

Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em uma formação vegetal de restinga: ecologia e potencial para micorriorremediação de hidrocarboneto do petróleo

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on a sandbank plant formation: ecology and potential for hydrocarbon oil mycorrhizoremediation

Ocimar Ferreira de Andrade^{*}
 Marianne da Silva Nunes^{**}
 Janaína Silvano Marinho Teixeira^{***}
 Manildo Marcião de Oliveira^{****}
 Ricardo Luis Louro Berbara^{*****}
 Victor Barbosa Saraiva^{*****}

As fontes contaminantes relacionadas à exploração, à produção, ao armazenamento, ao transporte, à distribuição e à destinação final de petróleo e seus derivados trazem riscos que ameaçam ambientes litorâneos frágeis, pouco estudados e que necessitam de atenção da comunidade científica. Por outro lado, mecanismos simbiotes fundamentais para a própria existência de inúmeras espécies vegetais e sua relação com solos contaminados permanecem desconhecidos. Não obstante serem identificadas diversas espécies de FMAs em comunidades de solos halófilos de restinga pode-se inferir seu potencial biorremediador por estudos realizados em outros tipos de solo, mas que relatam os mesmos gêneros de fungos como participantes dos processos

The sources of contamination related to the exploration, production, storage, transport, distribution and disposal of petroleum, and its products, carry risks that threaten fragile coastal environments, little studied and, thus, in need of attention from the scientific community. On the other hand, symbiotic mechanisms essential for the very existence of many plant species, and their relation to contaminated soils, remain unknown. Despite the identification of several species of AMF halophytes soil communities in sandbanks, one can infer their bioremediation potential from studies in other types of soil, which, however, report the same genera of fungi as participants in mycorrhizoremediation processes of polluted soil. This study focuses on the application of biotechnology using Arbuscular

^{*} Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), *campus* Cabo Frio, Cabo Frio/ RJ - Brasil. E-mail: ocimarferreira@gmail.com.

^{**} Graduanda em Licenciatura de Ciências da Natureza pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense). E-mail: marinunes08@gmail.com.

^{***} Graduanda em Licenciatura de Ciências da Natureza pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense). E-mail: janainasmt@yahoo.com.br.

^{****} Doutor em Biologia (Biotecnologia) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) *campus* Cabo Frio, Cabo Frio/ RJ - Brasil. E-mail: mmoliveira@iff.edu.br.

^{*****} Doutor em Biologia do Solo pela University Of Dundee, Grã-Bretanha. Professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Brasil (UFRRJ), Seropédica/RJ - Brasil. E-mail: berbara@ufrj.br.

^{*****} Doutor em Ciências (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense) *campus* Cabo Frio, Cabo Frio/RJ - Brasil. E-mail: vbsaraiva@gmail.com.

micorrizorremediadores de solos poluídos. Pretende-se, aqui, destacar a aplicação de biotecnologia utilizando Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) em solos impactados por diversos poluentes, entre eles os hidrocarbonetos de petróleo.

Mycorrhizal Fungi (AMF) in soils impacted by petroleum hydrocarbons.

Palavras-chave: Micorrizas. Fitorremediação. Micorrizorremediação. Biotecnologia.

Key words: Arbuscular. Phytoremediation. Mycorrhizoremediation. Biotechnology.

Introdução

Impactos ambientais em ecossistemas diversos, causados por resíduos industriais, inclusive em faixas litorâneas onde se situam as restingas, tornou-se motivo de grande preocupação em muitos países. Também as indústrias do setor de exploração de petróleo empreendem esforços para aprimoramento dos “processos de extração, beneficiamento, refino e distribuição” (PAULA; SOARES; SIQUEIRA, 2006). Tais esforços têm o objetivo de dispor adequadamente os descartes poluentes produzidos em seus processos de produção.

Na busca de soluções para eliminação completa dos resíduos tóxicos de descartes industriais, a biorremediação vem se apresentando como técnica que traz pouco risco à saúde humana e ao ambiente, mostrando ser relativamente barata (mesmo em pequena escala), possibilitando a destruição de vários contaminantes através da “atividade biológica natural”, eliminando-os completamente ou transformando-os em substâncias inócuas (VIDALLI, 2001; CASTRO et al., 2005; PAULA; SOARES; SIQUEIRA, 2006). Unindo a aceitação pública com a possibilidade de, na maioria das vezes, ser realizada *in situ*, a biorremediação torna-se uma opção cada vez mais estudada e ampliada. Às técnicas desse tipo, Silva (2009) denomina de “*Green Technologies*”, o que denota a sua credibilidade num contexto do que seja “ecologicamente correto”. Nesse cenário é que os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) se apresentam como objeto de pesquisa na área de biorremediação de solos.

Verifica-se o potencial de biorremediação de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) associados a raízes de plantas adaptadas a solos distróficos e adversos na literatura consultada. Porém, quando se trata de ambiente de restinga, a abordagem se restringe apenas à identificação da associação de FMAs e sua importância para o desenvolvimento das espécies vegetais desses ecossistemas (KOSKE, 1988; ALARCÓN; CUENCA, 2005; CORDAZZO ; STÜRMER, 2007; OLIVEIRA, 2009). Assim, fazem-se necessários estudos que avaliem o potencial de micorrizorremediação por FMAs em solo de restinga.

Relacionar a ação metabólica dos FMAs à degradação de substâncias químicas poluidoras tem sido objetivo de importantes pesquisas na última década

(CARNEIRO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002; CASTRO et al., 2005; CABELLO 2006; PAULA SOARES; SIQUEIRA, 2006; JACQUES et al., 2007; KAIMI et al., 2006; KHAN, 2006; NOGUEIRA, 2007; LAMEGO; VIDAL, 2007; SANTOS, 2007; CABRAL, 2010; CEOLA, 2010; TANG et al., 2010; KATHI; KHAN, 2011; RIVAS, 2012). Esses micro-organismos são considerados recursos microbiológicos para remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos do petróleo, entre outras aplicações (CABELLO, 2006; PAULA; SOARES; SIQUEIRA, 2006). O conhecimento diverso sobre o uso dessa tecnologia exige integração multidisciplinar para que o estudo de seu potencial biorremediador seja ampliado.

A associação simbiótica entre alguns tipos de fungos do solo e raízes da maioria de vegetais superiores é chamada de micorriza (BRUNDRETT, 1991). Segundo Souza (2006), o termo foi proposto pela primeira vez em 1885 pelo botânico alemão Albert Bernard Frank. Seu significado provém do grego “*mico*” (fungo) e “*riza*” (raízes). Mesmo conhecida 50 anos antes do botânico Frank, essa associação era considerada como parasítica pelos estudiosos da época em que ele especulou sobre a possível influência fúngica na nutrição e crescimento das plantas, afirmando que as raízes não eram injuriadas ou atacadas pelos fungos e que estes eram incapazes de causarem qualquer disfunção nos vegetais associados.

Em estudos de biorremediação, destacam-se as pesquisas com micorrizas arbusculares (MAs) por serem encontradas em inúmeros ambientes e espécies vegetais. Souza (2005) menciona que os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) possuem três formas de infecção das raízes: esporos, fragmentos de raízes micorrizadas e fragmentos de micélio (hifas extrarradicais), denominados de propágulos, propágulos infectivos ou propágulos fúngicos (SOUZA et al., 2003; SILVA; SIQUEIRA; SOARES, 2006; BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; BARTZ et al., 2008). Algumas espécies de FMAs utilizam todas as formas de propágulo (p.e. espécies das famílias *Glomeraceae* e *Acaulosporaceae*), porém *Gigasporaceae* tem nos esporos sua melhor fonte de inoculação, sendo esta a melhor forma de sobrevivência da espécie. Logo, nem todas as espécies de FMAs inoculam raízes da mesma forma, além de que o sucesso da simbiose depende de fatores tais como espécies envolvidas, tipos de substratos e número de propágulos (SOUZA, 2005; BARTZ et al., 2008).

Segundo Berbara e colaboradores (2006), são quatro as principais estruturas de promoção da simbiose micorrízica dos FMAs (arbúsculos, vesícula, hifas intrarradiculares e hifas extrarradiculares) e, delas, as mais estudadas são as hifas fúngicas intrarradiculares, devido à maior facilidade de observação e análise e aos mecanismos de transferência de nutrientes para a planta micorrizada. No entanto, são as hifas extrarradiculares que estimulam o aumento da produtividade do solo, agindo em harmonia com todas as funções químicas e biológicas ali presentes e, por isso, estão diretamente relacionadas com a qualidade do solo (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

As micorrizas formadas pelos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) são o

tipo de simbiose radicular mais comum, encontradas em cerca 80% das plantas vasculares (SMITH; READ, 1997). Os FMAs são encontrados numa grande variação de plantas em ecossistemas diversos no Brasil, e até 35 espécies deles podem ser encontradas em dunas costeiras (SIQUEIRA; LAMBAIS; STÜRMER, 2002).

