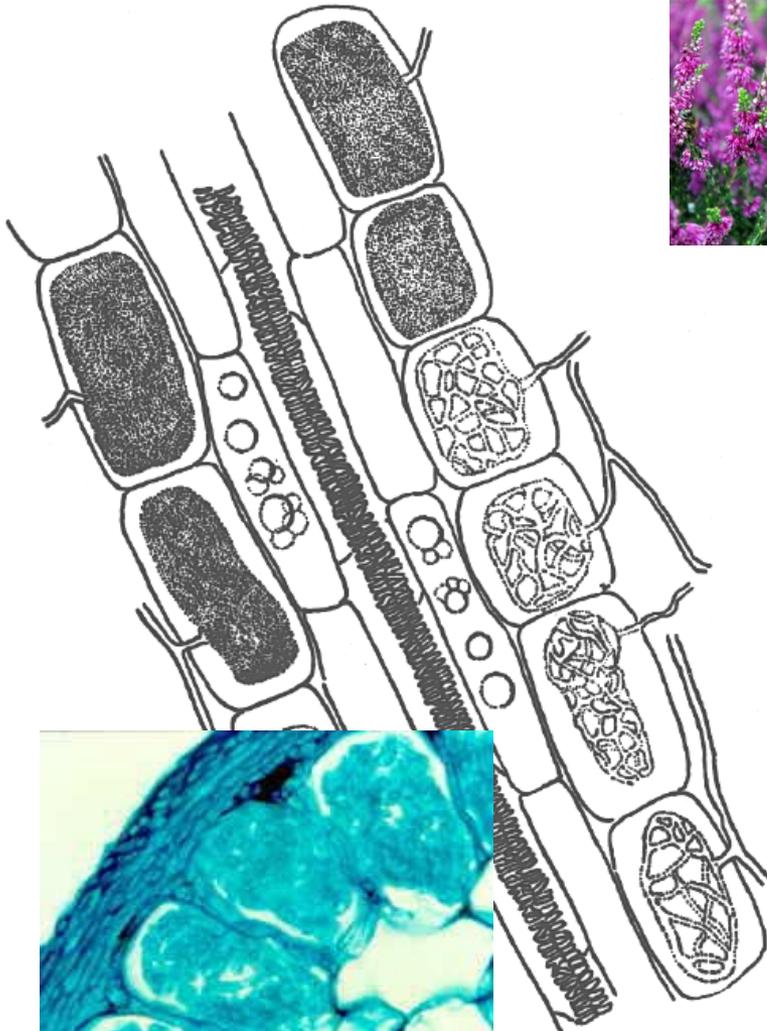


Estruturas da Interação



Colonization of *Calluna vulgaris* hair roots by ericoid mycorrhizal fungi. (A) Transverse

- Suprimento de N - proteases



Coiled hyphae inside epidermal cells. From Kendrick (1999) [The Fifth Kingdom](#). © Mycologue Publications with permission.

Micorrizas Orquidóides



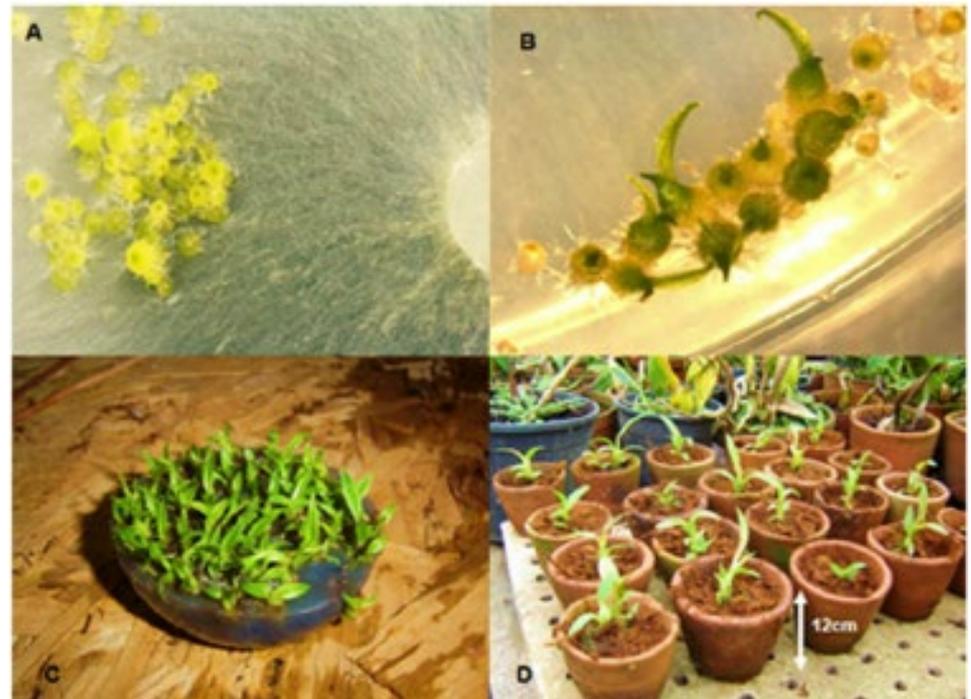
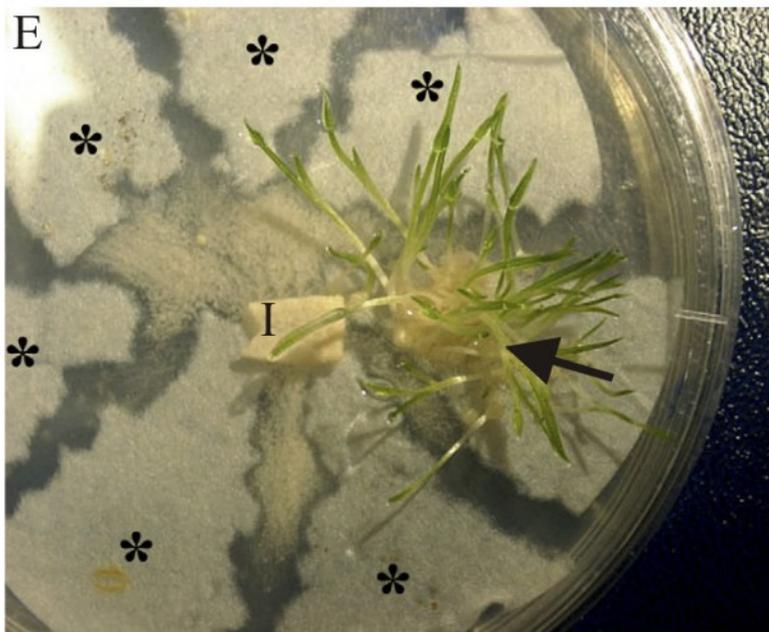
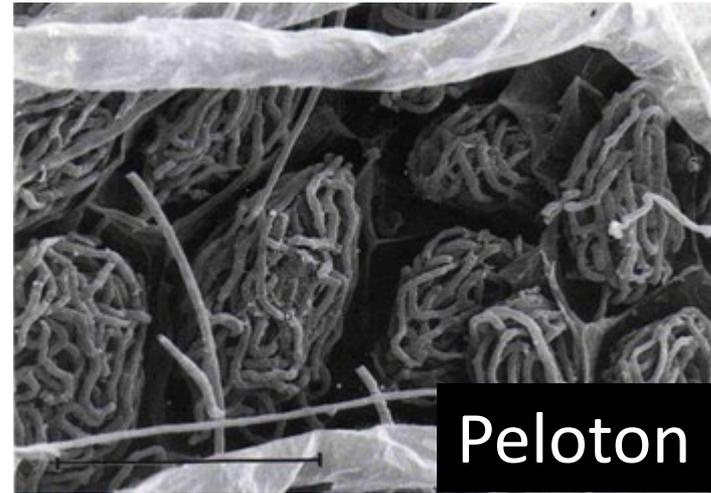
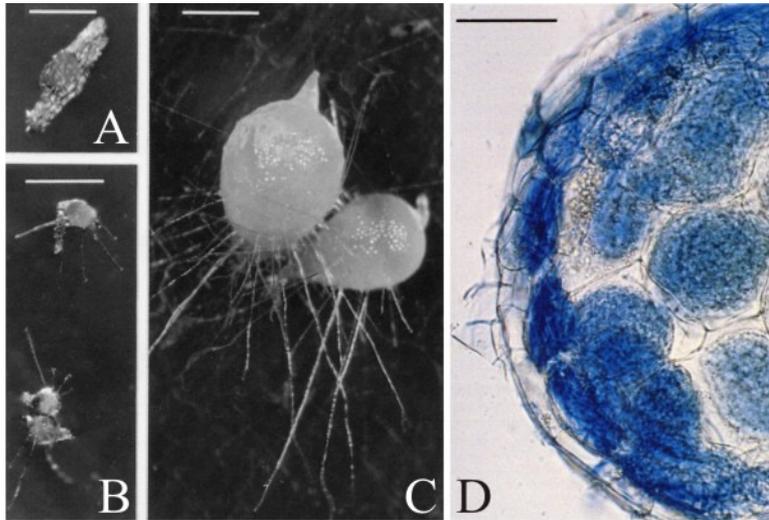
- 9 % das espécies formam micorriza
- Principal “gênero” de fungo: *Rhizoctonia*



Espécies de Orquídeas aclorofiladas – 200 sp.
→ **Mico-heterotróficas obrigatórias**

Ex: *Galeola*, *Gastrodia*, *Corallorhiza*,
and *Rhizanthella*.

Estruturas da Interação



Ectomicorrizas



Figure 1 – Ectomycorrhizal association with fungi of epigeous and hypogeous habit. A; B) hypogeous basidioma, *Hysterangium* sp.; C) epigeous basidioma, *Scleroderma albidum*, *Ramaria* sp.; Photograph: Gilberto Coelho, 2013.

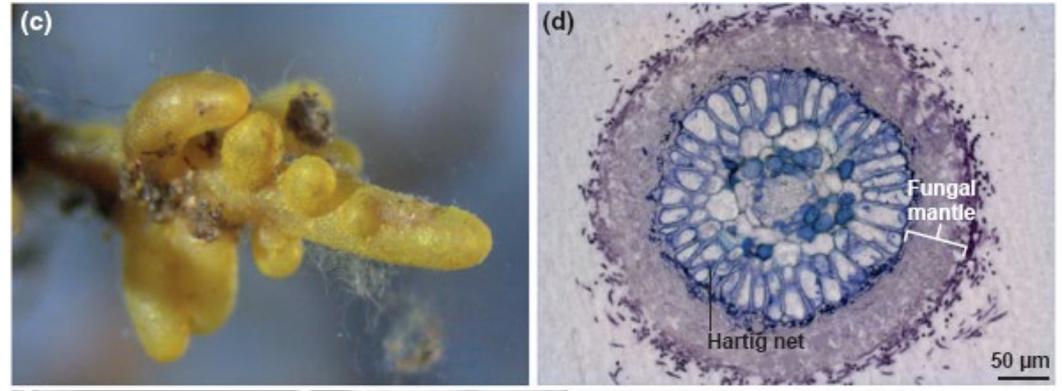
- 6 mil → Número de espécies de plantas hospedeiras
- 300 espécies caracterizadas
- **20 mil espécies estimadas de fungos**

Pinaceae

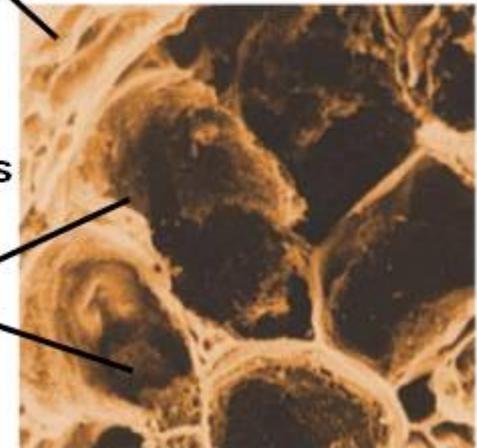
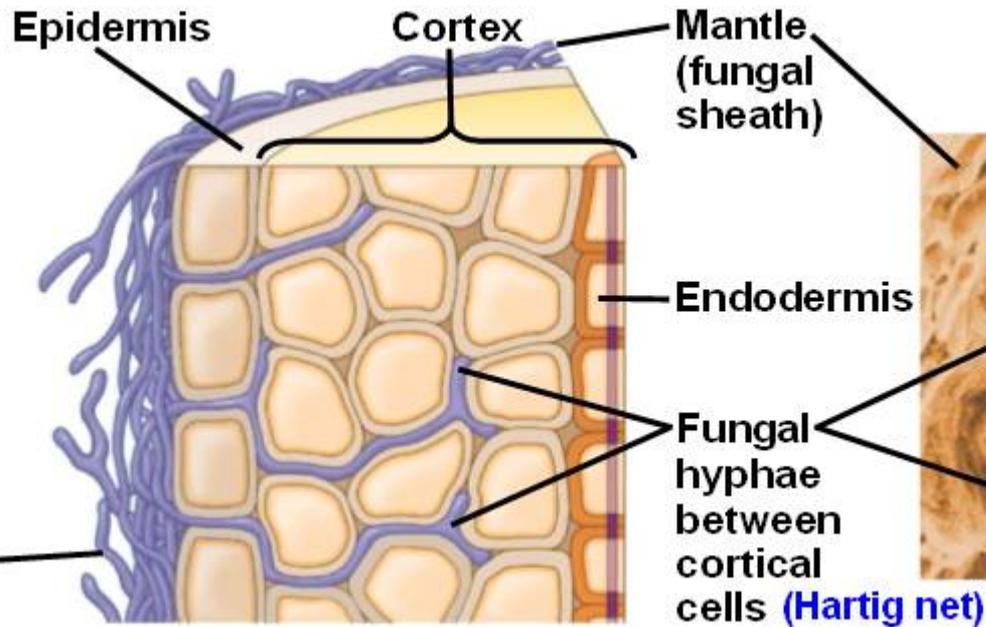
Angiospermas – maioria clima temperado ?

Estruturas da Interação das Ectomicorrizas

- Rede de Hartig
- Manto Fúngico



Mantle (fungal sheath)



(colorized SEM)

Estruturas da Interação das Ectomicorrizas

Modificações
morfológicas das
raízes



Figura 1. Morfotipos de ectomicorrizas de *Pinus montezumae* con hongos del banco de esporas de la Faja Volcánica Transmexicana 1. A, ectomicorriza con *C. finlandica*. B, ectomicorriza con *Geopora* sp. C, ectomicorriza con *H. albocolosum*. D, punta micorrizada con *H. albocolosum*. E, ectomicorriza con *H. helodes*. F, ectomicorriza con *H. leucosarx*. G, ectomicorriza con *H. mesophaeum*. H, punta micorrizada con *H. mesophaeum*. I, ectomicorriza con *Peziza* sp. 1. J, ectomicorriza con *Peziza* aff. *ostracoderma*. K, ectomicorriza con *Pezizaceae* sp. 1. L, punta micorrizada con *Pezizaceae* sp. 2. M, ectomicorriza con *Pezizaceae* sp. 2.

