

Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas

Application of arbuscular mycorrhiza in the recovery of impacted areas

Carlos M Colodete^{1,2*}, Leonardo B Dobbss^{1,3} e Alessandro C Ramos^{1,4}

1. Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia (LMAB), Universidade Vila Velha (UVV), Rua Comissário José Dantas de Melo 21, Boa Vista, Vila Velha, ES, Brasil; 2. Doutorado em Ecologia de Ecossistemas, pelo Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* (PPEE); 3. Professor Titular I, UVV, PPEE; 4. Professor Associado da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, Centro de Biociências e Biotecnologia (CBB), Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Microrganismos (LFBM).

*Autor para correspondência: carloscolodete@gmail.com

Resumo O objetivo desta presente revisão é demonstrar a aplicação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na recuperação de áreas impactadas. A baixa resiliência é uma característica marcante de um ecossistema degradado, pois a sua recuperação pode ser lenta, o que demanda a intervenção antrópica por meio de práticas de recuperação do solo e consequentemente o monitoramento da sua eficácia. Os FMAs representam um componente significativo nos ecossistemas, exercendo grande influência no crescimento e na adaptação das plantas aos estresses bióticos e abióticos do solo. Variados estudos têm demonstrado sua importância como agentes recuperadores e biocontroladores, reduzindo a severidade, além de promover a melhoria na agregação do solo e na estruturação e sucessão vegetal, ficando evidente o seu potencial biorrecuperador e fitoextração de elementos-traço. Propomos esquematicamente, modelos sumarizados sobre a importância dos FMAs no estabelecimento da biocenose e ambientes impactados e da colonização micorrízica arbuscular com suas principais estruturas. Um aspecto de grande interesse é o desenvolvimento de tecnologias para o emprego de semeadura direta de espécies de reflorestamento, através da dupla inoculação com FMAs e bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN). É sugerido que para o emprego dos FMAs no reflorestamento com espécies nativas, devem-se selecionar fungos mais generalistas em sua relação simbiótica. Fungos com ampla eficiência simbiótica têm maior potencial reabilitador, pois colonizam e têm eficiência em vários hospedeiros, facilitando a diversidade e sucessão vegetal na área.

Palavras-chaves: FMAs, biocontroladores, biorrecuperador, reflorestamento e fitoextração.

Abstract The objective of this review is to demonstrate the application of mycorrhizal fungi (AMF) on the recovery of impacted areas.

The low resilience is a hallmark of a degraded ecosystem, as their recovery may be slow, which requires the human intervention through land reclamation practices and therefore the monitoring of their effectiveness. AMF represent a significant component ecosystems, exerting great influence on the growth and adaptation of plants to biotic and abiotic stresses soil. Various studies have demonstrated its importance as biocontrol agents and scavengers, reducing the severity, and promote improved soil aggregation and structure and plant succession, making evident its potential and biorrecuperador phytoextraction of trace elements. Schematically summarized models suggest the importance of AMF in the establishment of the biocenosis and impacted environments and arbuscular mycorrhizal colonization with its main structures. One aspect of great interest is the development of technologies for the use of direct seeding of reforestation species by dual inoculation with mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria (BFN). It is suggested that the employment of AMF in reforestation with native species should be selected more generalist fungi in their symbiotic relationship. Symbiotic fungi with wide efficiency have greater rehabilitative potential because colonize and have efficiency in various hosts, facilitating diversity and plant succession in the area.

Keywords: AMF, biocontrol, biorrecuperador, reforestation and phytoextraction.

Introdução

Entende-se por áreas degradadas toda região que têm suas características naturais alteradas negativamente, comprometendo

os processos físicos, químicos e biológicos do solo (Zuquette *et al.* 2013). Estas alterações podem ocorrer tanto nos ecossistemas naturais como nos agroecossistemas, sendo resultantes, na maioria das vezes, de ações antrópicas indevidas (Zuquette *et al.* 2013). Estas incluem a remoção ou substituição da vegetação, a perda da camada superior do solo, da matéria orgânica (MO) do solo, da biodiversidade, da atividade da biota e da própria fertilidade do solo (Foley *et al.* 2005). Sendo assim, ações de recuperação com a adequação das condições físico-químicas do solo à introdução sustentável de plantas garantem o retorno de processos fundamentais ao funcionamento do novo ecossistema e sua estabilização, principalmente relacionado ao ciclo do carbono (C) e do nitrogênio (N). A revegetação do solo garante a proteção e a sua recuperação por meio da alocação e incorporação dos nutrientes, criando um novo habitat para microrganismos do solo, importantes para a formação e manutenção de comunidades de plantas (Janos 1980, Sieverding 1991).