FMAs são simbiotróficos obrigatórios, ou seja, dependem do vegetal simbiote para completar o seu ciclo de vida, de cujas raízes extraem nutrientes necessários ao seu desenvolvimento e reprodução (SIQUEIRA; LAMBAIS; STÜRMER, 2002; BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

Brundrett e colaboradores (1996) esclareceram que três componentes principais estão envolvidos na associação de micorrizas arbusculares com plantas simbiotes: as características do solo, o tipo de fungo e a planta com características ideais para a simbiose. Estabelecidas tais condições desenvolve-se a infecção por hifas originadas nos esporos dos FMAs que são atraídos por exsudados da raiz da planta, estabelecendo-se aí a micorriza (vesículas, arbúsculos e hifas internas e externas). A simbiose promove a absorção de nutrientes, principalmente o fósforo, além da zona dos pelos radiculares onde ocorre depleção de P inorgânico (Pi), conforme Berbara e colaboradores (2006) esquematizaram (Figura 1).

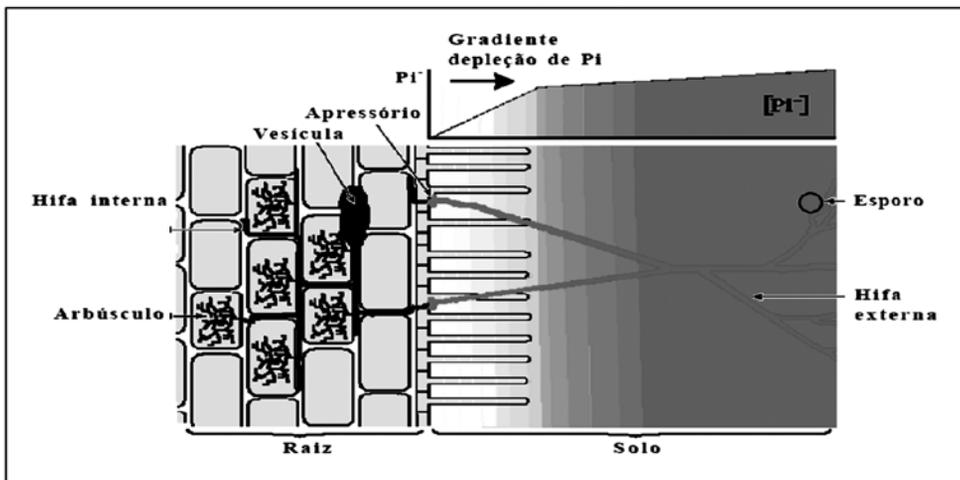


Figura 1 - Esquema ilustrativo da infecção de raiz absorvente por micorriza arbuscular onde se destaca a ampliação da área de absorção do P pelas hifas extrarradiculares.

Fonte: Esquema gentilmente cedido por Berbara e colaboradores (2006).

Segundo Berbara e colaboradores (2006), que detalharam os processos metabólicos envolvendo a transferência de nitrogênio e fósforo para as raízes pelos fungos micorrízicos e do carbono do vegetal para os fungos, a simbiose se estabelece pelo benefício mútuo (planta-fungo) que ocorre devido à presença das hifas inter e extrarradiculares. Estas se diferenciam em uma estrutura presente nas células do córtex

radicular similar a um haustório, excessivamente ramificado, os arbúsculos, onde ocorre a troca bidirecional de nutrientes entre os simbiosites. É nessa estrutura que a planta fornece ao fungo compostos orgânicos fixados via fotossíntese e recebe do fungo elementos minerais extraídos do solo. Todos os nutrientes (macro e micro) absorvidos por raízes o podem ser também por hifas de fungos micorrízicos. A maior eficiência das hifas extrarradiculares em absorver nutrientes do solo se deve a serem estruturas extremamente longas e finas, indo além da zona de depleção de nutriente em torno das raízes e aumentando a superfície de contato com o solo (BERBARA et al., 2006).

Descrevendo a sinalização molecular e a transdução de sinais na formação de MAs, Kiriachek et al. (2009) observaram que nas interações planta-microorganismo a percepção mútua ocorre antes do contato físico propriamente entre eles, envolvendo não apenas moléculas do exsudado de origem vegetal, mas também sinais moleculares de origem fúngica. Embora os mecanismos de comunicação fungo-planta sejam pouco estudados devido à dificuldade de cultivo de FMAs na ausência de plantas hospedeiras, sabe-se que o início da germinação dos esporos no solo não necessita de um sinal vegetal, já que os esporos podem germinar em água (PAULA; SIQUEIRA, 1990; HARRISON, 2005). Compostos voláteis exsudados pelas raízes podem estimular a germinação desses esporos, o que denota uma sensibilidade dos FMAs aos compostos presentes na rizosfera vegetal (BÉCARD; PICHÉ, 1989; NAIR; SAFIR; SIQUEIRA, 1989; KIRIACHEK et al., 2009). A busca de isolar o “fator de ramificação das hifas” (“Branching Factor”, BF) num esforço de identificação dos mecanismos envolvidos na germinação e infecção pelos FMAs constatou a presença de uma proteína codificada pelo gene MtENOD11¹ (KIRIACHEK et al., 2009).

Quanto ao processo de comunicação entre os simbiosites, observou-se que as plantas que apresentam maior concentração de compostos ativos nesse processo são as nutricionalmente deficientes em P, enquanto que as bem nutridas em P apresentam menor quantidade daqueles compostos. Ou seja, quanto maior quantidade de fósforo disponível na rizosfera do vegetal simbiote menos dependente do fungo ele se torna, o que influencia na sinalização da simbiose (KIRIACHEK et al., 2009; BÉCARD; PICHÉ, 1989).

A inibição da colonização de raízes mediante a alta concentração de Pi (fósforo inorgânico) no solo, o papel regulador de fito-hormônios (auxinas e citocininas) encontrados em maior concentração nas rizosferas de plantas colonizadas e o fato da formação de apressórios de FMAs ocorrer somente na presença de tecidos da raiz, não sendo observado em superfícies sintéticas, denotando um reconhecimento específico por células de raízes de plantas simbiosites, indicam o envolvimento de importantes mecanismos sinalizadores e estimulantes de MAs que necessitam ser melhores esclarecidos

¹ MtENOD11 é um gene que codifica uma proteína rica em hidroxiprolina, componente da matriz extracelular, cuja expressão é induzida durante o desenvolvimento de MAs. Mesmo que essa molécula não tenha sido ainda identificada, nem a sua essencialidade para o estabelecimento das MAs demonstrada, tal indução de expressão gênica é evidência direta da troca de sinais entre plantas e FMAs (KIRIACHEK et al., 2009).

(NUNES et al., 2008; KIRIACHEK et al., 2009; RAMOS et al., 2011).

Siqueira e colaboradores (2002) abordaram a formação de arbúsculos, destacando que eles promovem a “integração morfofisiológica, bioquímica e funcional” e o estabelecimento do processo mutualista, o que resulta no “micotrofismo”, que é a absorção de nutrientes pela planta através do fungo.

Quanto à reprodução dos FMAs, Berbara e colaboradores (2006) salientaram que não existem evidências comprovadas que indiquem que esse fungos se reproduzam sexualmente. Sugerem, então, maiores estudos para elucidação dos mecanismos de evolução dos mesmos, assim como sua forma de manter a diversidade genética. A multiplicação de FMAs de forma puramente assexuada estaria descartada por ser esta um obstáculo à evolução da espécie, e à conseqüente adaptação ao longo do tempo, devido ao acúmulo de mutações deletérias decorrentes da falta de variabilidade genética (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

Há dois tipos de crescimento no ciclo de vida dos FMAs: o crescimento assimbiótico, que é a germinação de propágulos no solo (esporos, hifas e micélio) na ausência de raízes e, na presença destas, o crescimento simbiótico, que é a colonização do córtex radicular garantindo a produção de novos propágulos (DURAZZINI, 2009).

Tem-se em conta que a rizosfera de uma planta micorrizada torna-a possuidora de maior tolerância a ambientes distróficos devido a uma nutrição mineral mais equilibrada promovida pelos FMAs (CABELLO, 2006; KHAN, 2006). Por isso, há o interesse científico em identificar e quantificar seu potencial de biodegradação de poluentes orgânicos como os hidrocarbonetos do petróleo.

Cabello (2006) afirmou que, teoricamente, os FMAs compensariam a redução do crescimento de raízes de plantas simbiontes em solos poluídos, já que tal crescimento torna-se reduzido em plantas não micorrizadas devido à toxicidade dos poluentes. Relatou, ainda, a presença no solo de diversas fontes de propágulos de algumas espécies de fungos bem adaptadas a ambientes adversos, como esporos, hifas e fragmento de raízes com estruturas arbusculares, possibilitando maior potencial biótico para iniciação de novas colônias.

Entre as ações desenvolvidas pelas micorrizas arbusculares destaca-se a ação “biocontroladora” que ameniza o estresse causado por fatores diversos como metais pesados e poluentes orgânicos (SIQUEIRA; LAMBAIS; STÜRMER, 2002). É essa característica que pode tornar os FMAs eficazes como coadjuvante na mitigação de impactos causados por possíveis derramamentos de petróleo e seus derivados em solos de restinga.