Formação da Simbiose Ectomicorrízica

quimiotropismo

Contato

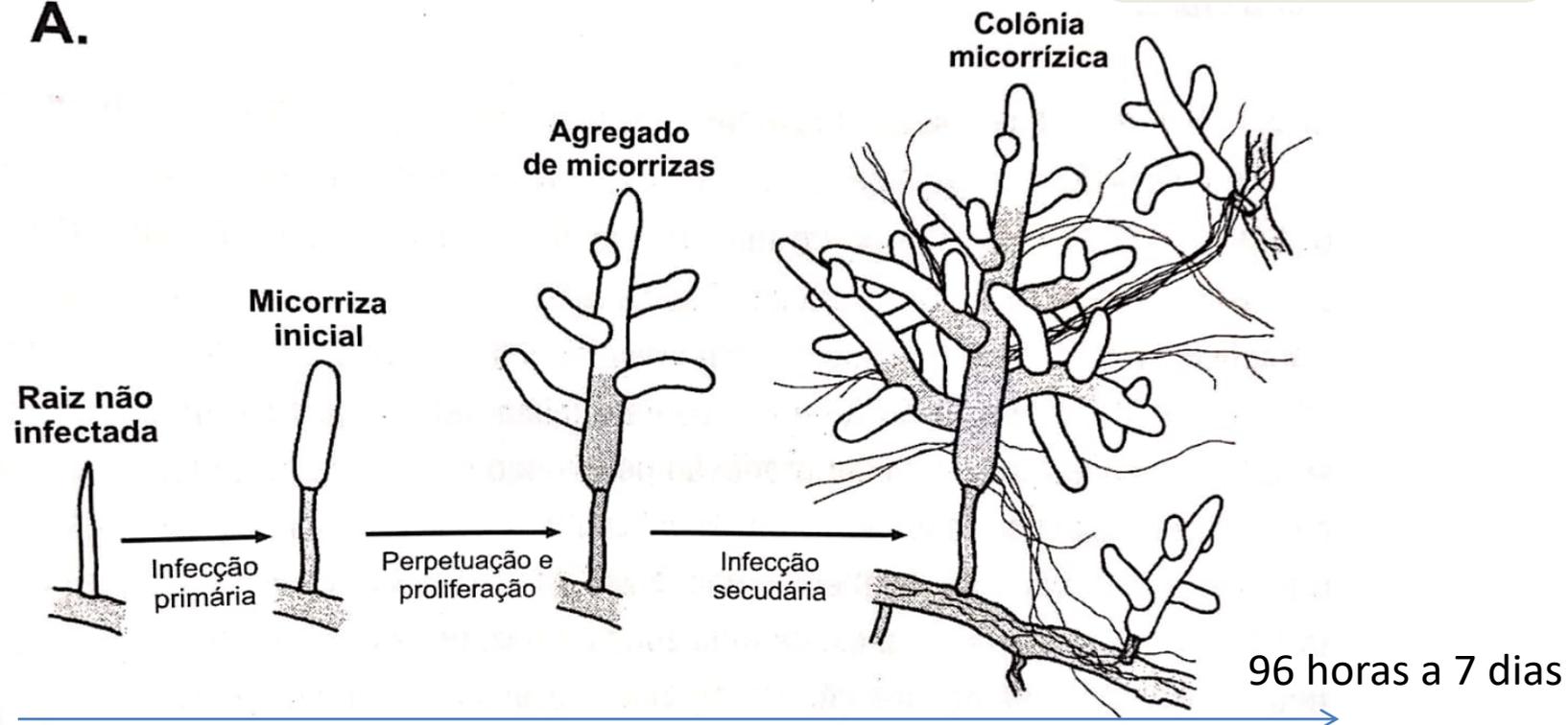
Interações -
Lectínicas

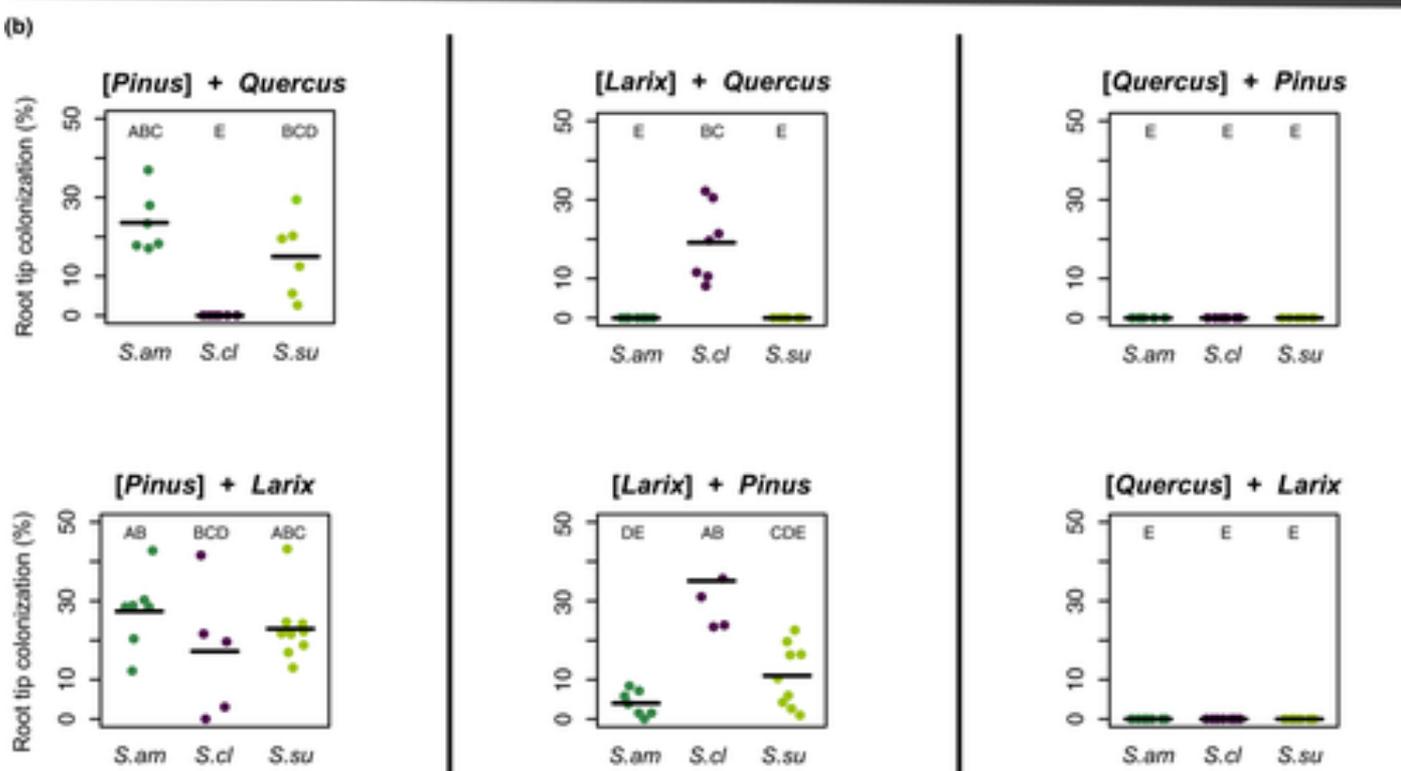
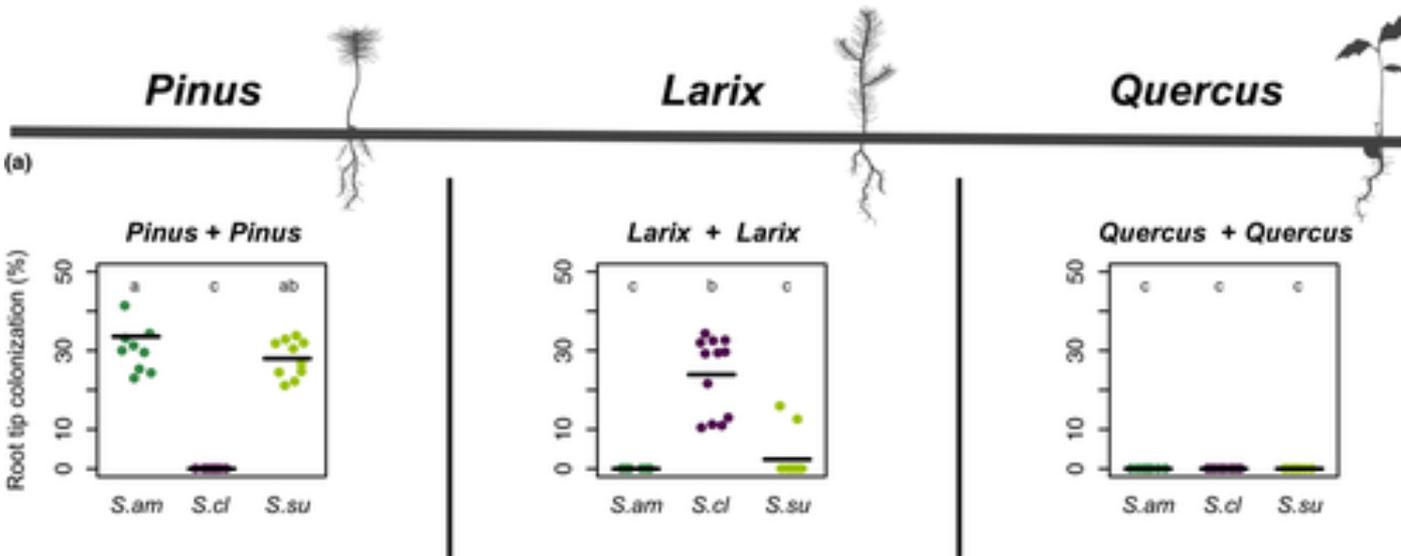
Proliferação de
hifas

ECTOMICORRIZINAS

Formação de raízes
curtas

A.

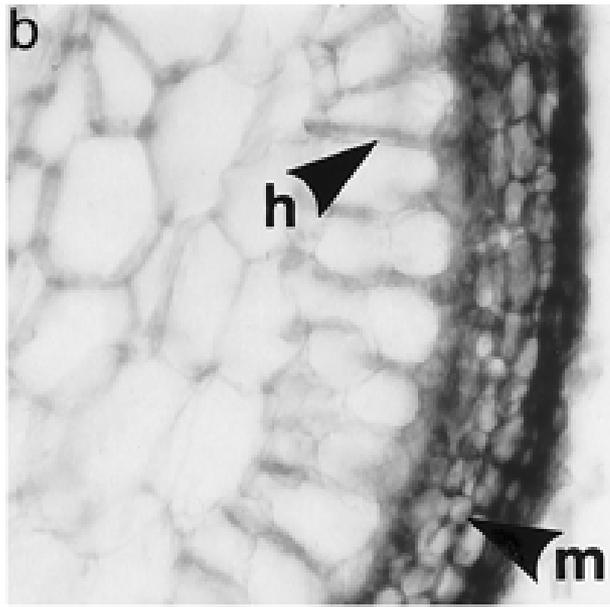
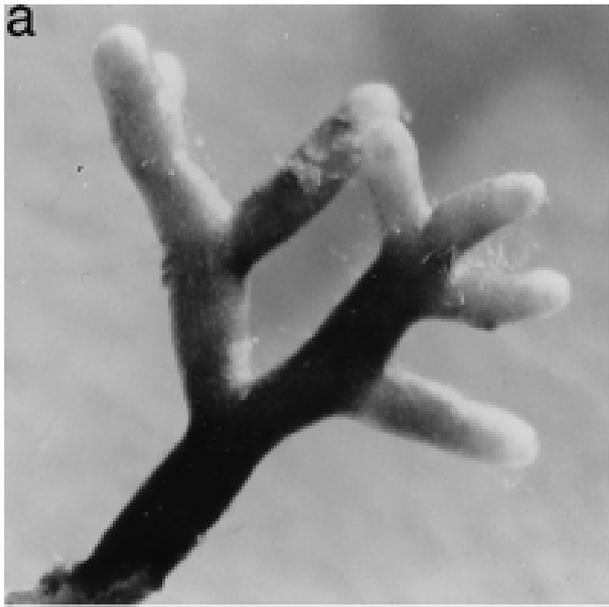




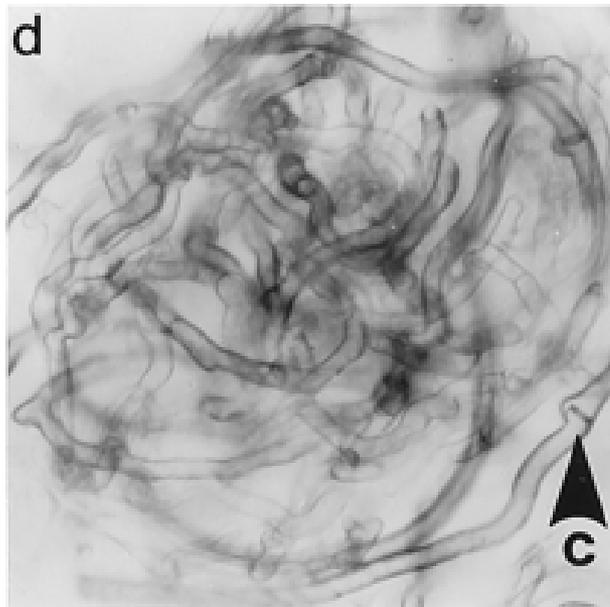
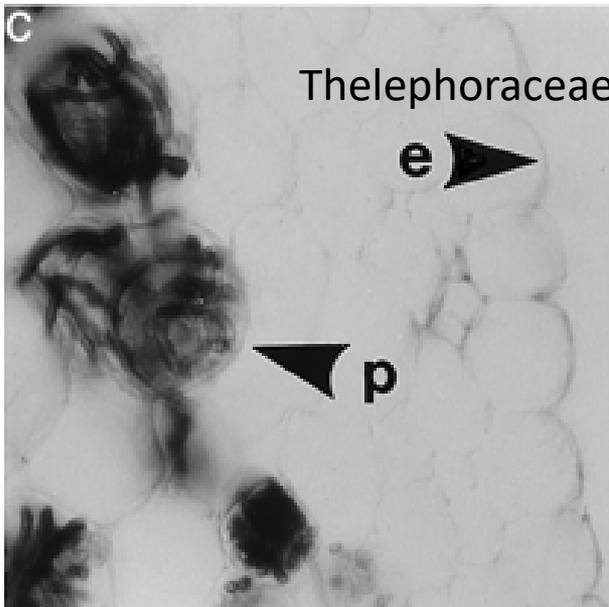
Especificidade fungo – hospedeiro

Ectomycorrhizal host
specificity in a changing
world: can legacy
effects explain
anomalous current
associations?

[Lotus Lofgren](#)
[Nhu H. Nguyen](#)
[Peter G. Kennedy](#)



- Mesmo fungo – vários hospedeiros



C. austinae

Independent, specialized invasions of ectomycorrhizal mutualism by two nonphotosynthetic orchids