Entre os membros mais influentes da microbiota do solo, auxiliando os processos de recuperação das áreas degradadas, encontram-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) que representam um componente significativo nos ecossistemas, pois exercem grande influência no crescimento e na adaptação das plantas aos estresses bióticos e abióticos do solo (Smith e Read 2008, Ramos *et al.* 2011). A associação entre FMAs e raízes de plantas está presente na maioria das plantas superiores formando as micorrizas (Barea *et al.* 2008, 2011). Estes fungos exercem efeitos marcantes sobre as plantas através da melhoria nutricional (Harrison 2005, Ramos *et al.* 2008a), especialmente quanto ao fósforo (P), da tolerância a estresse abiótico, do favorecimento das relações hídricas, dos efeitos fisiológicos e favorecimento de processos reabilitadores como o estabelecimento da vegetação, o aumento da produção de material orgânico, o aumento do acúmulo de nutrientes na fitomassa, o aumento da produção de raízes, a maior proteção ao solo (estabilização), a melhoria das relações tróficas, o favorecimento indireto do fluxo hídrico (erosão), o estímulo da transformação e ciclagem dos nutrientes e o favorecimento da estruturação e sucessão vegetal (Smith e Read 2008, Wu *et al.* 2009, Porras-Soriano *et al.* 2009). Estudos realizados nas mais diversas situações de degradação (solos agrícolas, áreas desmatadas, áreas mineradas, solos contaminados por metais e produtos químicos) têm demonstrado importância e o potencial das micorrizas como agentes recuperadores de áreas impactadas (Bi *et al.* 2005, Zuquette *et al.* 2013).

Neste trabalho, abordamos variados benefícios dos FMAs em plantas (biofertilizadora/biorreguladora/biocontroladora), especialmente na recuperação de solos degradados. Adicionalmente, relacionamos os efeitos da inoculação em solos com diferentes tipos de degradação. Aqui propomos de forma esquemática, modelos sumarizados sobre a importância dos FMAs no estabelecimento da biocenose e biorrecuperação ambiental e a colonização micorrízica arbuscular com suas principais estruturas evidenciadas. Por fim, exemplificamos pesquisas nacionais de

grande relevância, sobre os efeitos destes fungos em espécies arbóreas de interesse para recuperação ambiental.

Micorrizas arbusculares na recuperação de solos impactados

Alterações degenerativas impostas sobre os ecossistemas, como mudanças na distribuição da vegetação através da substituição ou eliminação, modificações que reduzem a qualidade do solo, resultante tanto de ações antrópicas quanto de processos naturais como inundações, deslizamento de terras e erosão do solo, alterações causadas pelo homem como queimadas, desmatamentos, atividade mineradora, elementos-traço, são muitas vezes, acompanhadas por perdas das propriedades físico-químicas e biológicas do solo, disponibilidade de nutrientes, teor de MO, atividade microbiana (Francis e Thornes 1990, Zuquette *et al.* 2013), particularmente aos FMAs (Requena *et al.* 2001). No entanto, têm-se evidenciando a alta capacidade de adaptação e distribuição desse grupo de fungos às condições adversas, conforme (Tabela 1).

Pesquisas sobre o impacto dos FMAs na composição da comunidade vegetal, concluíram que a diversidade e a atividade destes fungos representam um mecanismo chave ao funcionamento dos ecossistemas (Kennedy *et al.* 2007). Ambientes degradados determinam os benefícios das micorrizas ao crescimento vegetal e revegetação destas áreas, o que inclui: o baixo nível de nutrientes e água no solo, aliado ao alto requerimento externo de nutrientes pela vegetação pioneira a serem estabelecidas nestes ambientes, condições ambientais estressantes em função do ambiente desfavorável ao crescimento vegetal e presença de fatores tóxicos, onde a simbiose atua na amenização do estresse abiótico, e interações biológicas e micorrizosfera que envolve a presença de agentes sinergistas, antagonistas e patógenos, onde a simbiose pode reduzir os danos de patógenos e parasitas (Zuquette *et al.* 2013).

Tabela 1 Distribuição dos FMAs nos diferentes sistemas impactados ou em recuperação.

Ecosistemas degradados/Recuperação	Ocorrência/gêneros	Referências
Extração de argila	<i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Sclerocystis</i> , <i>Archaeospora</i> e <i>Entrophospora</i>	Batista <i>et al.</i> (2008)
Pastagens degradadas	<i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Entrophospora</i> e <i>Archaeospora</i>	Leal (2005)
Desmatamento	<i>Acaulospora</i> , <i>Entrophospora</i> , <i>Gigaspora</i> , <i>Glomus</i> e <i>Scutellospora</i>	Moreira-Souza e Cardoso (2002); Moreira-Souza <i>et al.</i> (2004)
Mineração de cobre	<i>Glomus</i> , <i>Paraglomus</i> , <i>Entrophospora</i> e <i>Acaulospora</i>	Silva <i>et al.</i> (2005)
Contaminação com elementos-traço	<i>Acaulospora</i> , <i>Entrophospora</i> , <i>Glomus</i> , <i>Gigaspora</i> , <i>Scutellospora</i> e <i>Paraglomus</i>	Klauber-Filho <i>et al.</i> (2002)
Mineração de bauxita	<i>Gigaspora</i> , <i>Paraglomus</i> , <i>Entrophospora</i> e <i>Glomus</i>	Melloni <i>et al.</i> (2003)

Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de solos impactados

A aplicação das micorrizas arbusculares (MAs) na recuperação de solos impactados concentram-se no efeito da degradação, na população micorrízica e na reintrodução de propágulos selecionados e na busca de espécies nativas adaptadas às condições de degradação. Como apresentado na (Tabela 2), várias pesquisas têm demonstrado os benefícios proporcionados através da simbiose micorrízica (Figura 1B) com consequente crescimento e no acúmulo de nutrientes em espécies com elevado grau de micotrofia, por exemplo, aquelas que se beneficiam com o fungo para absorção de nutrientes, além de exercer papel fundamental na agregação do solo, no incremento de nutrientes na fitomassa, estimulando a cadeia trófica no ecossistema, e na estruturação e sucessão vegetal, ficando evidente o potencial biorrecuperador destes fungos (Figura 1A).

Ecossistemas impactados representam ambientes desfavoráveis para o crescimento vegetal, sejam pelas deficiências nutricionais ou pela presença de fatores tóxicos como os metais pesados (elementos-traço) ou resíduos orgânicos tóxicos. As MAs podem melhorar o crescimento das plantas nessas situações como no caso do excesso de metais pesados no solo. Isto foi demonstrado por Klauberg-Filho (1999), que avaliou a eficiência simbiótica de diferentes isolados MAs promovendo o crescimento da parte aérea da gramínea *Panicum maximum* – Chase (1944) em

relação a um tratamento não inoculado e observou que a inoculação de *Glomus clarum* - Gerdemann e Trappe (1974) e *Scutellospora fulgida* - Morton e Benny (1990), retirados da área contaminada com elementos-traço, apresentaram maior eficiência, aumentando a produção de matéria seca em 47% e 31% respectivamente.

Outro aspecto de interesse no uso de FMAs em áreas degradadas trata dos efeitos dos FMAs no crescimento de espécies arbóreas. Como exemplificado na (Tabela 3), vários estudos realizados no Brasil demonstram os benefícios da inoculação de FMAs para estas espécies usadas na recuperação de solos (incluindo nativas, exóticas e leguminosas), na produção de mudas em viveiros e também na ampliação de mudas micorrizadas para recomposição das matas ciliares. Um número elevado de espécies arbóreas já foi estudado e, conforme apresentado em Siqueira *et al.* (2007), cerca de 500 espécies já foram avaliadas em relação à importância dos FMAs no estabelecimento de espécies florestais nativas de interesse para a recuperação ambiental.

Um aspecto de grande interesse é o desenvolvimento de tecnologia para o emprego de semeadura direta de espécies de reflorestamento, conforme realizado por Flores-Aylas *et al.* (2003) os quais avaliaram os efeitos da adubação fosfatada e inoculação com *Glomus entunicatum* - Gerdemann e Trappe (1974) no crescimento inicial de seis espécies arbóreas pioneiras (*Senna macranthera* (fedegoso) - H.S. Irwin e Barneby (1991), *Guazuma ulmifolia* (mutamba) - Brandão e Gavilandes (1992), *Senna multijuga* (cássia-verrugosa) - H.S. Irwin e Barneby, *Solanum granuloso-leprosum*

Tabela 2 Efeitos da inoculação micorrízica arbuscular em plantas com diferentes tipos de degradação.

Tipo de solo	MAs testados	Plantas hospedeiras	Efeitos da inoculação	Referência
Solos contaminados com elementos-traço	<i>A.morrowiae</i> , <i>Glomus albida</i> e <i>G.clarum</i>	<i>Brachiaria decumbens</i>	Efeito amenizante da inoculação com redução da transferência de metais para a parte aérea das plantas	Soares e Siqueira (2008)
Solos salinos	<i>G. clarum</i> , <i>G. intraradices</i>	Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>)	Plantas micorrizadas apresentaram maior crescimento com consequente aumento na absorção de nutrientes quando comparadas com plantas não inoculadas	Tavares (2007)
Solo de baixa fertilidade	<i>G. entunicatum</i> e várias MAs isolados de mineração bauxita	Aroeira, trema, açoita-cavalo e sesbânia	MAs oriundos da mineração foram eficientes no crescimento das espécies	Santos <i>et al.</i> (2008)
Estéril da extração de argila	<i>G. clarum</i> como MA nativa	Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>)	A inoculação de MAs nativos juntamente com rizóbio favoreceu o crescimento do vegetal	Pralon e Martins (2001)
Solo degradado pela extração de argila (casa de vegetação e campo)	<i>G. macrocarpum</i> , <i>G. entunicatum</i> e <i>Entrophospora colombiana</i>	<i>Acacia mangium</i> , <i>Sesbania virgata</i> e <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Mudas de acácia e sesbânia apresentaram maior altura, diâmetro do colo e matéria seca da parte aérea em relação às plantas não inoculadas. As espécies em plantio na cava de extração de argila apresentaram rápido crescimento e elevada sobrevivência (>80%) devido à inoculação	Schiavo (2005)