As hifas hialinas dos FMAs são cenocíticas, ou seja, não são septadas (quando septada indica envelhecimento do micélio) (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006; SOUZA, 2005). No entanto, a investigação de raízes em busca de infecção de MAs pode apresentar hifas septadas em meio ao micélio cenocítico dos FMAs, que podem não ser hifas envelhecidas desses fungos. Estudos em vegetação de ambientes

semiáridos têm relatado a presença de outro tipo de endomicorriza, cujas hifas são septadas e de coloração mais escuras. Os especialistas têm denominado esses fungos de “*Dark Septate Endophytes*” (DSE) ou fungos endofíticos septados escuros (DSEF) (PEREIRA, 2011) e os incluem no grupo dos Deuteromicetos (conidiais ou fungos imperfeitos) (JUMPPONEN; TRAPPE, 1998). Embora seu papel ecológico ainda seja pouco conhecido, estudos prévios têm relatado uma “co-colonização” de DSE e FMAs em raízes de plantas hospedeiras (JUMPPONEN; TRAPPE, 1998; GARCIA; MENDOZA; POMAR, 2012), porém os DSE também têm sido relatados em espécies de plantas não micorrízicas (REININGER; GRÜNIG; SIEBER, 2012). Embora os FMAs sejam cosmopolitas, os DSEs são particularmente encontrados em ambientes estressados (GARCIA; MENDOZA; POMAR, 2012; KNAPP; PINTYE; KOVÁCS, 2012). Reininger e colaboradores (2012) destacaram que espécies de DSE não podem ser diferenciadas com base na morfologia, mas por meio de marcadores moleculares genéticos da população.

Knapp e colaboradores (2012), investigando a colonização de plantas nativas e invasoras em áreas arenosas semiáridas nas estepes húngaras, concluíram que 14 grupos de DSE ali encontrados e identificados dominam 60% da colonização e que são similares aos anteriormente relatados em pastagens áridas da América do Norte, confirmando a hipótese de que tais grupos fúngicos compartilham ambientes semiáridos em uma escala global.

Santos et al. (2010), ao considerarem como “associação positiva” a simbiose entre DSE e vegetais, mencionaram que a metodologia para preparação de raízes para observação de FMAs também permite a observação de infecções por DSE, sugerindo ser apropriada a avaliação de ambas as infecções (DSE e FMAs). Entretanto, diferentemente dos FMAs, por não serem biotróficos obrigatórios, os DSEs apresentam facilidade de crescimento em laboratório devido ao seu desenvolvimento em meio de cultura independentemente da presença de raízes (PEREIRA, 2011).

Muitos pesquisadores realizaram pesquisas taxonômicas para classificação de FMAs. Gerdemann e Trappe, em 1974, foram os primeiros a proporem uma classificação em separado para os fungos formadores de micorrizas arbusculares (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). A discussão em torno de critérios metodológicos e parâmetros de classificação e nomenclatura ainda ocupam parte da literatura consultada.

Os primeiros estudos incluíam os FMAs no filo Zygomycota baseados apenas na morfologia dos mesmos. Porém estudos posteriores por análise filogenética das sequências de DNA da subunidade menor do gene ribossomal (SSUrDNA) (SCHÜßLER.; SCHWARZOTT.; WALKER, 2001; 2010) afastaram os FMAs daquele grupo e sugeriram a formação de um grupo monofilético (grupo de espécies derivadas de um ancestral comum). Dessa forma foi criado o filo **Glomeromycota** no qual estão incluídos todos os FMAs (SCHÜßLER.; SCHWARZOTT.; WALKER, 2001).

Goto e Maia (2006) alertaram para as inúmeras terminologias que cada pesquisador aplica à identificação dos esporos de FMAs segundo critérios próprios. Apontaram que as estruturas propagativas têm sido descritas com nomes diferentes. Esse estudo aponta que cada um dos filos de fungos tem um nome apropriado para seus esporos: **ascósporos** de Ascomycota, **basidiósporos** de Basidiomycota, **zygósporos** de Zygomycota. É com tais fundamentos que propõe um novo nome para os esporos do Filo Glomeromycota: **glomerósporos** (GOTO; MAIA, 2006).

Berbara e colaboradores (2006) apresentaram três gêneros como abrangentes da maioria das espécies de FMAs: *Glomus*, *Acaulospora* e *Scutellospora*, respectivamente com 104, 33 e 32 espécies das 197 descritas. Esses autores fazem uma ampla revisão taxonômica sobre o desenvolvimento da classificação dos FMAs e suas diversas mudanças, ampliando a divisão dos FMAs.

A classificação geral apresentada por Silva (2008) foi detalhada anteriormente por Berbara e colaboradores (2006), os quais apontaram a recente criação da ordem Diversisporales para incluir quatro famílias: Diversisporaceae (gênero *Diversispora*, com 3 espécies descritas); a Gigasporaceae (gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora*, onde são descritas 7 e 32 espécies respectivamente); a Pacisporaceae (gênero *Pacispora*, com 7 espécies descritas) e a Acaulosporaceae (gêneros *Acaulospora* e *Entrophospora* com 33 e 5 espécies descritas respectivamente). Além dessas, ali são descritas as demais ordens anteriormente aceitas e suas respectivas famílias e gêneros correspondentes: Glomerales, família Glomeraceae (gênero *Glomus* com 104 espécies); Archaeosporales, famílias Archaeosporaceae (gênero *Archaeospora*, com 3 espécies) e Geosiphonaceae (gênero *Geosiphon*, com 1 espécie) e, finalmente, a ordem Paraglomerales, família Paraglomeraceae (gênero *Paraglomus*, com 2 espécies). Essa relação totaliza 4 ordens, 8 famílias, 10 gêneros e 197 espécies descritas e classificadas, além de análise filogenética de sequência SSU rDNA, com base em resultados “morfológicos, citológicos e moleculares” (WALKER et al., 2004 apud BERBARA et al., 2006). Deve-se, no entanto, atentar com cuidado para: “a análise filogenética baseada em um só gene também deve ser analisada com cuidado, visto que a evolução de genes nem sempre segue o processo de especiação” (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). No caso de FMAs, é possível e desejada a análise de outros genes conforme apresentado nos estudos específicos. Com base em estudos recentes pode-se elaborar o diagrama apresentado na Figura 2.

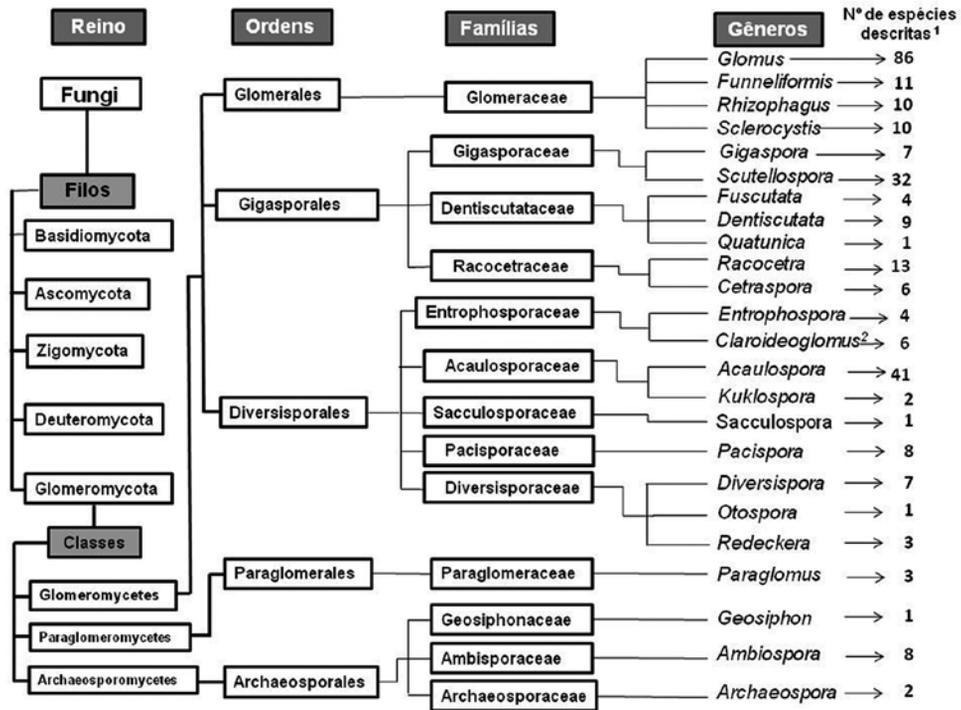


Figura 2 - Diagrama de classificação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).
(¹)Inclui sinónímias².

Fontes: Modificado de Schüßler e Walker (2010); Oehl et al. (2011).

Estudo recente de revisão das novas descobertas taxonômicas, baseado em estudos que realizaram análises moleculares sistematizando os diversos grupos de FMAs filogeneticamente, ampliou o número de classes (3), ordens (5), famílias (13), gêneros (31) e espécies (282) do filo Glomeromycota (SCHÜSSLER; WALKER, 2010; OEHL et al., 2011), denotando os constantes esforços que a comunidade científica mundial realiza para se chegar a um consenso na classificação dos FMAs.