D. Lee Taylor and Thomas D. Bruns

PNAS April 29, 1997 94 (9) 4510-4515: <https://doi.org/10.1073/pnas.94.9.4510>

Ectomicorriza

External hyphae

Sheath

Hartig net

VA endomycorrhizae

Arbuscule

Vesicle

Spore

d -
Ectendomycorriza

A

Micorriza Arbuscular

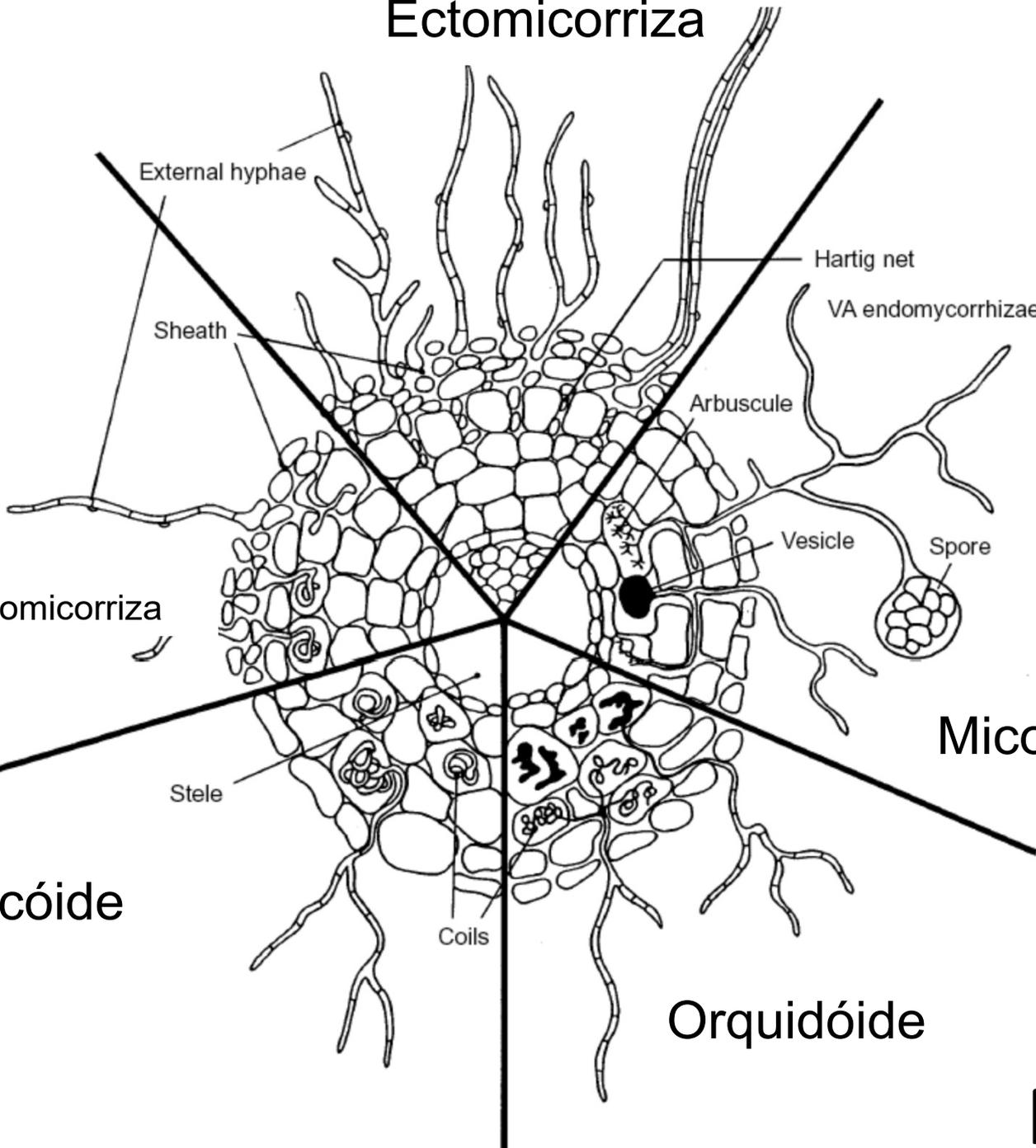
Ericóide

Stele

Coils

Orquidóide

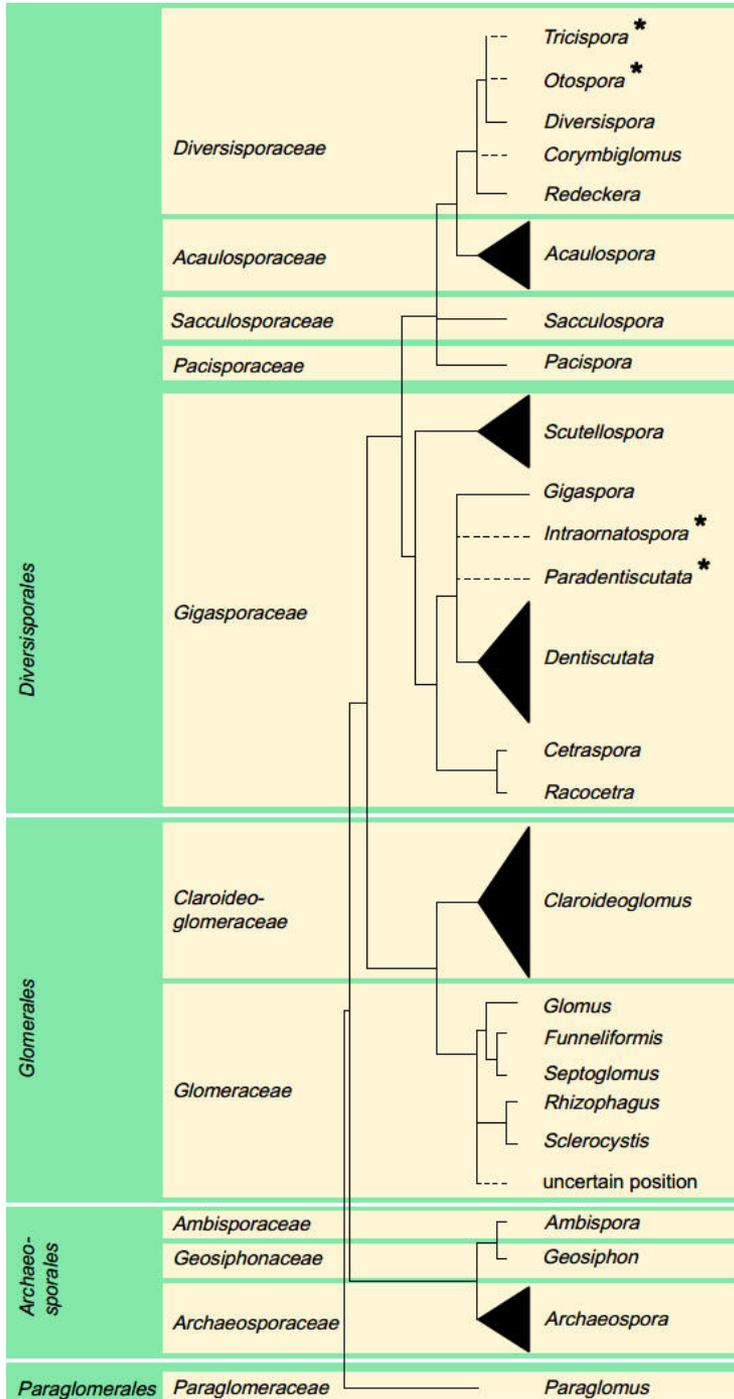
Tipos de
Micorriza



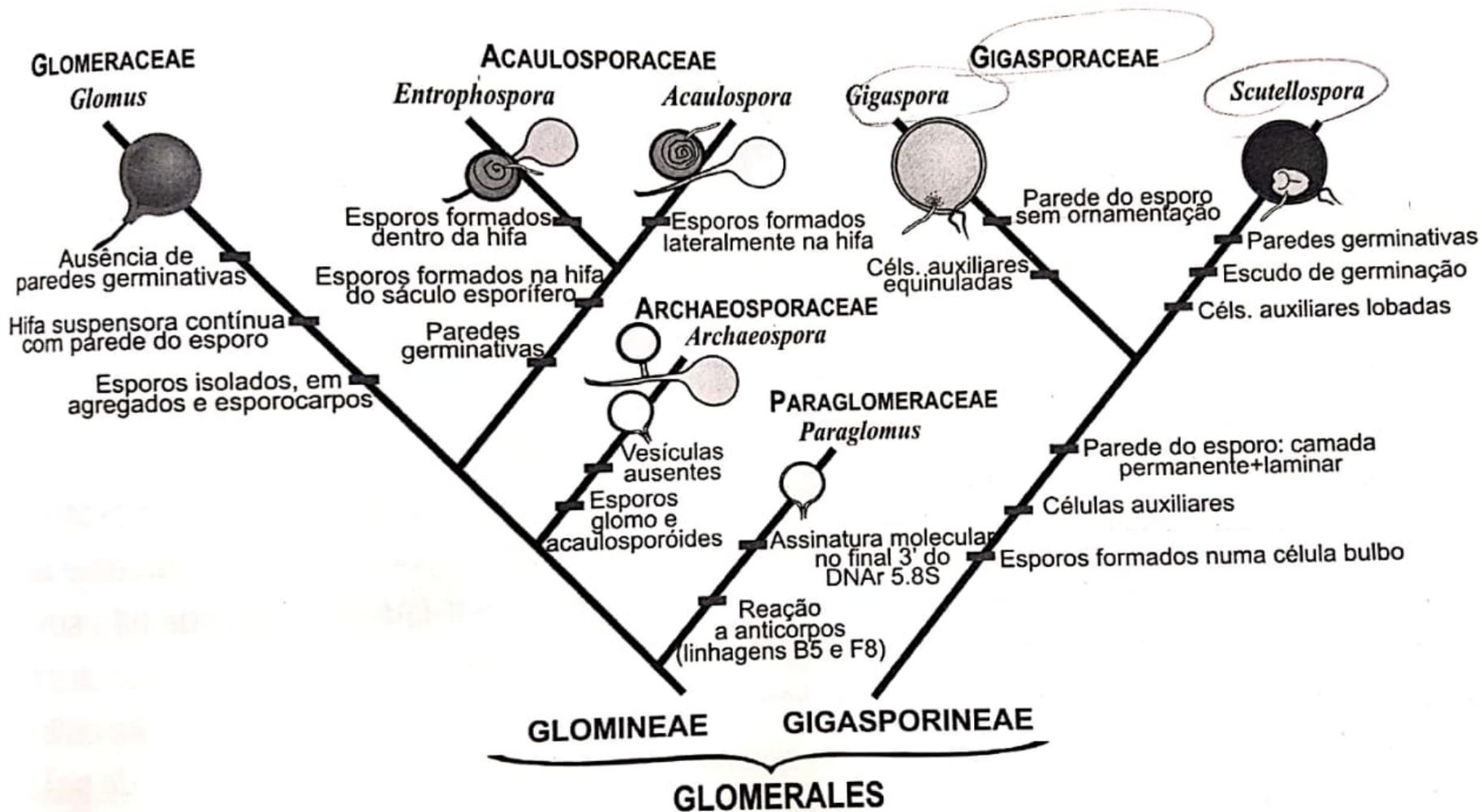
Fungos Micorrízicos Arbusculares

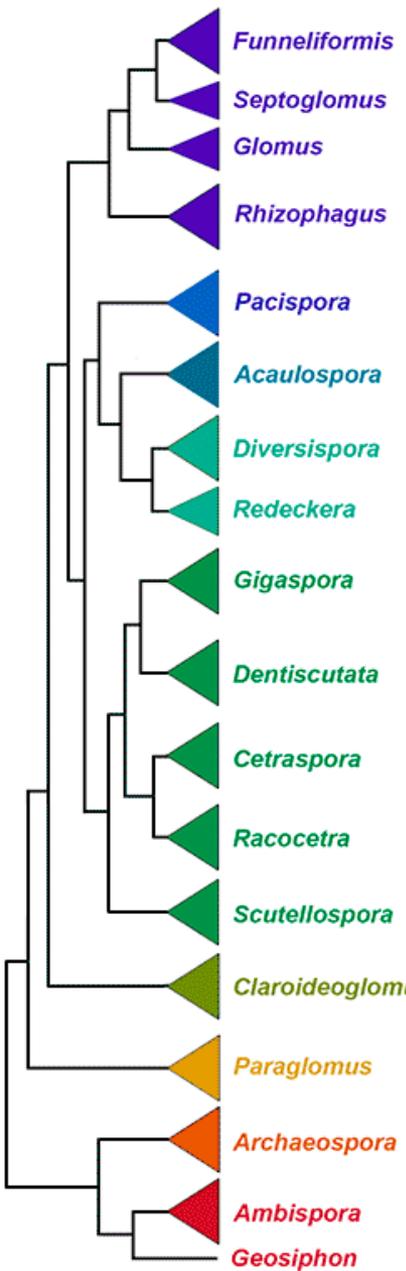
- 200 mil → Número de espécies de plantas hospedeiras
- **Espécies de fungos estimadas: 1600 sp**
- 244 espécies descritas

Diversidade

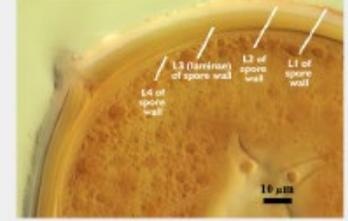
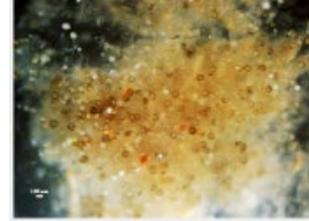


Principais características que definem as famílias e os gêneros de FMA





GLOMERACEAE



Isolados
Agregados
Desorganizados

Todos possuem camada rígica com várias subcamadas

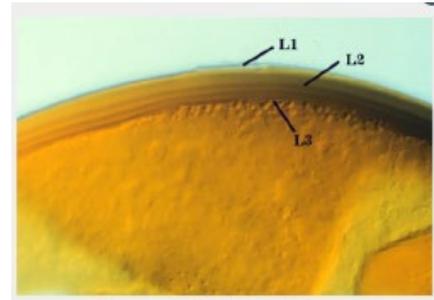
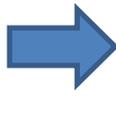
Os esporos formam-se terminalmente

PACISPORACEAE

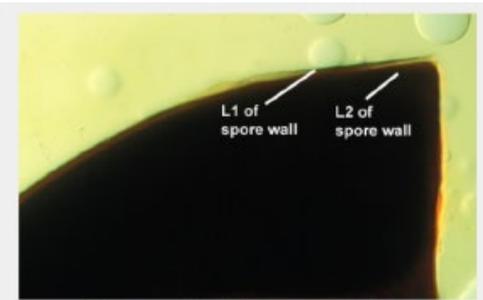
ACAULOSPORACEAE

DIVERSISPORACEAE

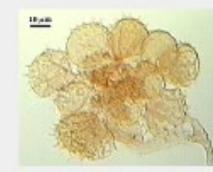
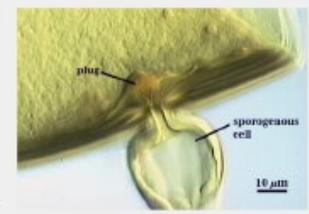
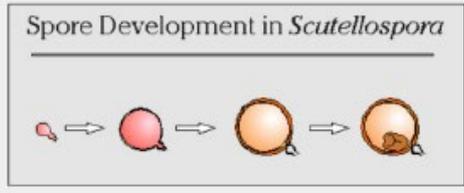
GIGASPORACEAE



Camada Laminar



Camada Permanente



Células Auxiliares

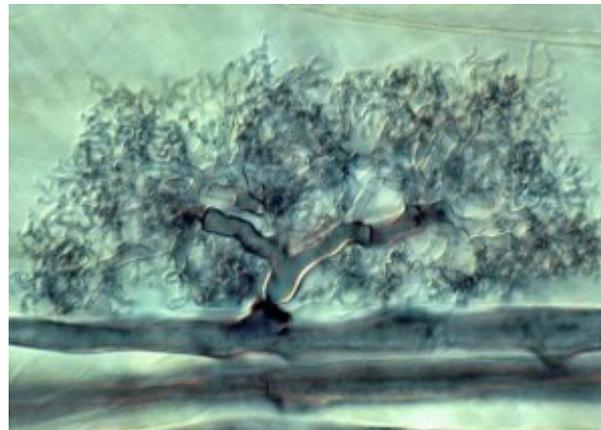
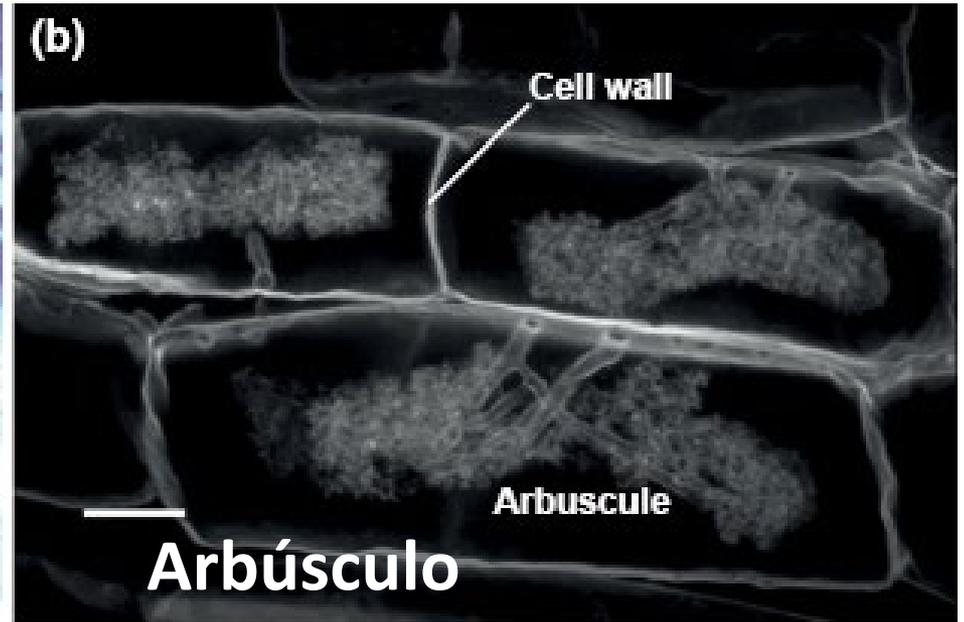
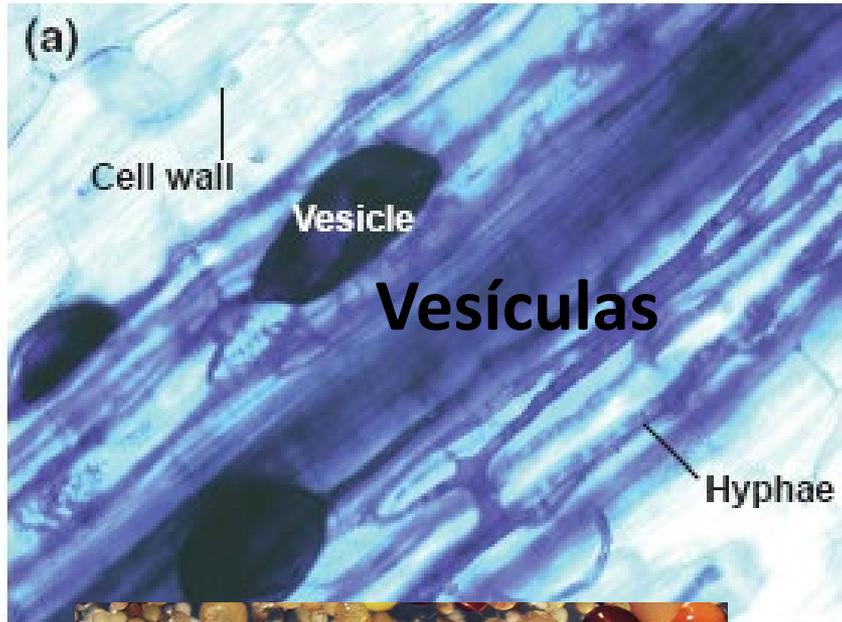
CLAROIDEO-GLOMERACEAE

PARAGLOMERACEAE

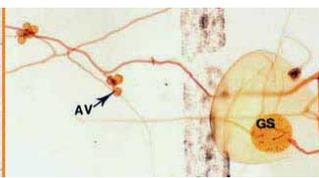
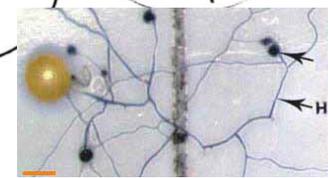
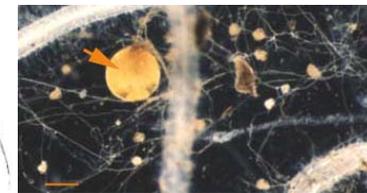
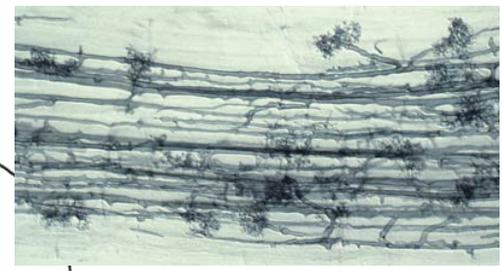
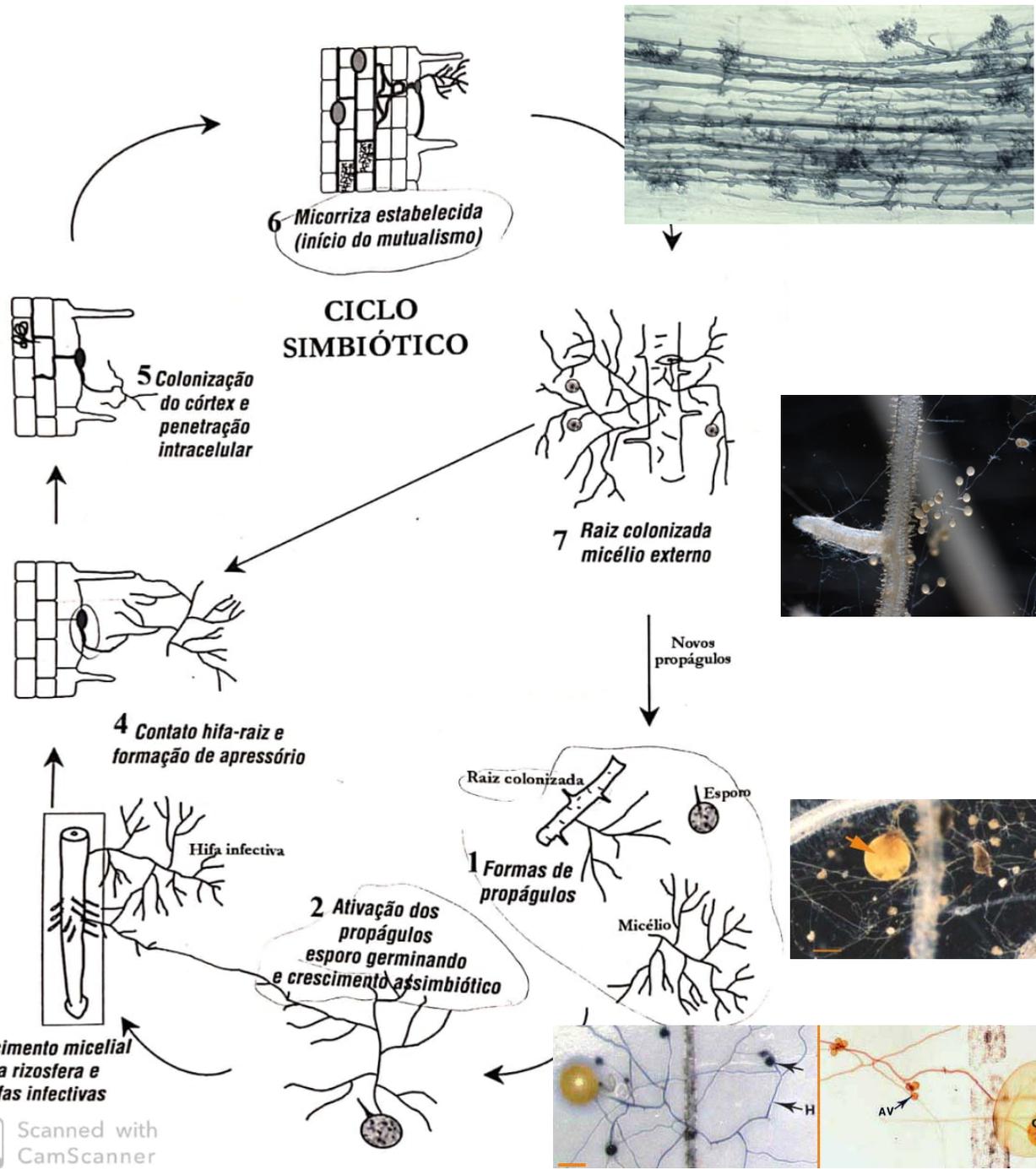
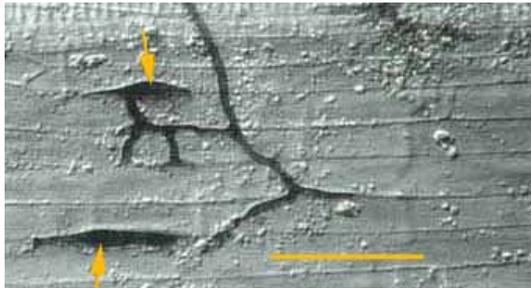
ARCHAEOSPORACEAE