(gravitinga) - Mentz e Oliveira (1993), *Schinus terebenthifolius* (aroeira) - Queires e Rodrigues (1998) e *Trema micrantha* (trema) – Kageyama (1990) em semeadura mista e direta ao solo, sem passar pela fase de mudas em viveiro. O crescimento das espécies foi favorecido pelos dois fatores, sendo os efeitos do FMAs foram mais acentuados em condições de baixo P disponível. A elevação do nível desse nutriente no solo favoreceu a dominância de certas espécies como gravitinha, enquanto a micorrização em P moderado

garantiu um crescimento mais equilibrado entre as espécies.

Solos degradados geralmente apresentam severas limitações nutricionais como de N e P e, como as MAs aumentam a absorção destes nutrientes, esta simbiose contribui para a melhora da fertilidade do solo e melhoria do ambiente edáfico para o estabelecimento de novas espécies no local (Souza e Silva 1996). Se os efeitos das MAs na absorção de N pelas plantas forem tão generalizados quanto aqueles verificados para o P, o papel das MAs na funcionalidade de ambientes degradados será maior do que tem sido considerado atualmente. Os primeiros estudos utilizando espécies leguminosas nativas de rápido crescimento revelaram que a dupla inoculação com FMAs e bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN) é uma estratégia importante para a revegetação de áreas degradadas, proporcionando melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Franco *et al.* 1991, Mendes-Filho 2004).

Pralon e Martins (2001) estudaram os efeitos da inoculação de *G. clarum* e FMAs nativos (juntamente com rizóbio) em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) - Mentz e Oliveira (1993) e verificaram maior taxa de colonização micorrízica nas mudas inoculadas com FMAs nativos frente ao *G. clarum*, demonstrando a maior adaptabilidade do inóculo nativo às condições do substrato, que são determinantes no estabelecimento da simbiose. Além disso, os autores verificaram que mudas inoculadas com os microsimbiontes apresentaram aumentos significativos no peso da matéria seca e nos teores de N e P em relação ao tratamento-controle sem inoculação. Em vista de significância dos FMAs na absorção de nutrientes e também na indução de alterações fisiológicas na planta, espera-se que as MAs possam atenuar os efeitos negativos da salinidade. Um estudo realizado por Tavares (2007) no qual se avaliou o efeito da inoculação de uma mistura de FMAs sobre o crescimento do sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) em solo artificialmente salinizado com a adição de cloreto de sódio (NaCl), obtendo-se condutividade elétrica variando de 0,7 a 4,2 m⁻¹. Constatou-se que as plantas micorrizadas apresentaram menor sensibilidade ao estresse salino com consequente aumento na absorção de vários nutrientes, principalmente o fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), resultando em uma maior proteção da planta contra os efeitos da salinidade exercidos pelo aumento da concentração de Na nos tecidos.

Em programas visando ao emprego de FMAs na revegetação é necessário avaliar as espécies vegetais de interesse, os isolados fúngicos e suas respectivas combinações. Os efeitos de diferentes fungos, em diferentes hospedeiros, têm sido bastante estudados em um exemplo do tipo de resposta, mostrado por Pouyú-Rojas *et al.* (2006), que a responsividade das plantas hospedeiras depende do comportamento do fungo em relação a essas. Segundo os mesmos autores, avaliando comportamento de 16 espécies arbóreas combinadas com 8 isolados fúngicos mais duas populações de FMAs nativos, foi possível categorizar as plantas quanto ao índice de promiscuidade micotrófica (IPMp) (Figura 2): (a) *promiscuas* (generalistas): estabelecem relação mutualista com a maioria (90%) dos fungos estudados, (b)