Diferentes tipos de colonização radicular podem ser encontrados nas micorrizas arbusculares, os quais têm funções similares. As colonizações se distinguem morfológicamente em dois tipos: a Paris e a Arum (Figura 3). Esses termos advêm do fato de o primeiro tipo ter sido reconhecido há cerca de 100 anos na espécie vegetal *Paris quadrifolia* e o segundo, em *Arum maculatum* (DICKSON, 2004). Na colonização do tipo *Arum*, as hifas crescem intercelularmente, de maneira linear e longitudinal ao longo do espaço cortical, formando estruturas finas e muito ramificadas nas células – os

² Oehl et al. (2011) descrevem ainda 6 gêneros, cada um contendo 1 espécie descrita, além dos relacionados no diagrama acima: Glomeraceae: *Simiglomus*, *Septoglomus* e *Albahypha*; Archaeosporaceae: *Intraspora*; Entrophosporaceae: *Viscospora*; Diversisporaceae: *Tricispora*. 2- Schüßler e Walker (2010) descrevem o gênero *Claroideoglomus* na família Claroideoglomeraceae e ordem Glomerales; no diagrama acima, este gênero segue a classificação sugerida por Oehl (2011) que o insere na família Entrophosporaceae, ordem Diversisporales.

arbúsculos. No tipo *Paris*, hifas grossas enovelam-se intracelularmente, desenvolvendo hifas enroladas ou “coils” (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006). O mesmo fungo pode formar os diferentes tipos de colonização dependendo da anatomia das raízes de diferentes plantas hospedeiras (BRUNDRETT, 1996).

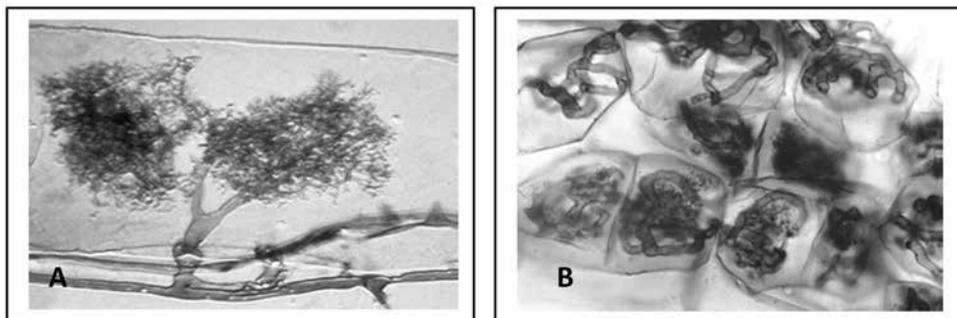


Figura 3 - Imagens de colonização dimórfica de FMAs. A- Colonização micorrízica tipo *Arum* onde as hifas se desenvolvem intercelularmente com aspecto linear; B- Colonização micorrízica tipo *Paris*, onde as hifas grossas se enovelam intracelularmente formando “coils”.

Fonte: Imagens autorizadas por Berbara et al. (2006).

Khade (2008) estudando morfotaxonomia de *Glomus rubiforme* e *Glomus pachycaulis*, espécies esporocárpicas de FMAs, através da análise de seus “clamidósporos”, respectivamente amarelos e marrons, detalhou as características taxonômicas de cada uma dessas espécies por seus esporocarpos.

Segundo Goto e Maia (2005), a maioria de FMAs esporocárpicos (termo que inclui espécies com esporos em grupos e espécies com estruturas mais complexas) não tem sua distribuição bem conhecida. Esse estudo afirma que entre as espécies esporocárpicas apenas duas pertencem ao gênero *Acaulospora*, enquanto todas as outras estão incluídas no gênero *Glomus*. Cinco espécies de *Glomus* presentes na Mata Atlântica e em áreas cultivadas no nordeste brasileiro foram identificadas por esses autores.

Goto, Costa e Maia (2009) alertaram para o cuidado que se deve ter nas observações para identificação de espécies de FMAs, como cor e tamanho de esporos, já que estes variam por fatores intrínsecos ou ambientais. Por isso, indivíduos de uma mesma espécie coletados em locais diferentes podem apresentar variação na cor e tamanho de seus esporos. Justifica-se então que não se deve utilizar essas características, exclusivamente, para classificação das espécies encontradas em determinado sítio.

Observa-se, pois, a importância de cuidados na investigação e classificação de fungos em pesquisas que pretendam encontrar, selecionar e classificar FMAs, devido à grande variedade e semelhança de aspectos taxonômicos de suas espécies.

Vegetais fitorremediadores e a micorriorremediação

Diversas plantas apresentam propriedades favoráveis à fitorremediação, tais como crescimento rápido, alta produção de biomassa, competitividade, vigor e tolerância à poluição e, por isso, podem ser usadas em ações de despoluição de solos (LAMEGO; VIDAL, 2007).

Lamego e Vidal (2007) descrevem diversos tipos de fitorremediação e relacionam processos fisiológicos de plantas a micro-organismos simbiotes, os quais podem ser empregados, dependendo da natureza química ou da propriedade do poluente. Entre esses processos observa-se a fitoestimulação que é descrita como uma estimulação da degradação de poluentes orgânicos por micro-organismos simbiotes (como as micorrizas) presentes na rizosfera de plantas. Estes, por sua vez, são estimulados pelos exudados do vegetal como fonte de carbono. A fitoestimulação tem sido utilizada em limpeza de ambientes contaminados por compostos orgânicos hidrofóbicos (como o petróleo e seus derivados), os quais não podem ser absorvidos pelas plantas (LAMEGO; VIDAL, 2007). As micorrizas presentes na rizosfera participam no processo de degradação dos hidrocarbonetos de petróleo e, conseqüentemente, no crescimento da planta, favorecendo a dissipação dos poluentes (KAIMI et al., 2006). Na fitoestimulação pode-se incluir a rizorremediação e a micorriorremediação por abrangerem relação simbiótica em rizosfera de vegetais fitorremediadores (KHAN, 2006).

A técnica de se utilizar fungos micorrízicos para biorremediação de solo contaminado por atividade antropogênica foi também denominada de "*Mycorrhizoremediation*" por Khan (2006), que relatou a importância do estudo das raízes de plantas e a diversidade da microbiota do solo e sua associação com bactérias, fungos e microfauna em seu papel na remediação biológica de solos contaminados. Destacou, ainda, a universalidade da presença de FMAs nas rizosferas de plantas e as qualidades desses fungos como biofertilizantes e biodegradadores em solos poluídos, sugerindo que mais estudos que esclareçam tais mecanismos sejam realizados.

A associação micorrízica se torna mais importante ainda em ambientes degradados e solos empobrecidos de minerais (DURAZZINI, 2009) como é o caso dos solos arenosos distróficos encontrados em restingas, sendo que estas são extremamente vulneráveis aos acidentes com exploração e transporte de petróleo e seus derivados que têm se intensificado mediante o aumento da pressão antrópica sobre seus ecossistemas.

Carneiro, Siqueira e Moreira (2002), estudando processos em fitoextração de metais pesados com diversas espécies vegetais, constataram que *Pffafia* sp é hiperacumuladora de cádmio (Cd) e zinco (Zn). Das 31 espécies vegetais analisadas nesse estudo de fitorremediação de cádmio e zinco, além de *Pffafia* sp, apenas 6 espécies (embora menos tolerantes) foram consideradas promissoras para revegetação de áreas contaminadas com esses metais pesados : *T. repens*, *E. mexicana*, *C. dactylon*, *Cyperus* sp,

A. strigosa e *C. ciliares*. As espécies *Sidas glaziiovii*, *Bidens pilosa*, *Rhynchelytrum repens*, *Cenchrus echinatus* e *Nicandra physaloides* foram consideradas extremamente sensíveis à contaminação do solo por Zn e Cd, não sendo indicadas para ações de fitorremediação de solos poluídos por esses metais.

Pesquisas relatam resultados positivos na utilização de algumas espécies simbiotas de FMA's como vegetais-testes em bioensaios de rizorremediação de solos contaminados por metais pesados e hidrocarbonetos do petróleo, como a utilização de *Brachiaria* em experimentos de rizorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos do petróleo e metais pesados, inclusive em associação com FMA's (CARNEIRO; SIQUEIRA; MOREIRA, 2002; SILVA; SIQUEIRA; SOARES, 2006; NAKATANI et al., 2008; CEOLA, 2010). Santos e colaboradores (2007) também estudaram *Brachiaria decumbens* em fitorremediação de Zn e Cd e observaram que essa espécie apresentou tolerância a esses metais presentes no resíduo industrial após tratamento de contenção química com silicato de cálcio e lodo de biodigestor de cervejaria. Apresentaram então essa técnica como um tipo de bioestimulação à fitorremediação desses metais. Lamego e Vidal (2007) relataram *Pennisetum purpureum* (capim-elefante), *Brachiaria decumbens* (capim-braquiária) e *Pennisetum graucum* (milheto forrageiro) como fitorremediadores de cromo.