AMBISPORACEAE

Estruturas da Interação - FMA



Ciclo da interação



Dependência Micorrízica

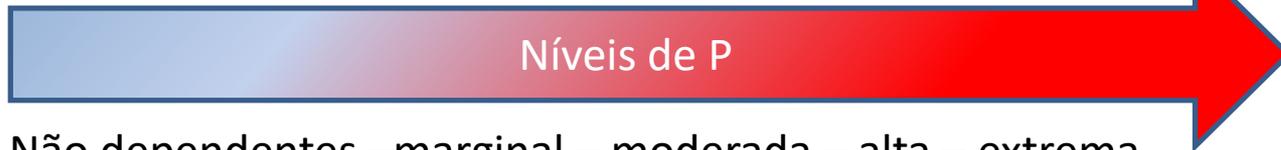
Incapacidade das plantas crescerem na ausência de FMA em um determinado nível de fertilidade

- Resposta à concentração de P

micorrização

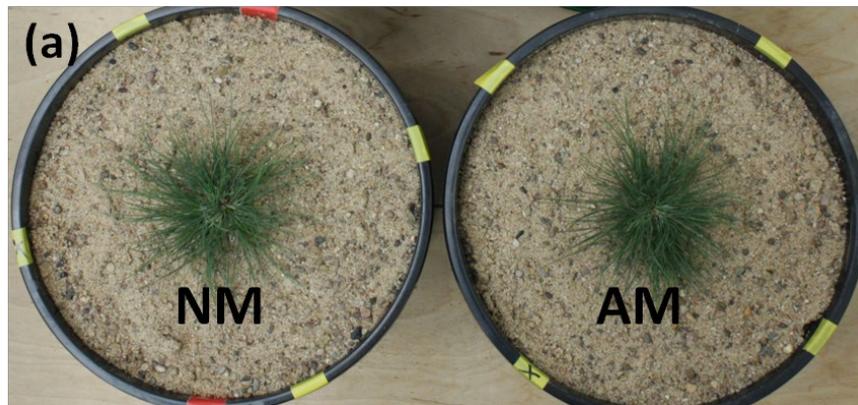
Não dependentes – 25 % – 25 a 50 % – 50 a 75 % – 75 a 100%

0,02 mg/L



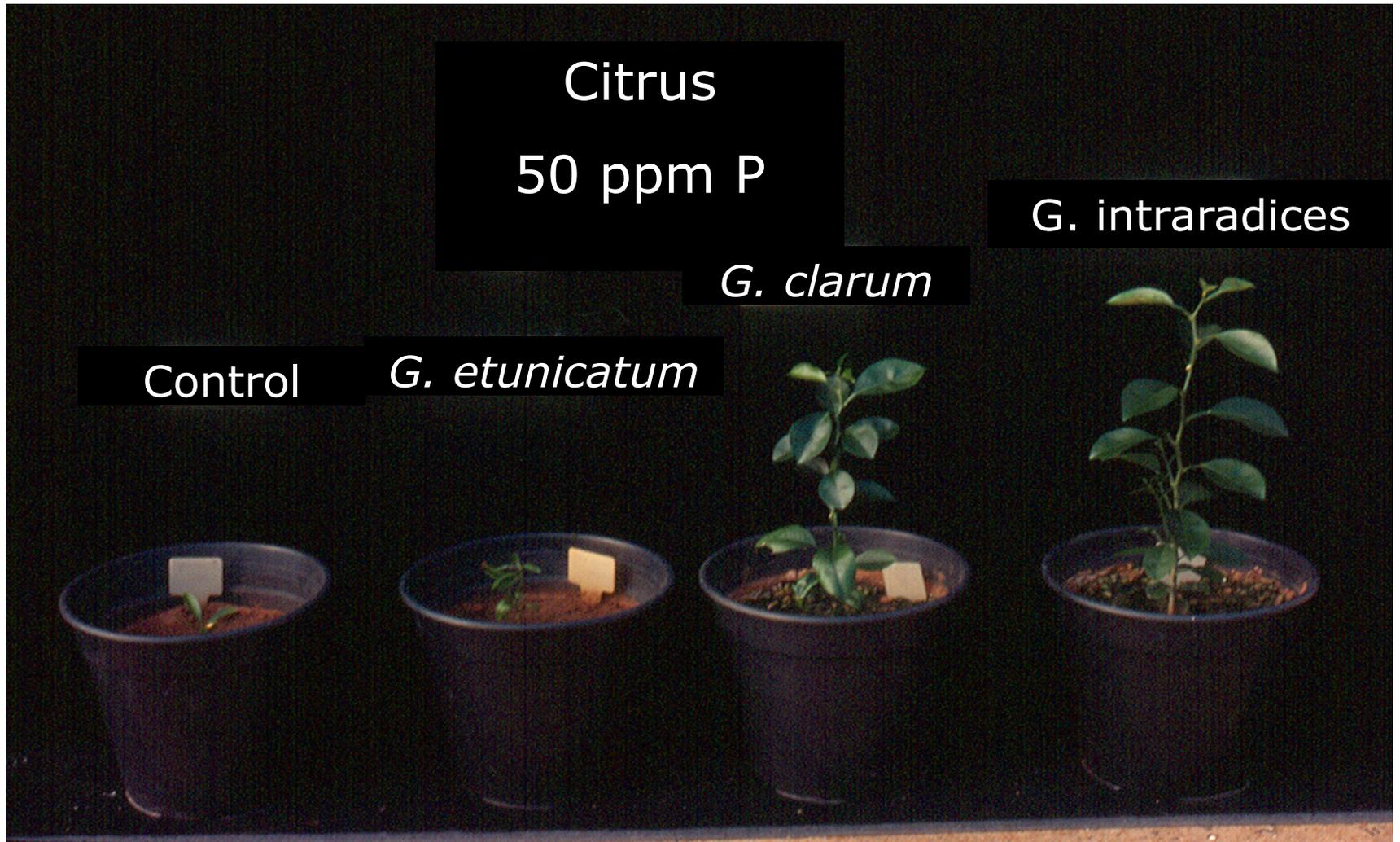
0,2 mg/L

Não dependentes – marginal – moderada – alta – extrema



Especificidade/Eficiência

- Associação x Benefícios



Ectomicorriza

External hyphae

Sheath

Hartig net

VA endomycorrhizae

Arbuscule

Vesicle

Spore

d -
Ectendomycorriza

A

Stele

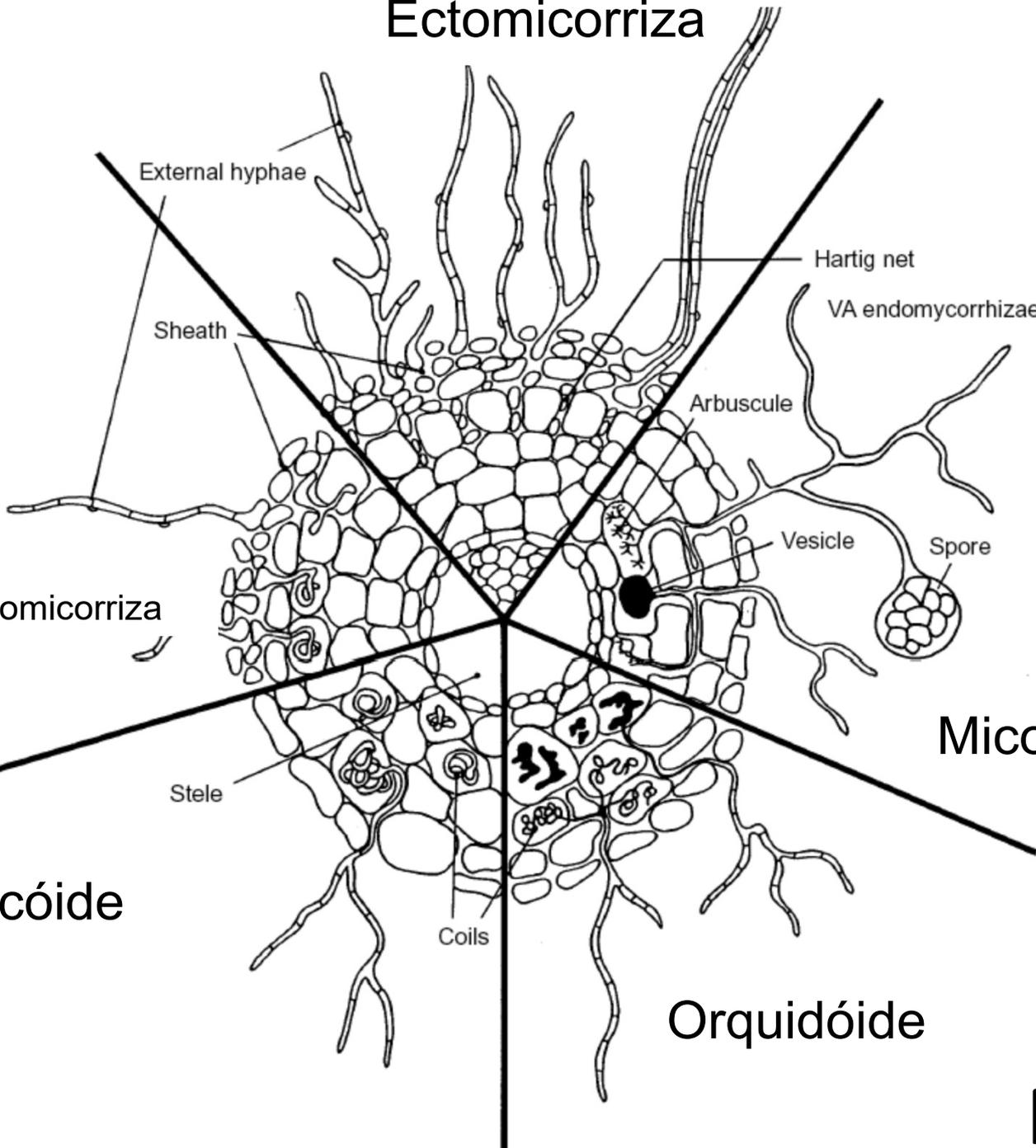
Micorriza Arbuscular

Ericóide

Coils

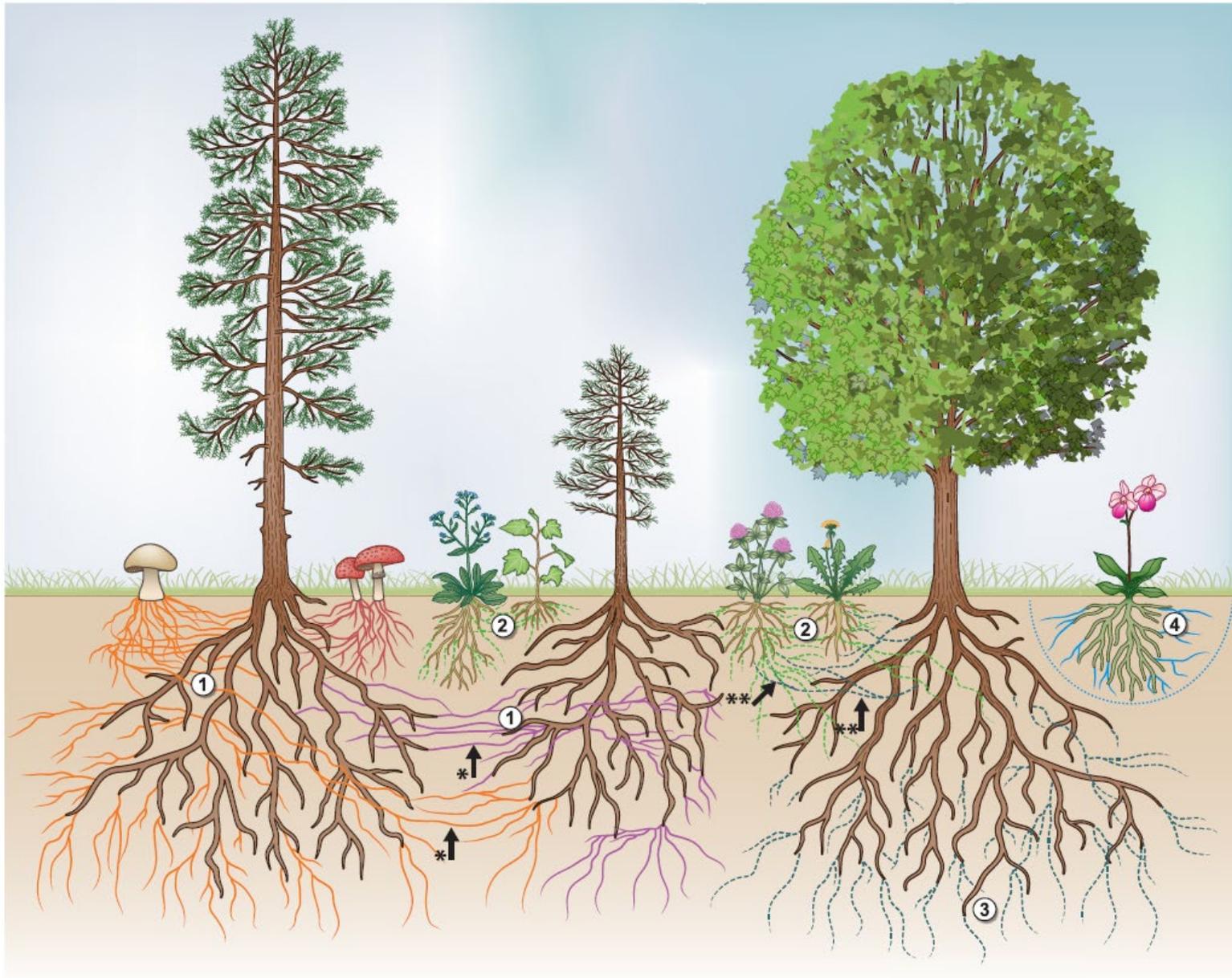
Orquidóide

Tipos de
Micorriza



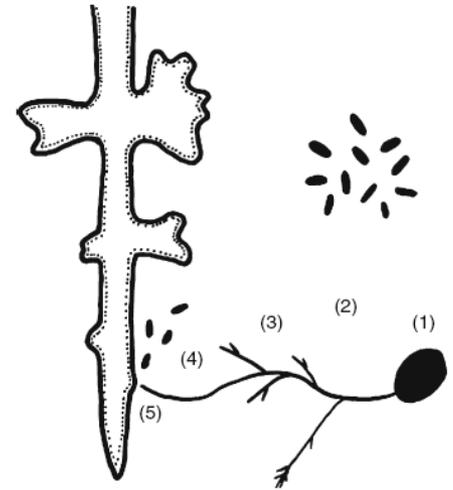
Interações Ecológicas

Interações Ecológicas – Fungos Micorrízicos



Interações Ecológicas – Fungos Micorrízicos

- Micorrizosfera
- MHB (Mycorrhiza Helper **Bacteria**)
 - Germinação
 - Crescimento micelial
 - Reconhecimento
 - Ancoragem
- **Influência nos processos ecossistêmicos**