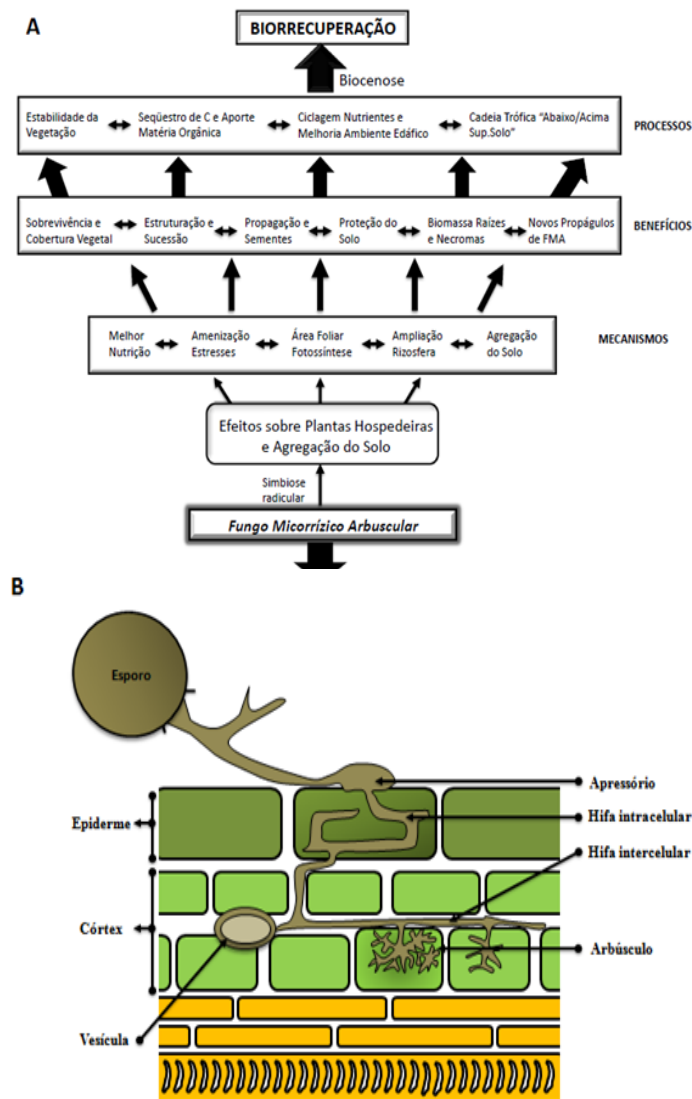


Figura 1 (A) Esquema sumarizado da importância dos FMAs no estabelecimento da biocenose e biorrecuperação ambiental: processos, benefícios e mecanismos (Adaptado de Siqueira *et al.* 2007). (B) Esquema da colonização e desenvolvimento micorrízico arbuscular e suas principais estruturas (macro e microsimbionte). A troca de sinais entre os simbiontes inicia-se antes do contato físico, com a exsudação pelas raízes de certos compostos capazes de estimular a ramificação das hifas esporofíticas dos FMAs. Essas hifas, ao entrarem em contato com a superfície das raízes, se diferenciam em apressórios, e penetram através da epiderme. Uma vez no interior das raízes, o fungo pode crescer tanto inter quanto intracelularmente no tecido cortical radicular, não invadindo a região meristemática e o tecido vascular. Em certas células, hifas intracelulares se diferenciam em arbuscúlos, responsáveis pelos processos de trocas metabólitos/nutrientes entre os simbiontes. O padrão de colonização depende da espécie fúngica envolvida, diferindo principalmente na formação de vesículas, as quais são formadas por alguns gêneros.

Tabela 3 Pesquisas nacionais sobre efeitos dos FMAs em espécies arbóreas de interesse para recuperação ambiental.

Assunto	Planta-fungo	Resultado da pesquisa	Referência
Eficiência de FMAs isolados de áreas de mineração de bauxita (casa de vegetação)	Quatro espécies vegetais inoculadas com vários fungos isolados dessas áreas	A maioria dos FMAs beneficiaram o crescimento das plantas. A variação dependente da combinação fungo-planta para crescimento e colonização micorrízica	Santos <i>et al.</i> 2008
Crescimento de espécies em estéril de mineração de bauxita (casa de vegetação)	<i>Cedrella fissilis</i> , <i>Anadenanthera peregrina</i> inoculadas com FMAs	<i>Cedrella fissilis</i> foi o mais responsivo que a <i>Anadenanthera peregrina</i> e não houve efeito do tipo de substrato na ausência de FMAs	Tódola e Borges 2000
Dupla inoculação de rizóbio-FMAs em leguminosas do semiárido a campo	Quatro espécies inoculadas com mistura de FMAs	Incremento no crescimento e conteúdo de N e favorecimento do crescimento das espécies intercalares não leguminosas	Scotti e Corrêa (2004)
Crescimento e colonização micorrízica de espécies de Mata Atlântica (casa de vegetação)	fungos nativos	Espécies de início da sucessão ecológica apresentam maior resposta e colonização micorrízica, sendo inversa ao tamanho da semente	Zangaro <i>et al.</i> (2003; 2002; 2000)
Dependência e responsividade (casa de vegetação)	<i>Glomus entunicatum</i>	A maior das espécies foi MA-dependente, sendo que o teor de P no solo inibe a colonização, a resposta à inoculação e a dependência micorrízica das plantas	Siqueira e Saggin-Júnior (2001)

intermediários: com índice de promiscuidade entre 50% e 75% (maior número de espécies nessa categoria), (c) *restritivas*: com índice de promiscuidade entre 25% e 50%, (d) *muito restritivas*: espécies com elevada seletividade simbiotrófica.