Outras espécies também foram estudadas como demonstram os estudos a seguir. Tang e colaboradores (2010) utilizaram *Lolium multiflorum* L. (Azevém) para degradação de óleo diesel. Os autores citam ainda outros estudos com vegetais comumente usados em pesquisa sobre remediação de solo contaminado por petróleo: *Sorghum bicolor* (sorgo), *Linum usitatissimum* (linhaça), *Panicum* sp., Eleusine indica (L.) Gaerth (capim-pé-de-galinha), *Festuca arundinacea* (Festuca, Tall Fescue) e *Phaseolus coccineus*, além de outros vegetais serem ali citados como potenciais fitorremediadores, como o centeio, milho, alfafa e arroz.

Paula e colaboradores (2007) estudaram a fitorremediação de antraceno e creosoto pela presença do FMA *Glomus etunicatum* em rizosfera de *Pueraria phaseoloides*. Muitos outros estudos relatam resultados positivos da fitorremediação de poluentes inorgânicos e orgânicos (CASTRO et al., 2005; KAIMI et al., 2006; SILVA; SIQUEIRA; SOARES, 2006; JACQUES et al., 2007; LAMEGO; VIDAL, 2007; SANTOS, 2007; TANG et al., 2010; KATHI ; KHAN, 2011; RIVAS, 2012;).

No entanto, Lamego e Vidal (2007) observaram que poucas pesquisas têm sido conduzidas sobre as relações entre o crescimento radicular das plantas, a atividade microbiana e a degradação de contaminantes realizados por micorrizas. Não obstante, esses pesquisadores afirmaram que, geralmente, tanto o crescimento vegetal simbiota quanto a dissipação de hidrocarbonetos de petróleo são favorecidos pela presença de micorrizas.

FMAs e a biorremediação de solos degradados por poluentes

A característica cosmopolita dos FMAs é comumente apresentada nos estudos sobre esses fungos. Tal característica possibilita estudá-los em diversos ambientes e avaliá-los em inúmeras biotecnologias aplicadas ao solo, inclusive naquelas que visam a eliminar resíduos tóxicos em ambientes contaminados, como por exemplo, agrotóxicos, metais pesados e hidrocarbonetos do petróleo. As técnicas de biorremediação com micorrizas podem ser aplicadas tanto *ex situ* como *in situ*, remediação de solo realizada, respectivamente, no ambiente e fora do local de contaminação. (CASTRO et al., 2005; SOUZA, 2005; BERBARA; SOUZA; e FONSECA, 2006; KHAN, 2006; NAKATANI, 2008; SILVA, 2009).

Vidali (2001), em sua revisão geral sobre tecnologias utilizadas em remediação de solo contaminado detalhou os diversos tipos utilizados *in situ* e *ex situ*, caracterizando a biorremediação como a remoção de contaminantes do ambiente por micro-organismos devido ao metabolismo que possuem e possibilitam a remoção ou acumulação dos mesmos em estruturas celulares específicas. Exemplo de tal adaptação é o fato de ser observada nas vesículas de FMAs, oriundos de ambientes halófilos ou poluídos, a presença de um elevado número de vacúolos armazenando íons de sódio e cloreto, ou metais traços, podendo atenuar com isso “os efeitos desfavoráveis do estresse sobre o crescimento das plantas” (MIRANSARI, 2011).

A biorremediação de solos poluídos com hidrocarbonetos de petróleo foi recomendada por Jacques (2007). Esse autor relata resultados conflitantes de estudos que testam a bioestimulação com N e P no solo contaminado. Em seu estudo destaca que a bioaumentação reduziu a degradação de HPAS. Biopilhas, compostagem, biorreatores e incineração são variantes de técnicas de remediação de solo *ex situ* (CASTRO et al., 2005; SILVA, 2009). Usualmente, o campo utilizado na *landfarming* situa-se próximo ao local de produção dos resíduos, podendo, por isso, ser considerado uma técnica *in situ*. Silva (2009), descrevendo as diversas técnicas disponíveis hoje para remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos do petróleo, destacou que as “*Tecnologias Verdes*”, nas quais os processos biológicos estão inseridos, têm maior aceitação pública do que os métodos físico e químico de remediação, visto que apresentam baixo custo, possibilidade de aplicação para tratamento *in situ* e eficiência elevada para a biodegradação de diversos contaminantes.

A capacidade de biorremediação que FMAs possuem varia de acordo com a interação solo-planta-fungo, onde as condições abióticas locais e a genética dos simbioses influenciam a dinâmica das relações envolvidas na microbiota rizosférica associada (SIQUEIRA; LAMBAIS; STÜRMER, 2002; BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

Gogosz e colaboradores (2010) realizaram estudo de germinação e desenvolvimento de *Campomanesia xanthocarpa* (gabirola) em solo contaminado por derramamento de petróleo de uma refinaria em Araucária - PR em 2000, assim como

o desenvolvimento da mesma espécie em solo proveniente do local do derramamento biorremediado por 5 anos, e concluíram que a biorremediação amenizou o efeito do contaminante no desenvolvimento da plântula em 30 e 60 dias de experimento. O estudo abrangeu uma revisão sobre os impactos na germinação e desenvolvimento de diversas espécies vegetais causados por contaminações por petroderivados, apontando para a importância da biorremediação de ambientes poluídos com esses compostos.

Cabello (2006) e Paula e colaboradores (2006), em estudos sobre FMAs e suas potencialidades para degradação de hidrocarbonetos do petróleo, realizaram a separação de esporos desses fungos, identificando-os e classificando-os, apresentando resultados positivos quanto a sua capacidade de biorremediação. A redução de absorção de contaminantes do solo pela planta micorrizada se dá pela capacidade de adsorção das substâncias tóxicas pelas paredes das hifas dos FMAs devido aos polissacarídeos extracelulares aí produzidos, o que aumenta a tolerância dessas plantas a esse tipo de ambiente (NOGUEIRA, 2007).

Rodrigues (2008) destaca a importância dos exsudados de fungos simbiotes no processo de agregação de solos dunares de restinga e relata as valiosas ações ecológicas dos FMAs para o meio ambiente. Entre essas ações, pode-se destacar o favorecimento da estabilização dos solos promovida pela ação física do micélio fúngico e pela ação de glicoproteínas de caráter hidrofóbico que atuam na formação e estabilidade de agregados no solo, as glomalinas (KHAN, 2006; SOUSA et al., 2011). Barbara e colaboradores (2006) apresentaram dois prováveis fatores para agregação e estabilidade dos solos: um físico, pelas hifas extrarradiculares envolvendo e enovelando partículas minerais e orgânicas do solo, e outro quelante, relacionado à ação das glomalinas.

Paula e colaboradores (2006) e Nakatani e colaboradores (2008), analisando a atividade de FMAs em solo de *“landfarming”*, relataram que há maior capacidade de estimulação da degradação de hidrocarbonetos de petróleo no solo com plantas micorrizadas acelerando o processo de biorremediação.

Baseado em diversos estudos sobre remediação de solos por FMAs, Nogueira (2007) afirmou que, embora os mecanismos de tolerância a ambientes poluídos com metais não tenham ainda sido elucidados, sabe-se que isolados provenientes de sítios contaminados são mais resistentes quando expostos à mesma situação de presença de metais. A variação de tolerância aos contaminantes, que pode ocorrer conforme a origem dos FMAs pré-expostos ou não aos agentes tóxicos, sugere que testes comparativos com espécies de fungos cultivados em vasos contaminados e não contaminados com hidrocarbonetos devam ser realizados. A análise dos estudos citados acima apresenta as micorrizas, principalmente as MAs, com potencial de depuração do ambiente contaminado, promovendo o restabelecimento da biota do solo e melhor recuperação das espécies vegetais simbiotes.

Cabello (2006) discute os efeitos de hidrocarbonetos do petróleo sobre a colonização micorrízica, comparando o potencial de colonização entre propágulos

encontrados em solo poluído e não poluído em experimentos realizados na Argentina e Alemanha. Os resultados desse trabalho indicaram maior presença de arbúsculos nas raízes que foram colonizadas por propágulos em solo não poluído. No entanto, verificou também um alto potencial de colonização dos FMAs em solo poluído por hidrocarbonetos, constatando maior presença de vesículas nos vegetais estressados pelo poluente, não obstante observar uma menor presença de esporos nesse tipo de solo. Ou seja, a presença de arbúsculos nas raízes diminuiu à medida que o estresse causado pelo poluente aumenta, enquanto que o contrário se observou em relação à presença de vesículas. Cabello (2006) ainda sugere a busca de mais informação sobre FMAs em solos poluídos por hidrocarbonetos, tais como limites de tolerância, os efeitos da adição de nutrientes, as espécies eficientes na promoção do crescimento e sobrevivência vegetal, e a avaliação do papel de vários tipos de propágulos desses solos.