Influência nos processos ecossistêmicos

Table 2 Influence of mycorrhizal associations on various ecosystem processes

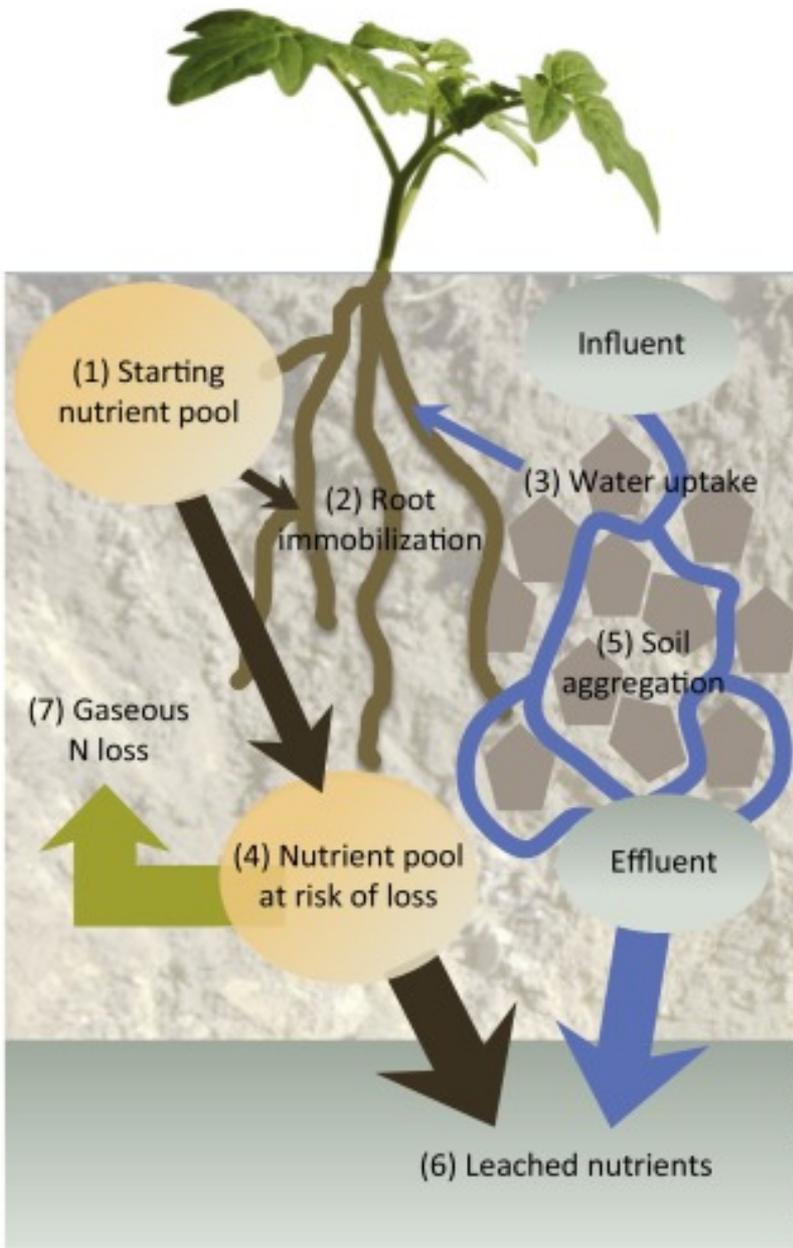
Ecosystem process	Mycorrhizal type	Estimated mycorrhizal contribution to ecosystem process*
<i>Carbon cycle</i>		
Plant productivity	AM	0–80% ¹
	EM	0–80% ²
	Ericoid	0–50% ³
	Orchid	100% (protocorms) ⁴
		Unknown (green orchids) ⁵
Decomposition	AM	0–10% ⁶
	EM	0–30% ⁷
<i>Nitrogen cycle</i>		
Plant nitrogen acquisition	AM, EM, ericoid	0 to –20% ⁸
Reduction of N leaching losses	AM, EM, ericoid	0–80% ⁹
Denitrification, N ₂ O losses	AM, EM, ericoid	0–50% (NO ₃ ⁻) ¹⁰
Plant phosphorus uptake	AM, EM	Unknown (see text) ¹¹
	AM	0–90% ¹²
	EM	0–70% ¹³
	Ericoid	0–80% ¹⁴
	Orchid	100% (protocorm) ¹⁵
		Unknown (green orchids) ¹⁶
<i>Regulation of plant diversity</i>		
Stimulation of plant diversity	AM	0–50% ¹⁷
Reduction of plant diversity	AM	–20 to 0% ¹⁸
<i>Other ecosystem processes strongly affected by mycorrhizal fungi</i>		
Soil aggregation	AM, EM	¹⁹
Seedling survival	AM, EM, ericoid	²⁰
	Orchid	²¹

→ aumento da exsudação radicular

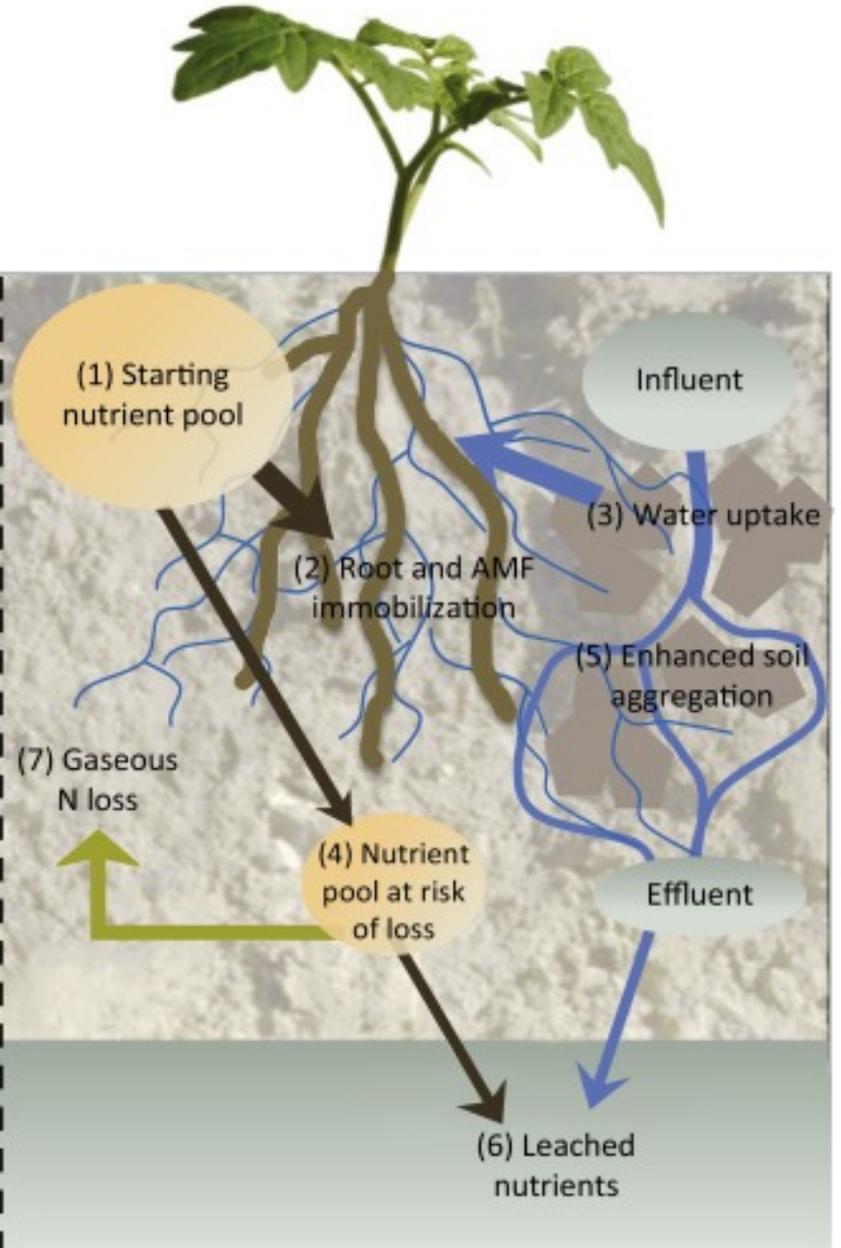
→ estímulo à FBN

→ síntese de compostos orgânicos – glomalina

Non-mycorrhizal plant



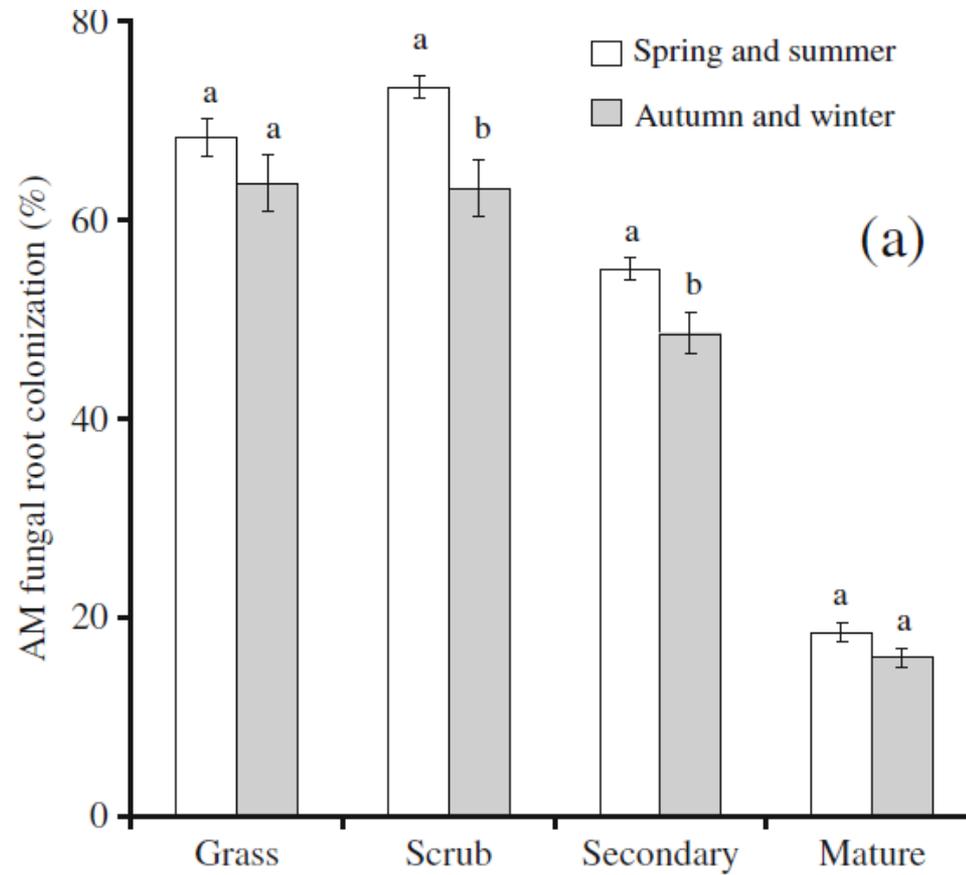
Mycorrhizal plant



Processo de Sucessão

- A comunidade de FMA se altera com a sucessão
- Plantas em diferentes estadios sucessionais – impacto na micorrização





(a)

Fatores Ambientais que afetam as micorrizas

- Solo
 - Nutrientes
 - pH
 - Metais Pesados
- Manejo
- Biota
- Planta



Nutrientes

- Fósforo

Micorrizas Arbusculares: Perspectivas para Aumento da Eficiência de Aquisição de Fósforo (P) em Poaceae - Gramíneas

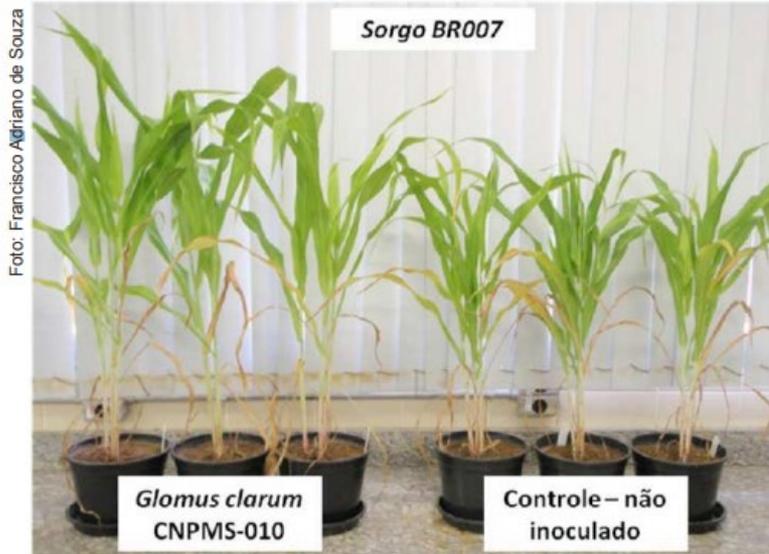


Figura 1. Plantas de sorgo inoculadas com *Glomus clarum* (CNPMS010) em relação a plantas controle não inoculadas, aos 60 dias após plantio.

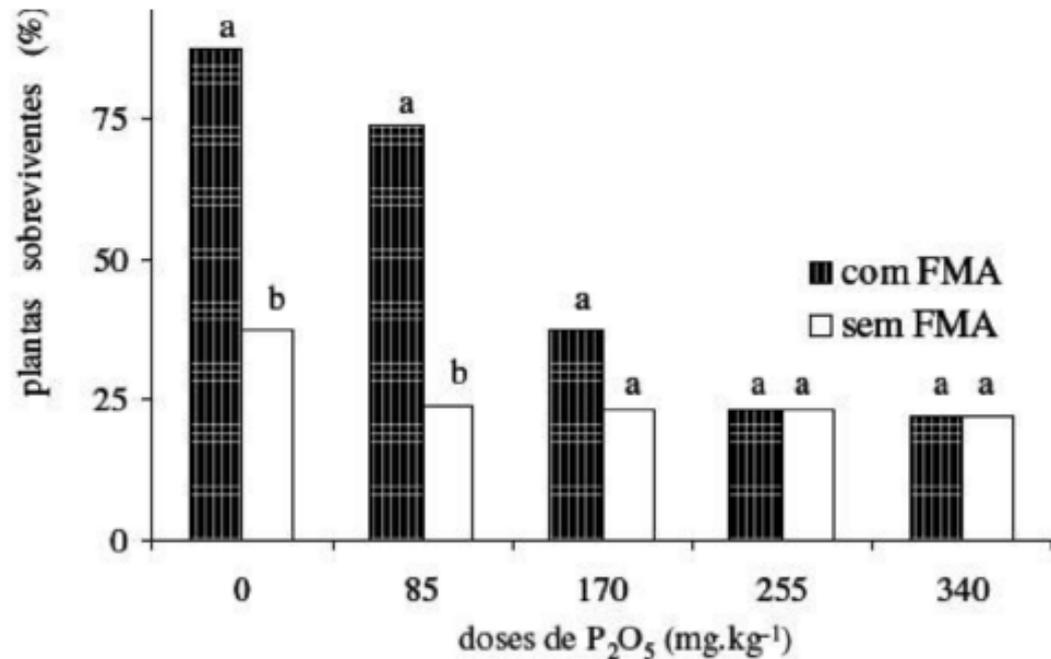
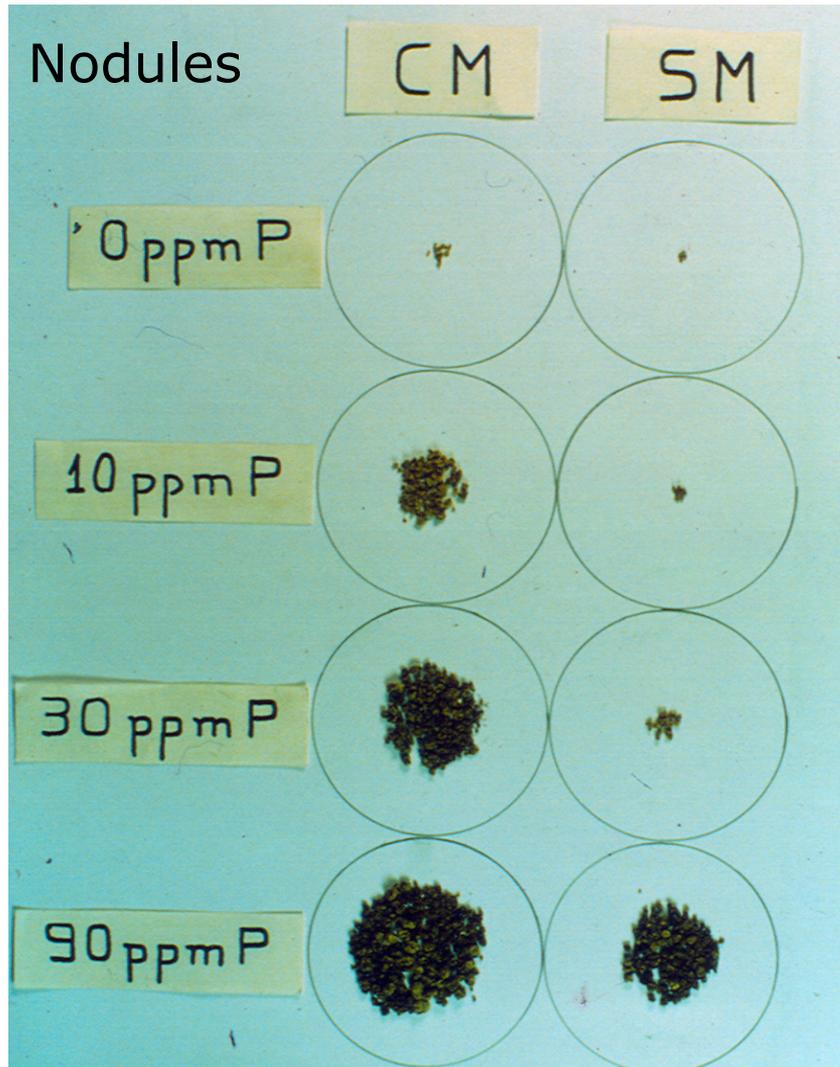


Figura 3. Efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e de doses de fósforo (P_2O_5) no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya*) em campo (Lavras-MG, 1999). Colunas identificadas com a mesma letra indicam médias de tratamentos não diferindo significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nutrientes