Do mesmo modo, os fungos foram classificados quanto ao índice de amplitude da eficiência simbiótica (IAE_f), ou seja, a capacidade de estimular o crescimento de várias espécies hospedeiras (Figura 3). Neste índice foram encontrados fungos de eficiência *ampla* (generalista) (IES >75%), *intermediários* (50%

a 75%), *restrita* (25% a 50%) e *muito restrita* (<25%). *G. clarum*, *G. entunicatum* e *Entrophospora colombiana* - Schüßler *et al.* (2001) comportaram-se como generalistas, enquanto *Acaulospora scrobiculata* - Gerdemann e Trappe (1974) como muito restritiva.

Portanto, esses resultados sugerem que para o emprego dos FMAs no reflorestamento com espécies nativas, devem-se selecionar fungos mais generalistas em sua relação simbiótica. Fungos com ampla eficiência simbiótica têm maior potencial reabilitador, pois colonizam e têm eficiência em vários hospedeiros, facilitando a

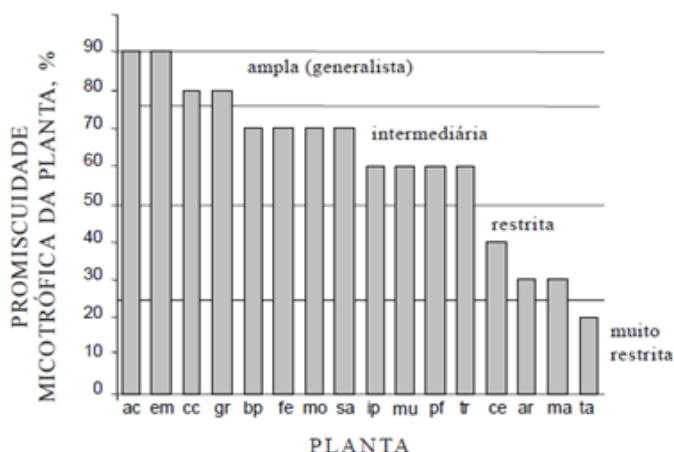


Figura 2 Índice de promiscuidade micotrófica (IPMp) das diferentes espécies vegetais. ac-açoita-cavalo; em-emaúba; cc-cássia-carnaval; gr-gravitinga; bp-bico-de-pato; fe-fedegoso; mo-moreira; sa-sábila; ip-ipê amarelo; mu-mutamba; pf-pau-de-ferro; tr-trema; ce-cedro; ar-aroerinha; ma-maricá; ta-tamboril (Adaptado de Pouyú-Rojas et al. 2006).

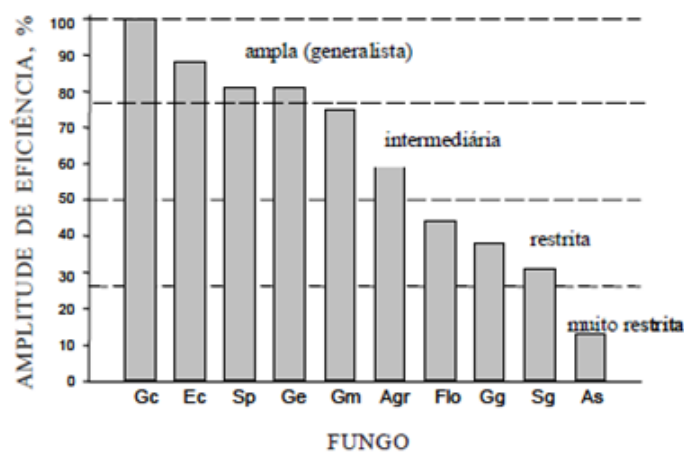


Figura 3 Índice de amplitude de eficiência dos fungos (IAEf): Gc-G. clarum, Ec-E. colombiana, Sp-S. pellucida, Ge-G. entunicatum, Gm-G. margarita, Agr-Espécies de agrossistema, Flo-Espécies de floresta, Gg-G. gigantea, Sg-S. gregaria, As-A. scrobiculata (Adaptado de Pouyú-Rojas et al. 2006).

diversidade e sucessão vegetal na área. Do lado do hospedeiro, devem-se evitar plantas muito seletivas, como o cedro, e dar preferência às mais promíscuas, como o açoita-cavalo e a embaúba, conforme revelado no estudo de Pouyú-Rojas *et al.* (2006).