Quanto à seleção que os FMAs sofrem em solos poluídos com hidrocarbonetos, Paula (2007) destacou que indivíduos extraídos de solos que já haviam sofrido contaminação por derivados do petróleo foram mais eficazes no processo de biorremediação do que aqueles das mesmas espécies extraídos de solos não contaminados quando expostos aos testes de contaminação *ex situ*. Tal adaptação também pode ser apontada pelos resultados obtidos por Cabello (2006) onde as raízes dos vegetais em solos poluídos por hidrocarbonetos apresentaram maior percentual de vesículas do que as de solos não poluídos.

Nakatani e colaboradores (2008), estudando atividade rizosférica da comunidade bacteriana e FMAs em plantas de sistema de *landfarming* de resíduos petroquímicos, relataram densidade elevada de esporos (entre 900 a 4.800 esporos por 50cm³), observando a maior esporulação em *Brachiaria decumbens*. Quatro espécies de FMAs foram ali encontradas: *Glomus intraradices*, *Acaulospora morrowiae*, *Paraglomus occultum* e *Archaeospora trappe*. Estas três últimas espécies ainda não haviam sido relatadas em área contaminada por hidrocarbonetos do petróleo (NAKATANI et al., 2008).

Cabral e colaboradores (2010) relataram a cinética e a capacidade de retenção de metais (Cu, Zn, Cd e Pb) por micélios de FMAs cultivados em vasos com *Brachiaria decumbens*. Esses autores concluíram que *Glomus clarum* e *Gigaspora gigantea* foram os mais eficazes na retenção de Cu e Zn, sugerindo o uso promissor desses fungos na técnica de biorremediação de solos poluídos.

Ceola (2010), estudando a colonização micorrízica em área de mineração de carvão no Sul de Santa Catarina revegetada com *B. decumbens*, sugere o estabelecimento de programa de inoculação de FMAs (preferencialmente *Glomus clarum*) como estratégia de revegetação de áreas mineradas a serem recuperadas.

Silva e colaboradores (2006), avaliando ação biorremediadora de 14 isolados de FMAs, concluíram que as espécies *Acaulospora spinosa*, *Acaulospora morrowiae* e *Gigaspora gigantea* foram eficientes em remediar solo artificialmente contaminado com metais (Cu, Zn, Pb e Cd) e cultivado com *B. decumbens*. De acordo com

a espécie de FMAs, variou a capacidade de extração dos poluentes do solo pela planta em até 63% dos teores iniciais de contaminação e acumulação de até 1000% de Cu nas raízes do vegetal, e ainda essa capacidade de bioacumulação se relacionou à presença de glomalina produzida pelos FMAs. Essa glicoproteína, descoberta em 1996 pela cientista americana Sara F. Wright, além de sua implicação na biorremediação de solos contaminados, promove também a agregação das partículas do solo viabilizando o desenvolvimento da estrutura do solo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998; BERBARA; SOUZA; FONSECA 2006; DINIZ, 2011).

Estudos em solos poluídos que se propuseram a avaliar os efeitos fitorremediadores de plantas em simbiose com FMAs autóctones relataram efeitos positivos na utilização de esporos isolados de cultura monoxênica e monospórica (a partir de um único esporo) ou micélios dos mesmos, originados de comunidades de fungos nativos (KHAN, 2006; NOGUEIRA, 2007; CABRAL, 2010).

Flores-Aylas (2003) sugeriu a aplicação de substâncias estimulantes da micorrização, o que pode favorecer a colonização de novas plantas a partir de propágulos presentes no solo. Tal possibilidade aponta para a necessidade de pesquisas em ambientes naturais impactados por hidrocarbonetos do petróleo em que seja possível a estimulação da micorrização por inoculação de FMAs autóctones.

As restingas e a formação psamófila-reptante

O termo restingas tem sido utilizado para designar ecossistemas costeiros que se desenvolveram sobre depósitos litorâneos arenosos costeiros quaternários originados pelos movimentos de transgressão e regressão marinhos e pela deposição de sedimentos de origem fluvial. Fitogeograficamente, denomina-se o conjunto de comunidades vegetais, distribuídas em mosaico, associado a esses depósitos arenosos costeiros quaternários e aos ambientes rochosos litorâneos. (ASSUMPCÃO; NASCIMENTO, 2000; SANTOS; SYLVESTRE; ARAUJO, 2004; ARAUJO et al., 2009; BOHRER, 2009; BRASIL, 2009).

Segundo Assumpção e Nascimento (2000), o ambiente geológico recente das formações de restingas, caracterizado por suas diferenças geomórficas, pedológicas e climáticas, foi colonizado por espécies vegetais provenientes de outros ecossistemas (Mata Atlântica, Tabuleiros e Caatinga) com variações fenotípicas devido às condições diferentes do seu ambiente original.

Nessas faixas litorâneas, ao longo da costa brasileira, são encontradas diversas formações vegetais nas quais se encontram, bem adaptadas, plantas de fisionomias herbáceas salinas, entre elas a formação “praial-graminoide”- nomenclatura adotada por Assumpção e Nascimento (2000), entre muitas outras nomenclaturas existentes e revisadas por Thomaz e Monteiro (1992) e Silva (1999).

Thomaz e Monteiro (1992) relatam uma formação vegetal na zona de marés, a qual denominam de “formação halófila”. Esses autores ainda discutem as características das duas formações situadas dentro e no limite da zona de marés, observando a dificuldade em separar as duas comunidades ali presentes: a halófila e a psamófila-reptante onde tanto em uma quanto em outra se podem encontrar indivíduos com características psamófitas (plantas reptantes) e halofíticas (com adaptações para ambiente salgado) e que apresentam relações ecológicas estreitas. Por isso o autor se refere a elas como uma única formação vegetal: “formação halófila-psamófila”.

Kuster (2010), que denomina de “formação halófila-psamófila reptante” toda a região dunar que limita as marés, discute as características “eutróficas” daquele solo pela presença marcante de sódio originado pelo *spray* marinho (salsugem), não obstante o solo seja caracterizado como “pobre” ou “distrófico” devido à deficiência dos demais nutrientes.

As rizosferas de formações vegetais em dunas litorâneas apresentam espécies de fungos que numa relação mutualística — as micorrizas — possibilitam que tais plantas sobrevivam em um ambiente tão adverso em suas características físico-químicas e climáticas (CORDAZZO; STÜRMER, 2007).

As características ambientais da restinga de Massambaba fazem dela importante biótopo para a biodiversidade local (PETROBRÁS, 2008), características essas fortemente influenciadas pelo clima peculiar da região (Figura 5). Segundo Boher (2009), suas condições climáticas são resultantes da interação de diversos fatores, entre eles está o efeito provocado pela ressurgência, caracterizada pelo deslocamento da massa oceânica superficial aquecida pelos ventos e a migração vertical de águas frias de subsuperfície, o que inibe a formação de *cumulus*. Juntamente com a inexpressiva existência de chuvas causadas pelo relevo (“menor controle orográfico”) devido ao afastamento do topo da Serra do Mar em direção ao litoral, o resultado é a diminuição da taxa de precipitação nessa faixa litorânea (BOHER, 2009), o que lhe imprime aspectos fitossociológicos diferenciados do seu entorno, apresentando vegetação “enquadradas na definição de florestas secas”, característica do semiárido nordestino (ANDRADE, 2005). Tais condições, as quais estão associadas à sua história geomorfológica e ao clima semiárido, originaram na Restinga de Massambaba uma diversidade florística numerosa que necessita ser conservada (ARAÚJO et al., 2009).

Quanto à diversidade vegetal que caracteriza o ecossistema de restinga, Araújo e colaboradores (2009) apresentaram dez tipos de formação vegetal na Restinga de Massambaba. São catalogadas e classificadas 664 espécies vegetais distribuídas em 118 famílias de angiospermas e pteridófitas. São também identificadas espécies halófitas e psamófitas ocupando uma extensa faixa próxima à praia em todo o seu cordão arenoso (PETROBRÁS, 2008; ARAÚJO et al., 2009; THOMAZ; MONTEIRO, 1992).

Como característica seletiva para esses ambientes, alguns vegetais apresentam estômatos apenas na face abaxial das folhas (hipoestomáticas), característica presente em *R. maritima* relatada por Boeger (2006). Segundo Alves et al. (2009), o Brasil possui

quinze gêneros de Cyperaceae; cinco desses são monoespecíficos, entre eles a *Remirea maritima*. Ou seja, em qualquer ambiente de restinga no Brasil essa é a única espécie encontrada de *Remirea*. Isso se confirma no levantamento fitossociológico na Restinga de Massambaba, realizado por Araujo et al. (2009), no qual a única espécie do gênero listada é a *Remirea maritima* Aubl, o que também se confirma na “Lista de Espécies da Flora do Brasil” (ALVES et al., 2012). Alves e colaboradores (2009) acrescentam que as Cyperaceas são potenciais bioindicadores de ecossistemas saudáveis.

A *Remirea maritima* possui distribuição fitogeográfica desde o sul da América do Norte até a Austrália, já identificada por diversos especialistas em todo o mundo (PICKERING, 2012) (Figura 6).