- Nitrogênio



- Efeito de adubação de N na colonização micorrizica

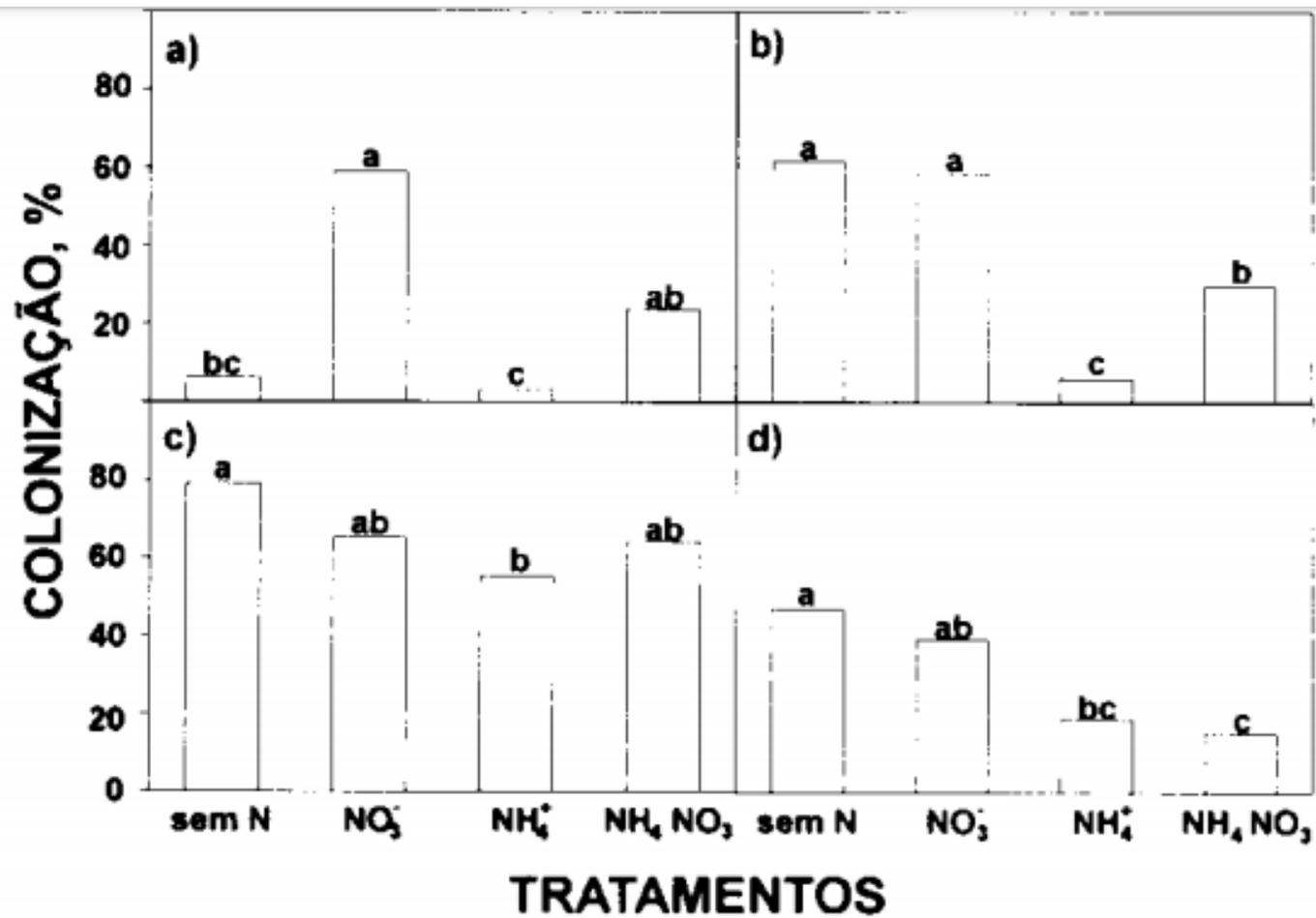


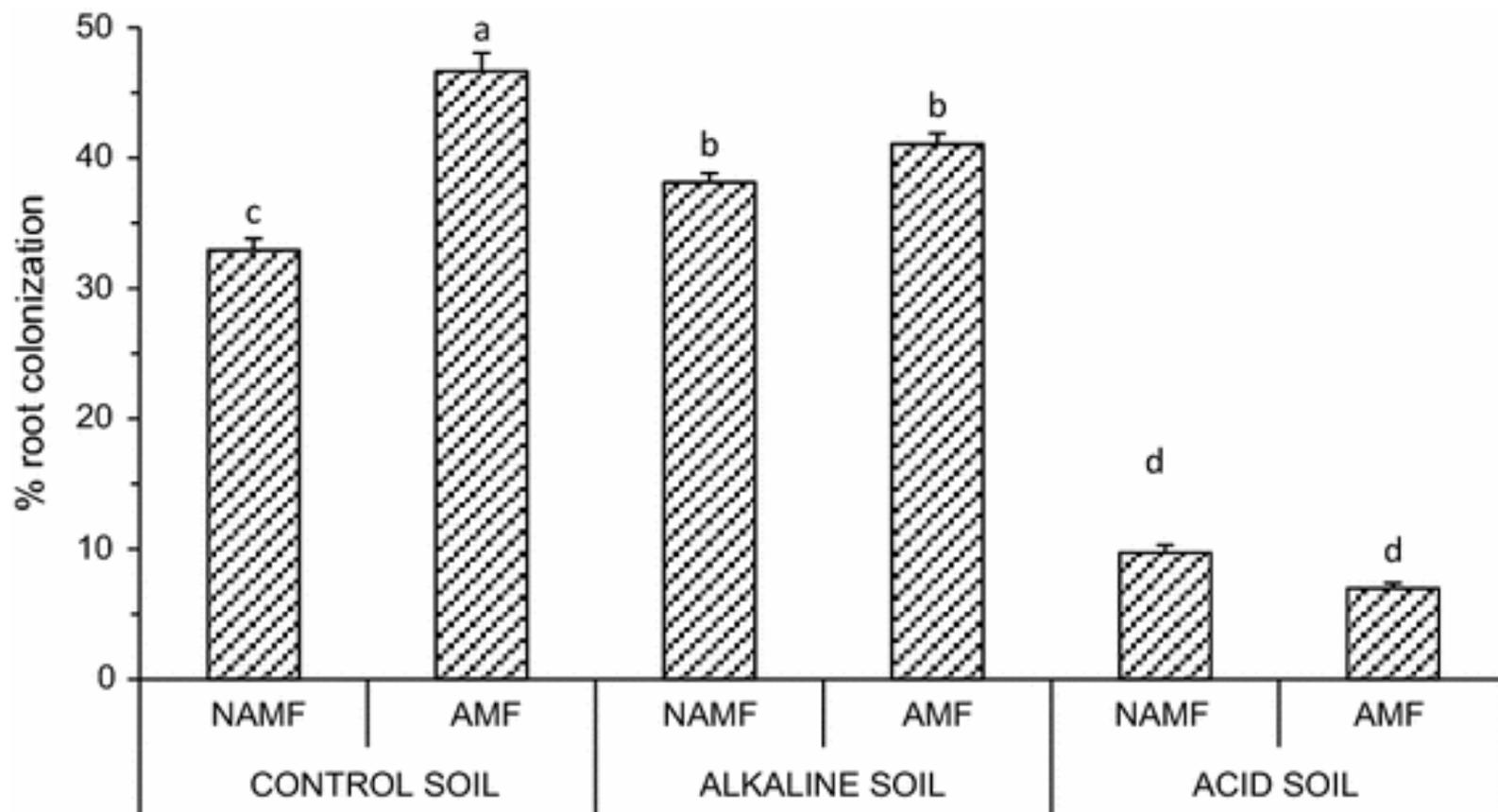
FIG.2. Colonização micorrízica da cássia-verrugosa (a), fedegoso (b), cinamomo (c) e jacarandá (d) sob a influência de formas de N-mineral. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tuckey a 5%.

pH

Elevada Acidez: *Glomus diaphanum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora laevis*

Ácidos a neutros: *Glomus mosseae*, *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*

Indiferentes: *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus agregatum*



Effects of soil pH and arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on growth and chemical composition of chia (*Salvia hispanica* L.) leaves

Metais Pesados

- Fungo - Protege a planta
- Pode reduzir esporos e colonização em algumas espécies de FM

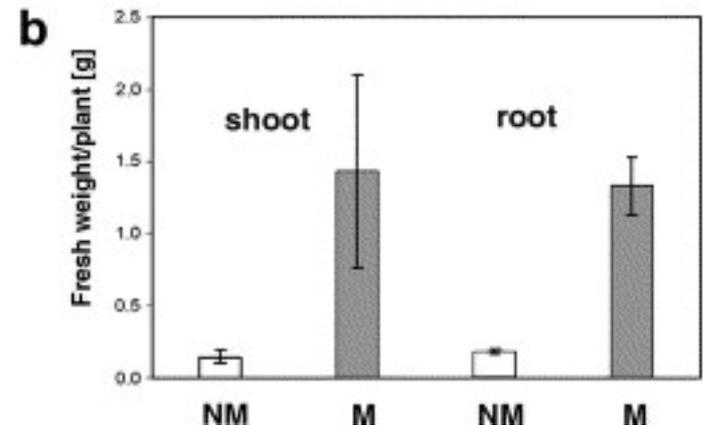
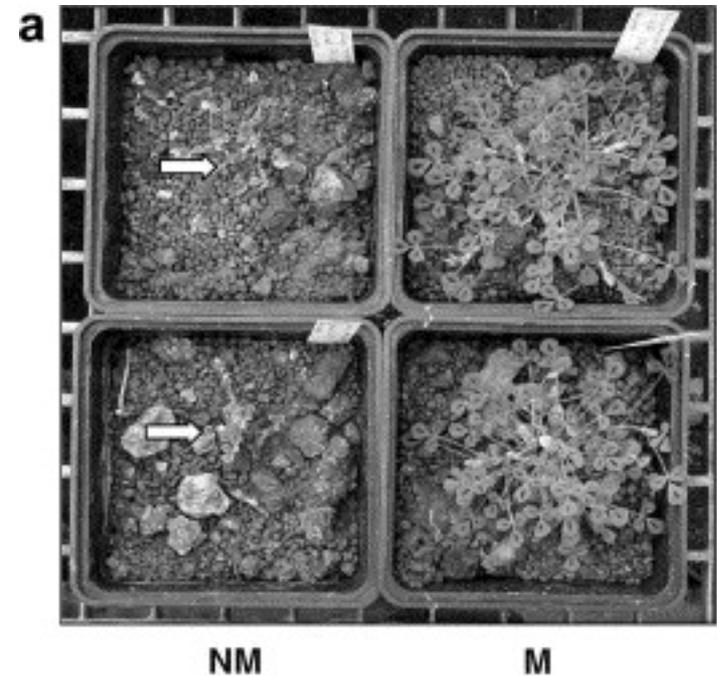


Fig. 1. (a) *Medicago truncatula* after growth for 12 weeks in the Breinigerberg heavy metal soil. M: steam sterilized soil inoculated with *Glomus intraradices*, NM: steam sterilized soil. White arrows indicate the position of the non-mycorrhizal plants in the respective pots. (b) *M. truncatula* root and shoot fresh weights of *G. intraradices* inoculated (M) and non-inoculated (NM) plants after twelve weeks of growth (standard deviations of mean values, $n = 6$).

Fatores Ambientais que afetam as micorrizas

- Solo
 - Nutrientes
 - pH
 - Metais Pesados
- Manejo
- Biota
- Planta



Manejo

- Desmatamento
- Perda da camada arável
- Cultivo intensivo
- Sistemas de produção
- Melhoramento vegetal
- Uso de fertilizantes
- Uso de biocidas
- Inundação

Diferentes Manejos x Colonização Micorrízica

-----Latossolo Vermelho-----

MPB	Em sistema de plantio direto, em 2002, plantou-se milho e posteriormente formou-se pastagem (<i>Brachiaria decumbens</i>). Sequência: milho/braquiária
MMS	Área sob sistema de plantio convencional, ou seja, com revolvimento de solo, com milho cultivado em 2001, milheto em 2002 e soja em 2003. Sequência: milho/milheto/soja
SMS	Área cultivada em sistema de plantio direto, com soja em 2001, milho em 2002 e sorgo em 2003. Sequência: soja/milho/sorgo
SNM	Sistema de manejo convencional, em que em 2001 plantou-se soja na safra e nabo forrageiro na safrinha e, em 2002, plantou-se milho. Sequência: soja/nabo forrageiro/milho.
CE	Cerrado composto por espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas. Solo completamente vegetado

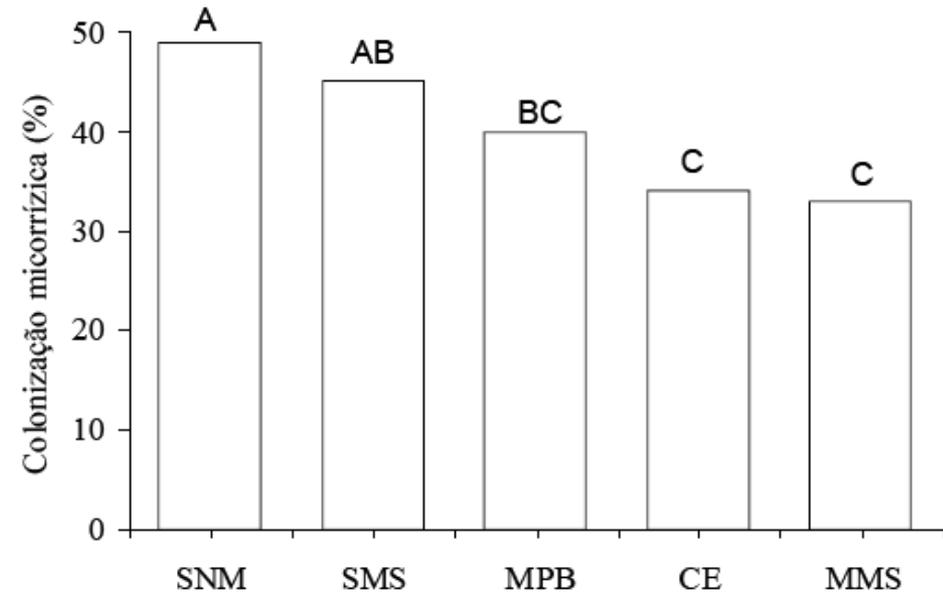


Figura 2. Colonização micorrízica de plantas submetidas a diferentes manejos em Latossolo Vermelho. SNM - soja/nabo/milho; SMS - soja/milho/sorgo; MPB - milho/braquiária; CE - Cerrado stricto sensu; MMS - milho/milheto/soja (médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan a 5%).

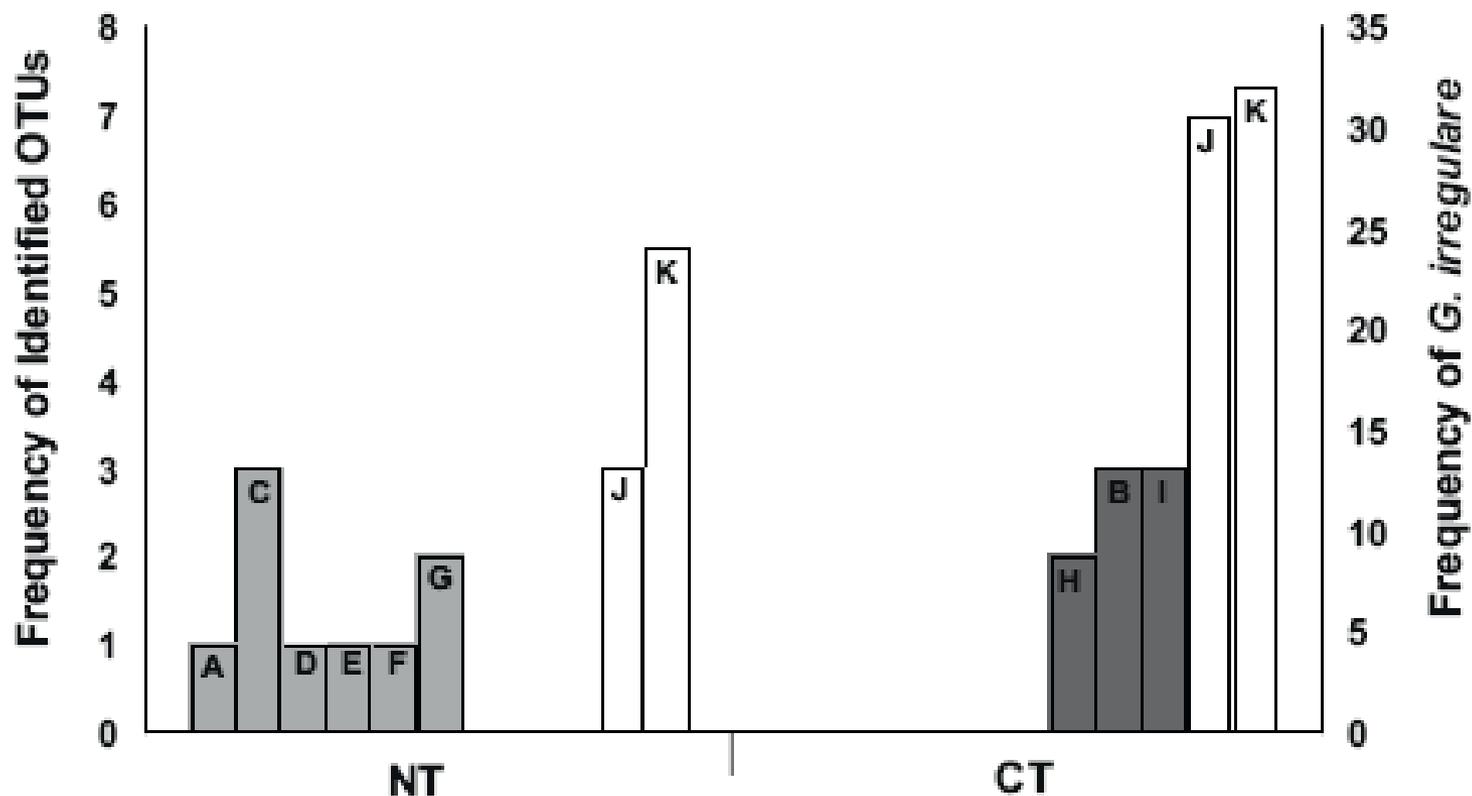


Fig. 2. Identified operational taxonomic units (OTUs) in the two tillage treatments (A – Glomus I; B – Glomus II; C – Glomus III; D – Glomus IV; E – Glomus V; F – Glomus VI; G – Scutellospora; H – *G. cloroidium*; I – *G. ocutum*; J – *G. mosseae*; K – *G. irregulare*). Light grey columns – OTUs found only in the no-tillage treatment; dark grey columns – OTUs found only in the conventional tillage treatment; white columns – OTUs found in both tillage treatments.