Considerações finais:

Pesquisas sobre os FMAs em ecossistemas impactados têm proporcionado grande interesse atualmente, e avanços significativos aconteceram no conhecimento do papel biocontrolador destes fungos em diversas situações de solos degradados e seu potencial de aplicação na recuperação de áreas degradadas. Além disso, estes fungos têm ocorrência generalizada mesmo em ambientes com avançado grau de degradação e vários aspectos do seu ciclo de vida são muito sensíveis às interferências no ecossistema que levam à degradação do solo. Sendo assim, são importantes sensores ambientais e, conseqüentemente, têm grande importância no monitoramento destas áreas. Adicionalmente, a seleção de isolados de FMAs destes ambientes com funções benéficas às plantas hospedeiras, pode contribuir para o estabelecimento da vegetação e recuperação de áreas impactadas.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia (LMAB) da Universidade Vila Velha (UVV) pelo apoio à pesquisa e por disponibilizar suas estruturas e equipamentos para desenvolvimento da pesquisa. Este trabalho foi suportado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) (Processo#54687985/2011) e (Edital: 001/2014), bolsa de Doutorado do discente Carlos Moacir Colodete. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo#475436/2010-5 // Processo#312399/2013-8 // Processo#483518/2013) e a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) - Projeto Biomas (Subprojeto-21).

Referências

Barea JM (2011) Investigaciones sobre micorrizas en España: pasado, presente y futuro. In: Megías M, Rivilla R, Mateos P, León M, Delgado MJ, González E, Soto MJ, Rodelas B, Bedmar EJ (ed) **Fundamentos aplicaciones agroambientales de las interacciones beneficiosas planta-microorganismo** Sefin. Inpress 14: 55-98.
Barea JM, Ferrol N, Azcón-Aguilar C, Azcón R (2008) Mycorrhizal symbioses. Series. In: White, P.J., Hammond, J.P. (ed) **The Ecophysiology of**

Plant-Phosphorus Interactions. Plant Ecophysiology 18: 143-163.
Batista QR, Freitas MSM, Martins MA, Silva CF (2008) Bioqualidade de área degradada pela extração de argila revegetada com *Eucalyptus spp* e Sabiá. **Revista da Caatinga** 21: 169-178.
Bi YL, Wu FY, Wu YK (2005) Application of arbuscular mycorrhizal in ecological restoration of areas affected by mining in China. **Acta Ecologica Sinica** 25: 2068-2073.
Brandão M, Gavilanes ML (1992) Espécies arbóreas padronizadoras do Cerrado mineiro e sua distribuição no Estado. **Informe Agropecuário** 16: 173-176.
Chase A (1944) Grasses of Brazil. **Agricultural American** 4: 123-126.
Flores-Ayala WW, Saggin-Júnior OJ, Siqueira JO, Davide AC (2003) Efeito de *Glomus entomycatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 257-266.
Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz Ja, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK (2005) Global consequences of land use. **Science** 309: 570-574.
Francis CF, Thornes JB (1990) Matorral: erosion and reclamation. In: Albaladejo J, Stocking MA, Díaz E (ed) **Soil Degradation and Rehabilitation in Mediterranean Environmental Conditions** Murcia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pp 67.
Franco AA, Campos neto D, Cunha CO, Campelho EFC, Monteiro EMS, Santos CJF, Fontes AM, Faria SM (1991) Revegetação de solos degradados. In: **Workshop sobre recuperação de áreas degradadas**. Itaguaí. UFRRJ/Departamento de Ciências Ambientais 2: 133-157.
Gerdemann JW, Trappe JM (1974) The Endogonaceae in the Pacific Northwest. **Mycology Memoirs** 5: 1-76.
Harrison MJ (2005) Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Annual Review of Microbiology** 59: 19-42.
Janos DP (1980) Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae Affect Lowland Tropical Rain Forest Plant Growth. **Ecology** 61: 151-162.
Kageyama PY (1990) Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: **Congresso Florestal Brasileiro**, Campos do Jordão. Anais, Sociedade Brasileira de Silvicultura 45: 109-113.
Kennedy BK, Steffen KK, Kaerberlein M (2007) Ruminations on dietary restriction and aging. **Cell Molecules in Life Science** 64: 1323-1328.
Klauber-Filho O (1999) **Ecologia e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em solo poluído com metais pesados**. Tese de Doutorado. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 161p.
Klauber-Filho O, Siqueira JO, Moreira FMS (2002) Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área poluída com metais pesados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 26: 125-134.
Leal PL (2005) **Fungos micorrízicos arbusculares isolados em culturas armadilhas de solos sob diferentes sistemas de uso na Amazônia**. Dissertação de Mestrado, Lavras. Universidade Federal de Lavras, 65p.
Melloni R, Siqueira JO, Moreira FMS (2003) Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 267-276.
Mendes-Filho PF (2004) **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. Tese de Doutorado. Piracicaba. Esalq. 89p.
Mentz LA, Oliveira PL (1993) *Solanum* (Solanaceae) na Região Sul do Brasil. Pesquisas, Botânica, n. 54. Instituto Anchieta de Pesquisas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 3: 313-327.
Moreira-Souza M, Cardoso EJBN (2002) Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 26: 905-912.
Moreira-Souza M, Trufem SFB, Costa-Gomes SM, Cardoso EJBN (2004) Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia*