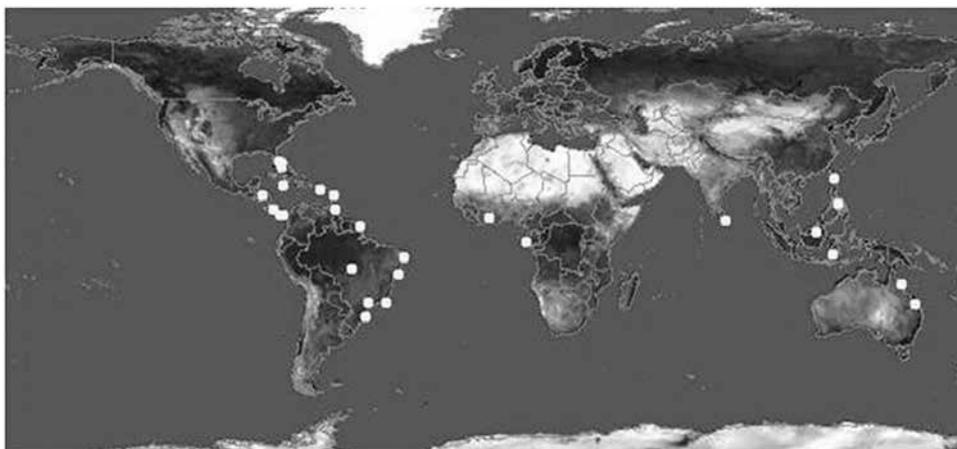


Figura 6 – Mapa³ apresentando a distribuição fitogeográfica de *Remirea maritima* elaborado pela *Discover Life* (PICKERING, 2012).

Koske (1988) investigou a presença de FMAs em rizosferas de plantas de dunas no Havá e encontrou algum nível de colonização em todas as plantas estudadas, entre elas, *Batis maritima*, *Cocos nucifera*, *Ipomoea brasiliensis*, *Pennisetum setaceum*, *Prosopis pallida*, *Scaevola taccada*, e *Sporobolus* sp. O gênero *Glomus* foi o mais frequente das espécies encontradas e, ao contrário dos demais, esteve presente em todos os sítios estudados. Também foi relatada alta taxa de frequência do gênero *Sclerocystis* em rizosferas de *Scaevola*, *Cocos*, *Pennisetum*, *Ipomoea* e *Batis*, e do gênero *Scutellospora* em rizosferas de *Scaevola*, *Ipomoea*, *Pennisetum*, *Cocos*, and *Sporobolus*.

Cordazzo e Stürmer (2007) avalizaram a ocorrência de FMAs em dunas

³ O mapa de distribuição fitossociológica de *Remirea maritima*, apresentado virtualmente no site Discover Life (PICKERING, 2012), possui forma interativa, no qual se podem acessar os registros de arquivos e de exsicatas de herbários internacionais, tais como Global Biodiversity Information Facility, Missouri Botanical Garden database e Plants Database, United States Department of Agriculture database. Disponível em: < http://www.discoverlife.org/mp/20m?act=make_map > e < <http://eol.org/pages/29459/media> >. Acesso em: 20 de maio 2012.

costeiras no Sul do Brasil em gramíneas da espécie *Panicum racemosum* e constataram a presença de 10 espécies de FMAs em dunas incipiente, dunas frontais e dunas fixadas. Dois gêneros, dos quatro encontrados, foram dominantes: *Scutelospora* predominou nas três áreas estudadas, enquanto que *Glomus* na rizosfera de *Panicum*, em dunas fixas. Ao comparar com outros estudos que avaliaram plantas adaptadas a dunas costeiras, esses autores constataram o baixo percentual (<1%) de colonização em *Panicum* na área estudada.

Rodrigues (2008), avaliando o efeito da inoculação de FMAs associada à adubação nitrogenada em *Clusia fluminensis* presente na Restinga da Marambaia, RJ, destacou a importância desses fungos para a reabilitação de áreas tropicais onde predominam solos de baixa fertilidade, sendo essenciais para o sucesso da revegetação.

Oliveira (2009), em estudo em área de restinga no litoral do Estado da Paraíba, caracterizou comunidades de FMAs presentes em área de dunas revegetadas avaliando sua influência no desenvolvimento das espécies vegetais nativas *Tabebuia roseo-alba* e *Tocoyena selloana*. Seu estudo avaliou a produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG), densidade e diversidade de esporos presentes nas rizosferas dos vegetais estudados, relatou a presença de colonização micorrízica em *Tabebuia*, com frequência de 80%, e em *Tocoyena* a frequência foi de 60%.

Em todos os estudos que investigaram rizosferas de plantas em zonas costeiras, destacou-se a importância dos FMAs para adaptação e crescimento dessas plantas em sistemas dunares.

Souza (2007) abordou a questão da ciclagem de nutrientes em ambiente de restinga. O estudo destacou a importância da interação entre as comunidades vegetais e a biota do solo, observando que a perturbação dessas interações põe em risco o funcionamento equilibrado dos mesmos, podendo levar a prejuízos socioeconômicos ambientais, inclusive à extinção de espécies. Perturbações ambientais podem ser detectadas quando são observadas alterações na biota do solo devido ao aumento da fauna do solo ou de intervenções na cobertura vegetal, podendo gerar a ruptura da sustentabilidade a médio e longo prazo (SOUZA, 2007).

O solo na restinga não é a principal fonte de nutrientes, o que fica por conta do *spray* marinho que é a maresia presente na atmosfera (SOUZA, 2007). A salsugem trazida pelos ventos marinhos é responsável pelo maior aporte de P nas formações vegetais imediatamente após a praia (BOHRER et al., 2009; LOURENÇO JUNIOR; CUZZUO, 2009; RODRIGUES, 2008).

Lourenço Junior e Cuzzuo (2009) identificaram maior concentração de P na formação psamófila-reptante do que na formação *Palmae*. O mar também é fonte de adição de nutrientes em restingas através do lençol freático, porém, este também pode funcionar como dreno de nutrientes, pois, devido às características arenosas do solo, os nutrientes não ficam retidos. Reside aí a importância imprescindível de mecanismos capazes de reter ou retardar a saída de matéria orgânica existente (SOUZA, 2007),

principalmente dos micro-organismos ali envolvidos. A inter-relação existente entre esses organismos dependentes do solo (fauna edáfica, bactérias e fungos) é que permite a decomposição estrutural e química dos tecidos complexos de plantas, restos de animais e também do micélio fúngico das micorrizas na rizosfera, fontes importantes de carbono e nutrientes nesse processo ecológico de ciclagem da matéria orgânica (HOFFMANN et al., 2009; BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006).

O estabelecimento de simbiose micorrízica tem no gradiente de P no solo um dos fatores limitantes, pois esse nutriente em maiores concentrações influencia a exsudação de fito-hormônios que sinalizam contrariamente à micorrização do vegetal (KIRIACHEK, 2009). As características físico-químicas do solo de restinga apresentam ainda outro fator limitante proporcionado pelo estresse salino: a presença de sódio (Na) bastante expressiva conforme apresentada por estudos que realizaram análise físico-química de solos litorâneos. Logo, estruturas micorrízicas que atuam na redução do impacto de estresse e na manutenção nutricional do vegetal são de grande importância para a sobrevivência no ecossistema de restinga.

Estudos que analisaram os valores de bases trocáveis, K, Ca e Mg, entre os macronutrientes e Cu, Mn e B entre os micronutrientes, além de apresentarem altos índices de Na (LOURENÇO JUNIOR; CUZZUO, 2009; SOUZA, 2007; PEREIRA et al., 2005; GOMES et al., 2007; FRAGA; PEREIRA; SOUZA, 2010), são importantes para a compreensão dos processos ecológicos envolvidos na manutenção da fauna edáfica em ecossistemas semiáridos.

Lourenço Junior e Cuzzuo (2009) detectaram gradiente decrescente de concentração de nutrientes com a profundidade do solo. Nos primeiros 10 cm da formação psamófila-reptante na restinga do Parque Estadual Paulo César Vinha, Guarapari-ES, onde a concentração foi maior para todos os nutrientes naquela formação vegetal do que nos demais níveis, encontraram maiores teores de Fe (17,3 mg.kg⁻¹) e Zn (53,8 mg.kg⁻¹). Os teores de P e Na foram de 24,6 e 104 mg.kg⁻¹, respectivamente, nesta mesma profundidade. Os demais nutrientes quantificados na análise foram: K: 20,3; Ca:760,0; Mg: 87,0 mg.kg⁻¹.

Fraga e colaboradores (2010) quantificaram teores de Ca (3,27cmol.kg⁻¹); Mg (1,62cmol.kg⁻¹), K (29,67 mg.kg⁻¹), P (3,16 mg.kg⁻¹), Na (0,14 cmol.kg⁻¹) na restinga de Marambaia-RJ. A parte superior (10 cm de profundidade) do perfil do solo também apresentou maiores valores para esses nutrientes do que as inferiores.