Biota

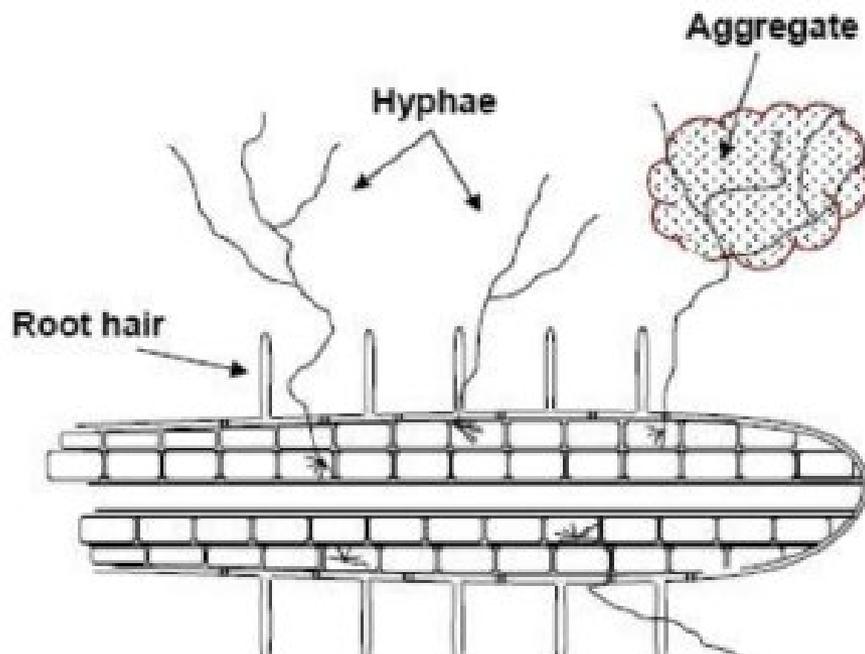
- Predadores
Fauna edáfica e
Fungos



Fungos Micorrízicos como Ferramentas Agrícola e Ambiental

- Melhoria das condições edáficas
- Redução do uso de fertilizantes
- Recuperação de áreas
- Fitorremediação

Melhoria das condições edáficas



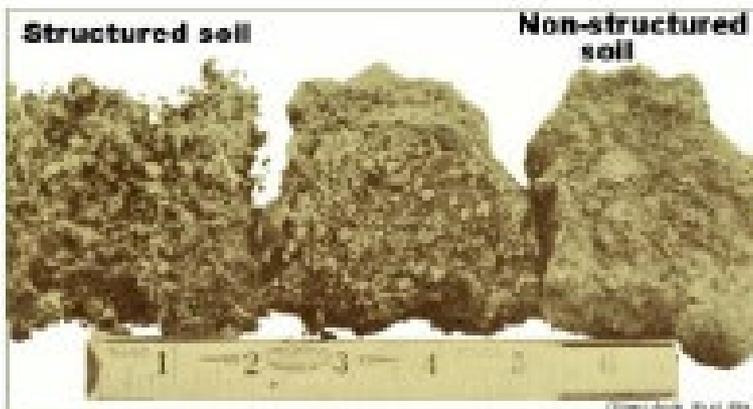
Soil before extraction



Glomalin



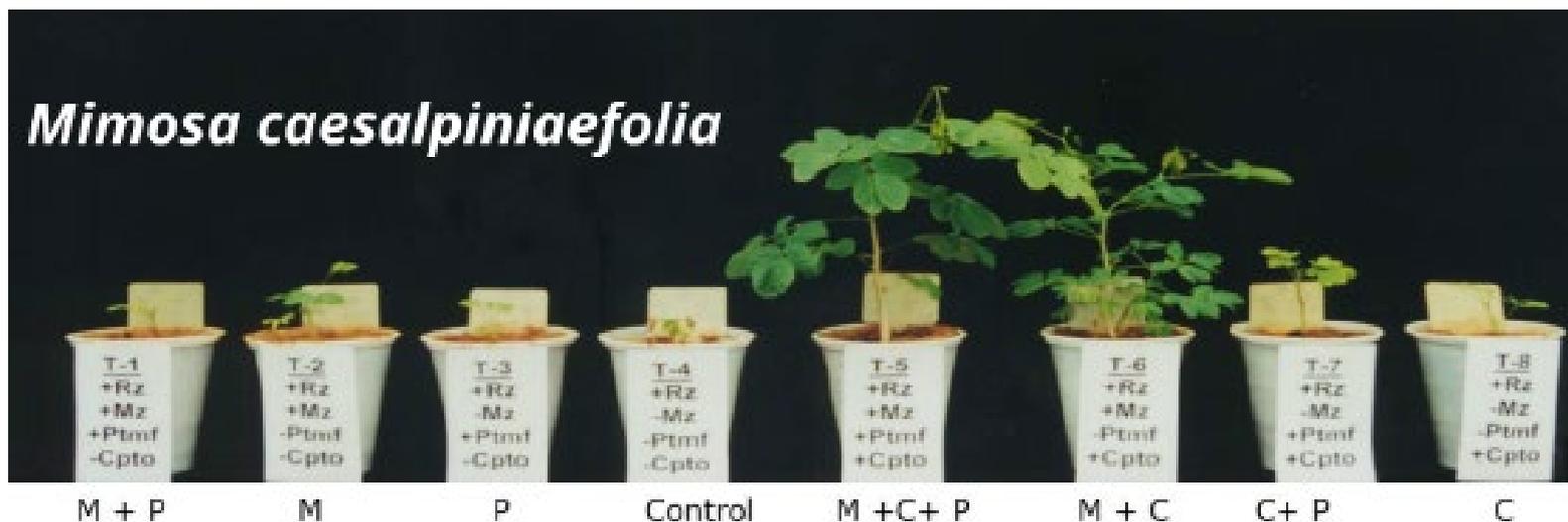
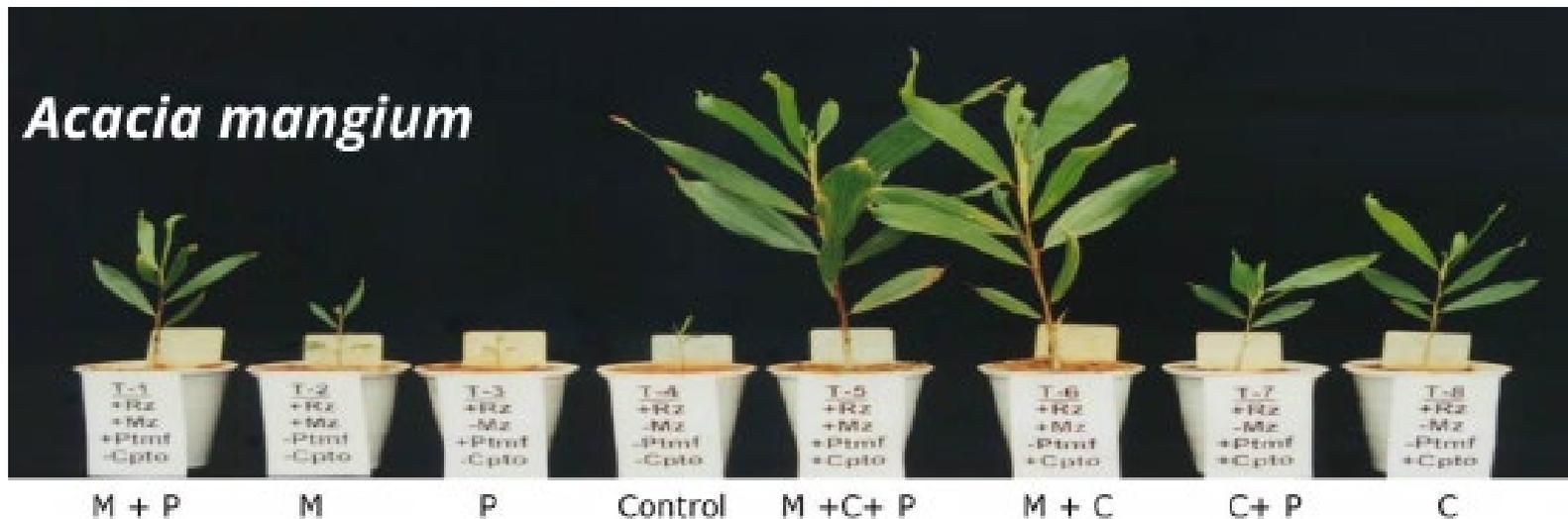
Soil after extraction



Redução do uso de fertilizantes



Recuperação de áreas



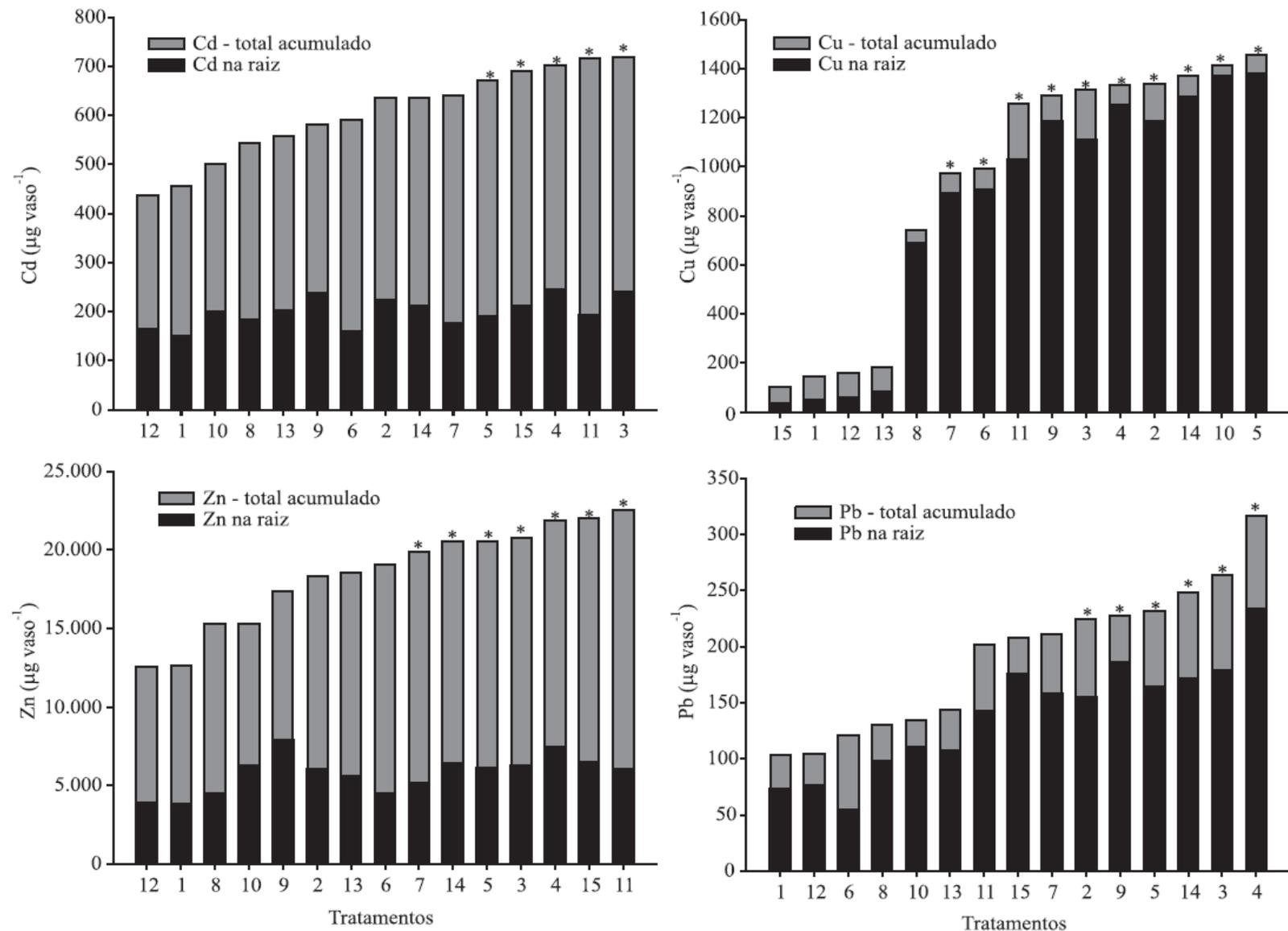
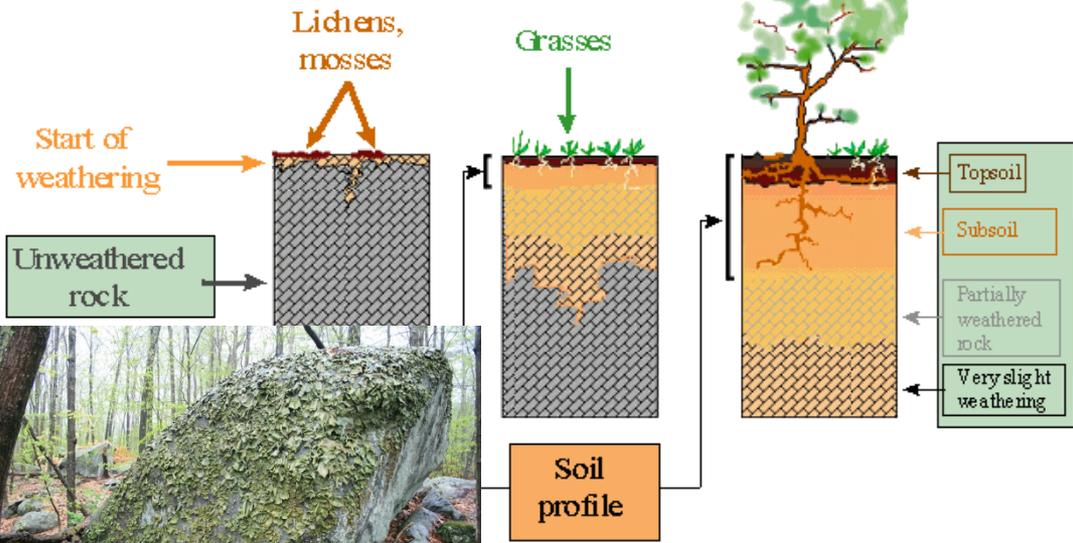
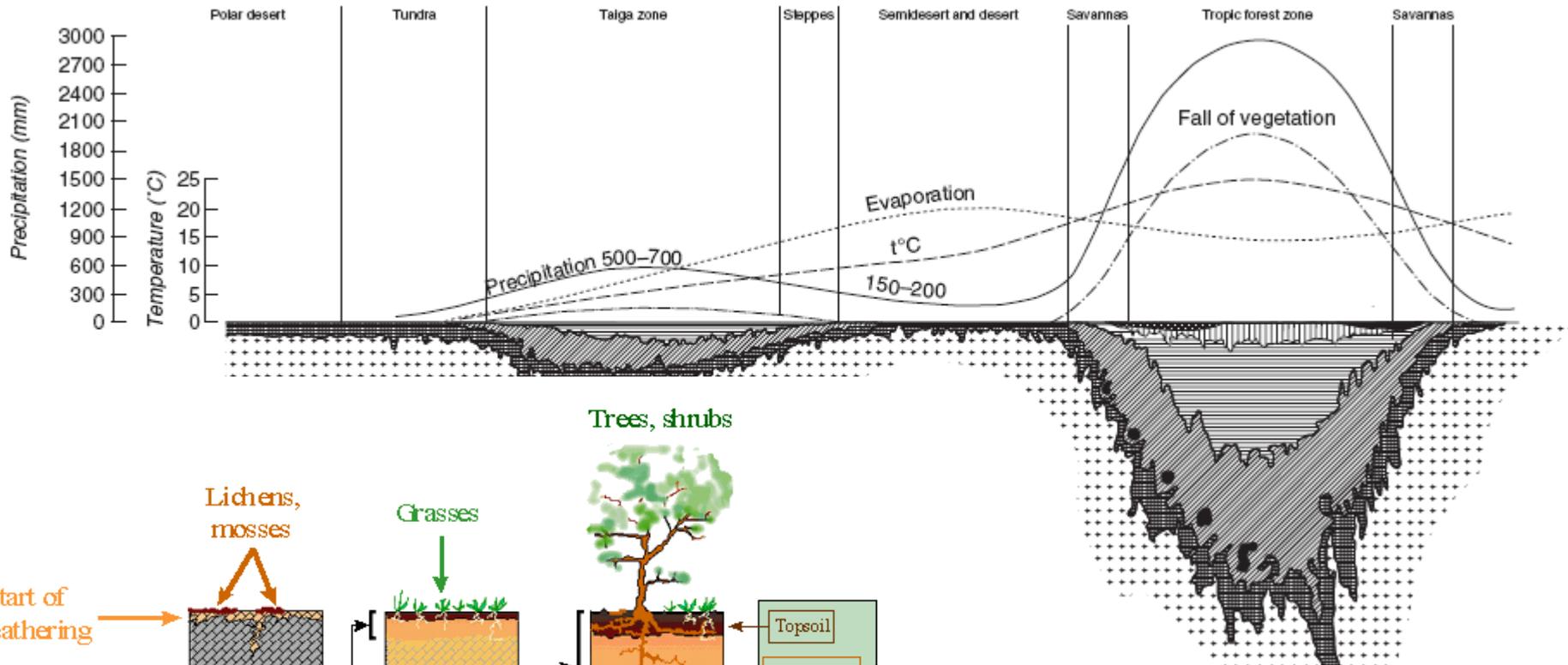