- (Bert.) *Mycorrhiza* 13: 211-215.
- Morton JB, Benny GL (1990) Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes). A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471-491.
- Porrás-Soriano A, Soriano-Martin ML, Porrás-Piedra A, Azcon R (2009) Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of Plant Physiology* 166: 1350-1359.
- Pouyú-Rojas E, Siqueira JO, Santos JGD (2006) Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies tropicais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 30: 413-424.
- Pralon AZ, Martins MA (2001) Utilização do resíduo ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 25: 55-63.
- Queires LCS, Rodrigues LEA (1998) Quantificação das substâncias fenólicas totais em órgãos da aroeira *Schinus terebenthifolius* (Raddi). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 41: 247-253.
- Ramos AC, Façanha A, Palma LM, Okorokov IA, Cruz ZMA, Silva AG, Siqueira AF, Bertolazi AA, Canton GC, Melo J, Santos WO, Schimitberger VMB, Okorokova-Façanha AL (2011) An outlook on ion signaling and ionome of mycorrhizal symbiosis. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 23: 79-89.
- Ramos AC, Façanha A.R, Feijó JA (2008a) Ion dynamics during the polarized growth of arbuscular mycorrhizal fungi: from presymbiosis to symbiosis. In: Varma A, Hock B (ed) *Mycorrhiza* 33: 241-261.
- Requena N, Pérez-Solis E, Azcón-Aguilar C, Jeffries P, Barea JM (2001) Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Applied Environmental Microbiology* 67: 495-498.
- Santos JGD, Siqueira JO, Moreira FMS (2008) Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos de áreas de mineração de bauxita no crescimento inicial de espécies nativas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 32: 141-150.
- Schiavo JA, (2005) **Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis***. Tese de Doutorado, Campos dos Goytacazes, UENF, 117p.
- Schüßler A, Kluge M (2001) Geosiphon pyriforme, an endocytosymbiosis between fungus and cyanobacteria, and its meaning as a model system for arbuscular mycorrhizal research. In: Hock B (ed) *The Mycota*, v. 9. Fungal associations. Springer, Berlin Heidelberg New York, 33: 151-161.
- Scotti MR, Corrêa EJA (2004) Growth and litter decomposition of Woody species inoculated with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi in Semiarid Brazil. *Annals of Forest Science* 61: 87-95.
- Sieverding E (1991) **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management**, Technical Cooperation-Federal Republik of German, Eschborn 18: 53-63.
- Silva GA, Trufem SFB, Saggin-Júnior OJ, Maia LC (2005) Arbuscular mycorrhizal fungi in a semiarid copper mining area in Brazil. *Mycorrhiza* 15: 47-53.
- Siqueira JO, Saggin-Júnior OJ (2001) Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of Brazilian native woody species. *Mycorrhiza* 11: 245-255.
- Siqueira JO, Soares CRFS, Santos JGD, Schneider J, Carneiro MAC (2007) Micorrizas e a degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. *Tópicos em Ciências Solo* 5: 219-306.
- Smith SE, Read DJ (2008) *Mycorrhizal symbiosis*. 3 ed. Academic Press 6: 12-23.
- Soares CRFS, Siqueira JO. (2008) Mycorrhiza and phosphate protection of tropical Grass species against heavy metal toxicity in multi-contaminated soil. *Biology and Fertility of Soil* 44: 833-841.
- Souza FA, Silva EMR (1996) Micorrizas arbusculares na vegetação de áreas degradadas. In: Siqueira JO (ed) **Avanços em Fundamentos e Aplicação de Micorrizas**. Lavras, UFLA/DCS e DCF. 7: 255-290.
- Tavares RC (2007) **Efeito da inoculação com fungo micorrízico arbuscular e da adubação orgânica no desenvolvimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), sob estresse salino**. Dissertação de Mestrado, Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 67p.
- Tódola MR, Borges AC (2000) Growth and nutritional status of Brazilian Wood species *Cedrella fissilis* and *Anadenanthera peregrina* in bauxite spoil in to arbuscular mycorrhizal inoculation and substrate amendment. *Microbiology* 31: 257-265.
- Wu T, Ayres E, Li G, Bardgett RD, Wall DH, Garey JR (2009) Molecular profiling of soil animal diversity in natural ecosystems: Incongruence of molecular and morphological results. *Soil Biology e Biochemistry* 41: 849-857.
- Zangaro V, Nishizaki SMA, Domingos JCB, Nakano EM (2002) Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do rio itabi. Paraná. *Revista Cerne* 8: 77-87.
- Zangaro W, Nishidate FR, Domingos JVB, Nakano M (2003) Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil *Journal of Tropical Ecology* 19: 315-324.
- Zangaro W, Nishidate FR, Trufen SB (2000) Mycorrhizal dependency, inoculums potencial and habitat preference of native woody species in South Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 16: 605-622.
- Zuquette IV, Rodrigues VGS, Pejon OJ (2013) Recuperação de áreas degradadas. *Revista Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão* 13: 589-619.