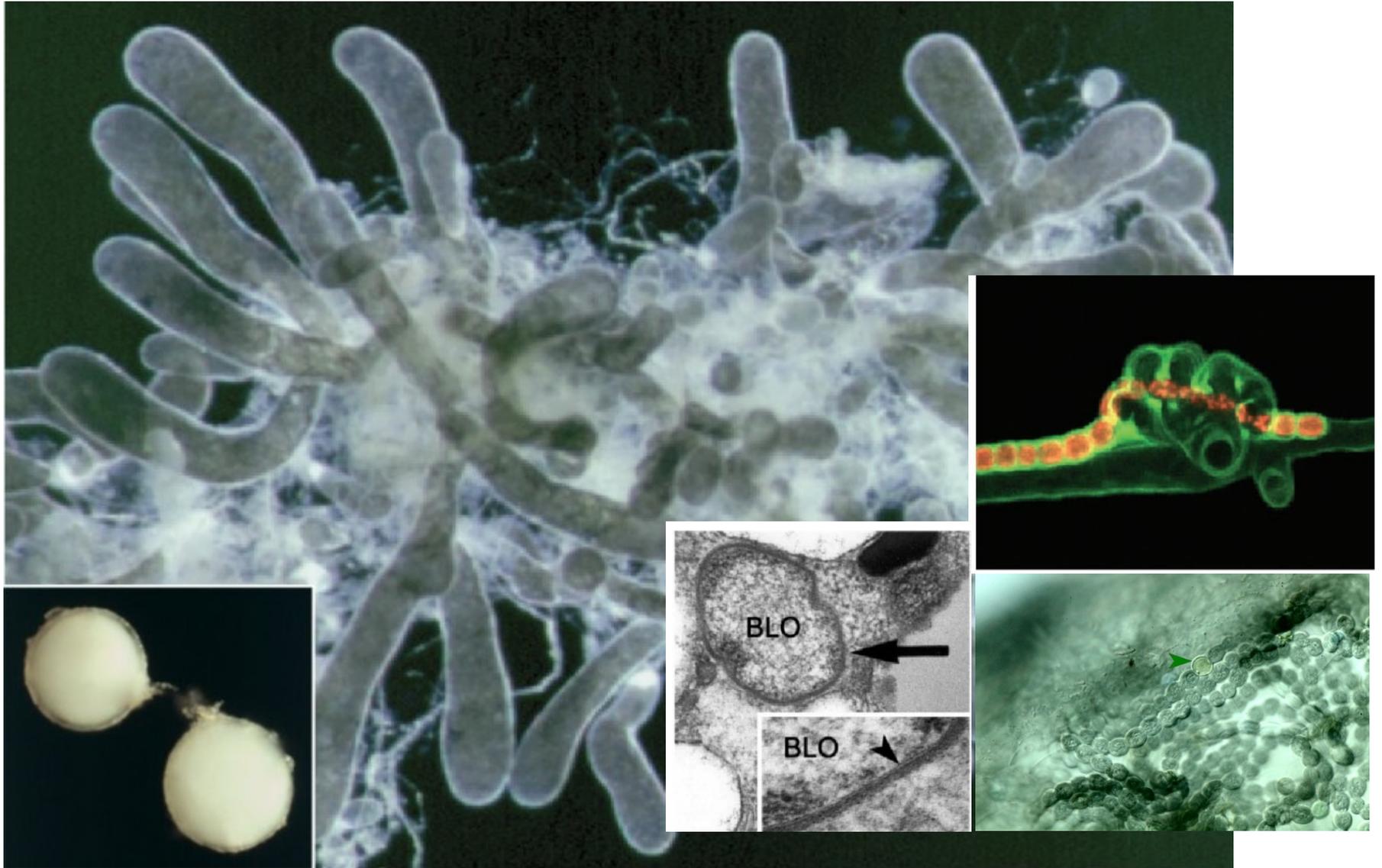
Figura 2. Acúmulo (total e nas raízes) de Cd, Zn, Cu e Pb, nas plantas de *Brachiaria decumbens*, cultivadas em vasos com solo contaminado com metais pesados, nos diferentes tratamentos: 1, Controle; 2, *Scutellospora heterogama*; 3, *Acaulospora spinosa*; 4, *Acaulospora morrowiae*-UFLA; 5, *Gigaspora gigantea*; 6, *Glomus clarum*-CMM; 7, *Glomus etunicatum*; 8, *Scutellospora gregaria*; 9, *Acaulospora morrowiae*-CMM; 10, *Gigaspora margarita*; 11, *Scutellospora pellucida*; 12, *Acaulospora scrobiculata*; 13, *Gigaspora albida*; 14, *Glomus clarum*-UFLA; 15, *Paraglomus occultum*. *Significativo em relação ao controle, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Origem da Simbiose e Evolução

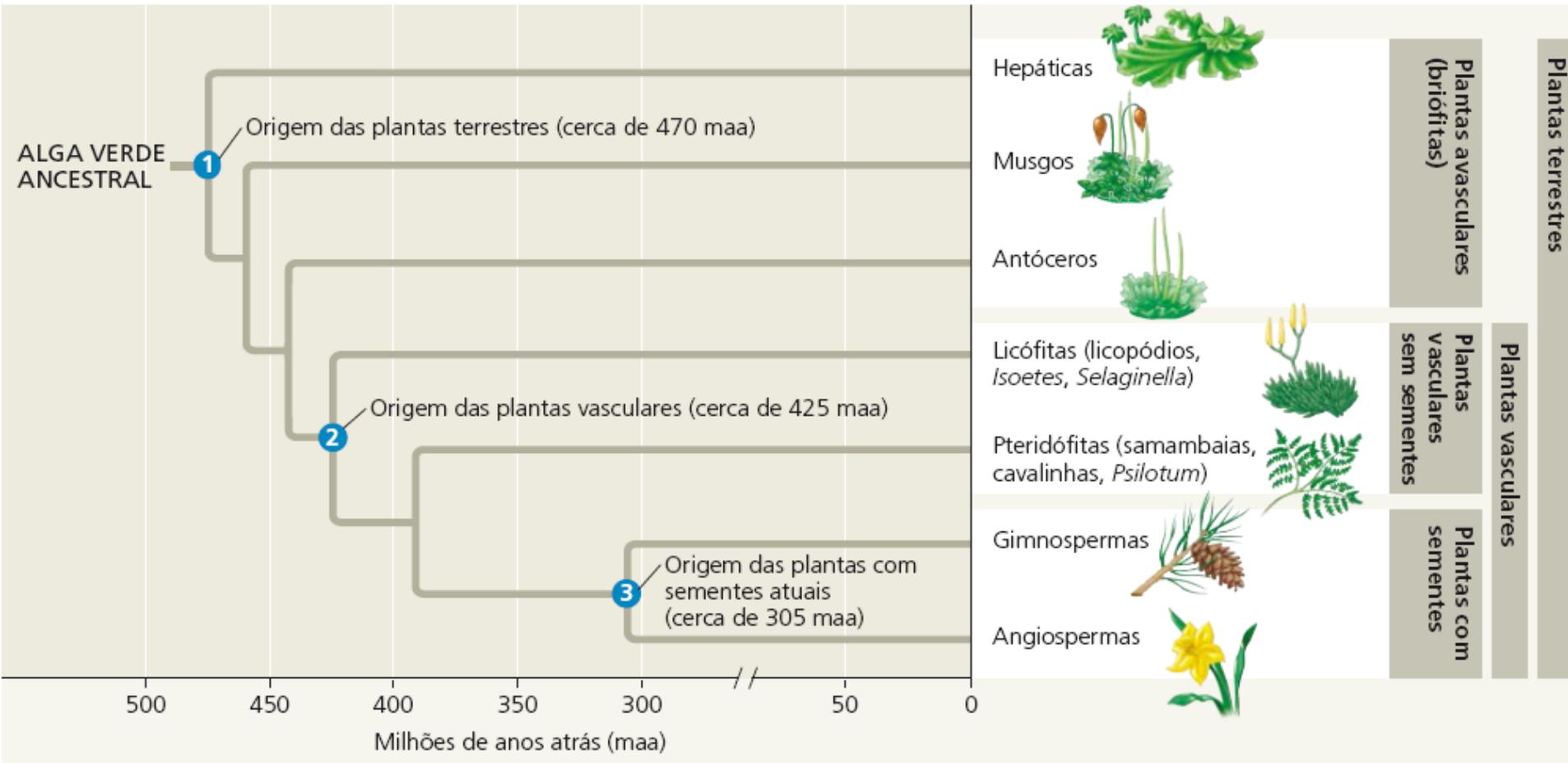


- Fresh rock
- Little chemical alteration
- Illite-montmorillonite
- Kaolinite
- Al_2O_3
- $Fe_2O_3 + Al_2O_3$

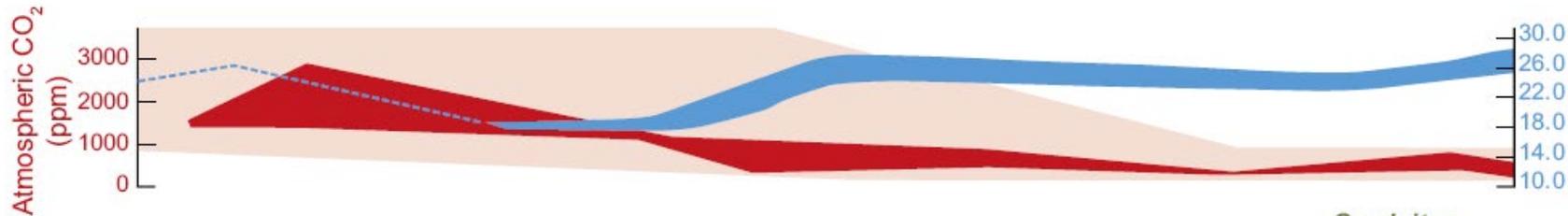
Geosiphon pyriformis (Kütz.) v. Wettstein e Nostoc



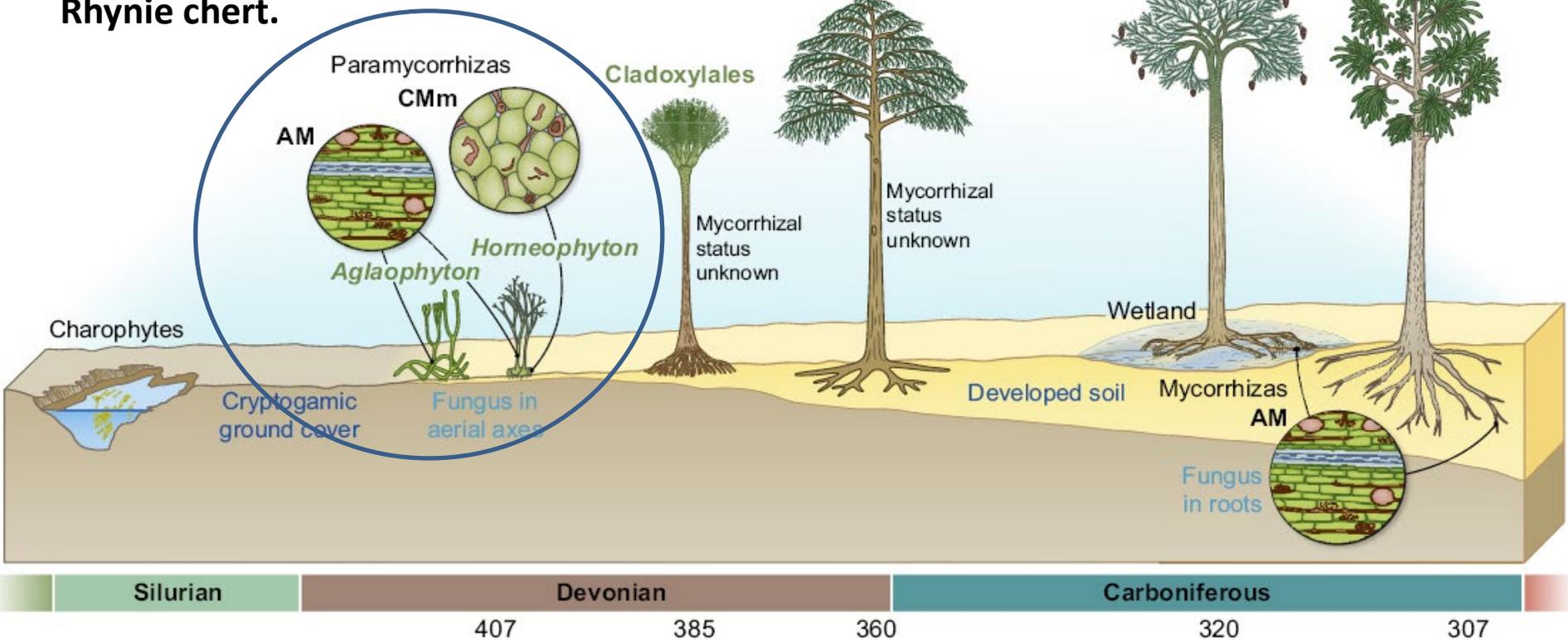
Origem da Simbiose e Evolução

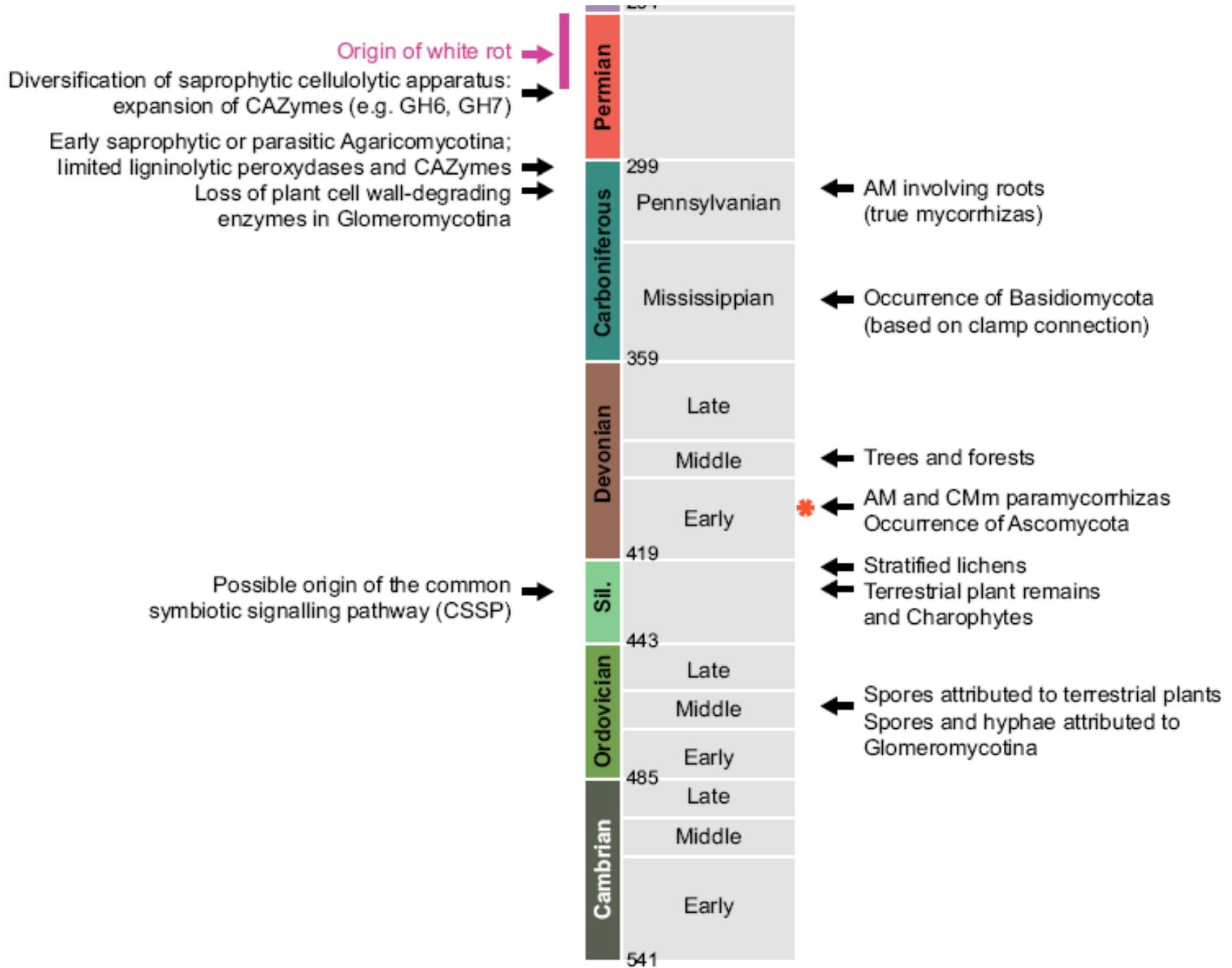


Origem da Simbiose e Evolução



Rhynie chert.





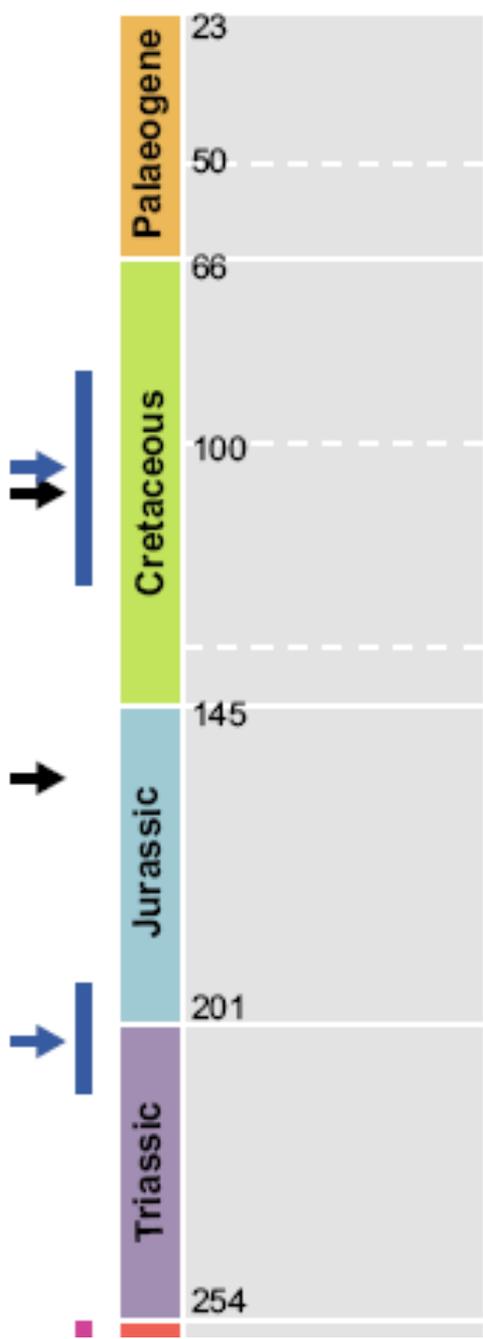
Antiquity of genomic traits related to mycorrhizal evolution based on molecular clock estimates

Origins of soil and litter decomposers:
loss of lignin oxidoreductases;
CAZymes expanded

Multiple origins of ectomycorrhizas and orchid,
mycorrhizas: maintenance of PCWDEs

Multiple origins of ectomycorrhizas:
losses of PCWDEs; diversification of MiSSPs

Multiple origins of brown rots



Oldest known fossils

- ← Ectomycorrhizas (approx. 50 Ma)
- ← Ericaceae (*Leucothoe*) (approx. 66 Ma)
- ← Angiosperms (approx. 145 Ma)
- ← Pinaceae (approx. 145 Ma)
- ← Podocarpaceae (approx. 201 Ma)

Uso Aplicado dos FM