Scivittaro e Pillon (2007) observaram que os teores de fósforo (P) no solo, de acordo com o teor de argila em sua composição, descreveram como “muito baixo” o teor desse nutriente em menor ou igual concentração de 7mg.dm³ em amostra de solo com 20% de argila (classe 4) e “muito alto” para teor maior ou igual a 42 mg.dm³ de solo da mesma classe. Cabe saber que, segundo Souza e Lobato (2012), o teor máximo de argila encontrado em solo de restinga (Neossolo Quartzarênico) é de até 15%. Logo, de acordo com os estudos aqui citados, ambientes de restinga podem apresentar teores

de P menores do que o classificado como “muito baixo”. Tais condições estressantes são propícias ao estabelecimento das micorrizas arbusculares, o que, como aqui discutido, está diretamente relacionado aos mecanismos simbióticos planta-fungo.

Em observações cito-histoquímicas de FMAs foi encontrada presença de enzima fosfatase alcalina em arbúsculos e hifas intrarradiculares. Tal atividade enzimática tem sido aceita como um bom índice do efeito da associação micorrízica no crescimento da planta hospedeira (MATOS; SILVA; LIMA, 1999). Em estudo de Matos e colaboradores (1999), que fizeram importante revisão sobre o papel de P nas micorrizas arbusculares, afirma-se que o fato de espécies diferentes de FMAs possuírem variação no potencial de absorção de P, tendo como base o C usado por unidade de P transportado pela hifa, torna-se uma ferramenta de avaliação da eficiência da simbiose micorrízica como um método importante para seleção de fungos mais eficientes nesse processo e consequente aplicação biotecnológica. Essa eficiência se traduz pela habilidade do fungo de aumentar a fotossíntese e o crescimento do hospedeiro, através de um melhor fornecimento de nutrientes, principalmente P (MATOS; SILVA; LIMA, 1999).

Devido à escassez de pesquisas com FMAs autóctones em ecossistemas costeiros impactados por hidrocarbonetos do petróleo, faz-se necessária a ampliação de estudos que visem a elucidar os mecanismos de micorrizorremediação desses micro-organismos associados a vegetais de restingas.

Considerações finais

Nesta revisão obteve-se uma ampla abordagem da ecologia das micorrizas e de suas interações com vegetais fitorremediadores. O conhecimento sobre FMAs e de seu potencial para micorrizorremediação (fitoestimulação por micro-organismos em rizosfera de espécies fitorremediadoras) de solos contaminados por poluentes orgânicos e inorgânicos foi evidenciado. As muitas pesquisas realizadas com essas técnicas não se refletem em solos distróficos de restinga, onde a literatura, na maior parte, trata apenas de identificar as espécies de fungos micorrízicos e seu potencial de estimulação de crescimento de plantas desse ecossistema, não relacionando os FMAs ali encontrados à remediação desses solos contaminados por poluentes.

A micorrizorremediação apresenta promissora oportunidade de desenvolvimento de uma tecnologia para possível solução de alguns problemas ambientais brasileiros. No entanto, se fazem necessários maiores estudos que forneçam dados qualitativos e quantitativos para seu desenvolvimento.

A micorrizorremediação de solos poluídos parece ser o processo indicado para solos de restinga, tendo em vista as condições extremas que vivem ali a flora endêmica, principalmente por fatores estressantes, como os hídrico e salino.

Embora as condições nutricionais e climáticas nas restingas sejam adversas

para muitas outras espécies fúngicas, são ambientes ideais para o desenvolvimento de comunidades micorrízicas específicas de FMAs, as quais promovem o crescimento e adaptação das plantas colonizadas aos sistemas dunares. Tal associação simbiote apresenta potencial para micorrizorremediação desses solos quando impactados por poluentes oriundos de atividades antrópicas, como os hidrocarbonetos do petróleo.

Referências

ÁLARCÓN, C. ; CUENCA, G. Arbuscular mycorrhizas in coastal sand dunes of the Paraguaná Peninsula, Venezuela. *Mycorrhiza*, v. 16, p.1– 9, 2005. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/m5kp73181-7086636/>>. Acesso em: 14 out. 2010.

ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. *Introductory Mycology*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1996. 865p.

ANDREAZZA, R. et al. Ocorrência de associação micorrízica em seis essências florestais nativas do Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. Brasil, v.18, n.3, p. 343-351, jul./set. 2008.

ARAUJO, D. S. D. et al. Área De Proteção Ambiental De Massambaba, Rio De Janeiro: Caracterização Fitofisionômica e Florística. *Rodriguésia*, v. 60, n.1, p. 067-096, 2009.

BARAC, T. et al. Engineered endophytic bacteria improve phytoremediation of water-soluble, volatile, organic pollutants. *Nature Biotechnology*, London, v.22, n.5, p. 583-588, 2004.

BARTZ, M. L. C. et al. Comparação entre as técnicas de amostragem direta em campo e cultura-armadilha para mensuração da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares. *Hoehnea*, v.35, n. 1, p. 159-164, 2 tab., 2008.

BÉCARD, G.; PICHÉ, Y. New aspects on the acquisition of biotrophic status by a Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. *New Phytol.*, v.112, p.785-791, 1989.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A; FONSECA, H. M. A. C. Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito Além da Nutrição. In: *Nutrição Mineral das Plantas*. SBCS. Viçosa: Ed. Fernandes, MS, 2006. p. 53 -85. 432 p.

BOHRER, C. B. A. et al. Mapeamento da vegetação e douso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, v.60, n.1, p. 001-023, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n.º 417/2009. Dispõe sobre parâmetros básicos para definição de vegetação primária e dos estágios sucessionais secundários da vegetação de Restinga na Mata Atlântica e dá outras providências. *Diário Oficial da União (DOU)* 224, 24/11/2009, p.72. Brasília. 2009. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=617> >. Acesso em: 2011.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Adv. Ecol. Res.*, v. 21, p.171–

313,1991. Disponível em < <http://pt.scribd.com/doc/51667302/Mycorrhizas-in-Natural-Ecosystems>>. Acesso em: 1 jun. 2011.

BRUNDRETT, M. et al. *Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. 1996. (ACIAR Monograph; 32; 37). ISBN 1863201815. Disponível em < <http://aciarc.gov.au/publication/MN032>>. Acesso em: 20 out. 2010.

CABELLO, M. N. Hydrocarbon pollution: its effect on native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) ; *FEMS Microbiology Ecology*,v.22, n.3, p. 233 – 236, 17 jan. 2006. [online] Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1574-6941.1997.tb00375.x/full> > Acesso em: 20 out. 2010.

CANHO, P. V.; VAZOLLER, F.R. *Coleção Biodiversidade do Estado de São Paulo: Síntese e Recomendações*. São Paulo, 1999. v.1, Cap 10: p. 115-118.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados. *Pesq. agropec. bras.* [online], v.37, n.11, p. 1629-1638, 2002. ISSN 0100-204X.

CASTRO, R. A. et al. Otimização do Sistema de Landfarming da RPBC: Refinaria Presidente Bernardes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005. *Anais...* Disponível em: < <http://pessoal.utfpr.edu.br/marlenesoares/arquivos/Landfarming.pdf> > . Acesso em: 14 out. 2010.

CORDAZZO, C. V.; STÜRMER, S. L. Ocorrência De Fungos Micorrízicos Arbusculares Em *Panicum Racemosum* (P. Beauv.) Spreng (Poaceae) Em Dunas Costeiras Do Extremo Sul Do Brasil. *Atlântica* (Rio Grande), v. 29, n. 1, 2007.

DURAZZINI, A. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos sob diferentes cultivos. *Revista Agrogeoambiental*, Inconfidentes, Minas Gerais, v. 1, n. 1, p. 1-7, jan./abr. 2009.

FURTADO, M. Tratamento de resíduos. *Revista Química e Derivados*, n. 495, mar. 2010. Disponível em: < <http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd495/incinerador/incinerador01.html>>. Acesso em: 5 jul. 2010.

GARCÍA, I.; MENDOZA, R.; POMAR, M. C. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes under contrasting grazing modes in the Magellanic steppe of Tierra del Fuego. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.155, p. 194– 201, 2012.

GOGOSZ, A.M. et al. Germination and initial growth of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (Myrtaceae), in petroleum-contaminated soil and bioremediated soil. *Braz. J. Biol.*, v.70, n.4, p. 977-986, 2010.

GOKULDAS P.; BAGYARAJ, D. J. ; PRASAD, T. G. Mycorrhizal reproduction as influenced by moisture stress. In: BUSHAN L. J.; CHAND, H. (Ed.). In: THE NATIONAL CONFERENCE ON MYCORRHIZA, 1990. *Proceedings ...* Hisar-India: Department Of Plant Pathology Haryana Agricultural University at Haryana Agricultural University,1990. 213 p. [online].

GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Sporocarpic species of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), with a new report from Brazil. *Acta bot. bras.*, v.19, n.3, p. 633-637, 2005.

GOTO, B. T.; COSTA, C. M.C.; MAIA, L. C. *Glomus halonatum* Rose & Trappe

(Glomeromycota) in South America: comments on the morphological characteristics of the species. *Acta bot. bras.*, v.23, n.4, p.1167-1170, 2009.

HARRISON, M. J. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu. Rev. Microbiol.*, v. 59, p.19-42, 2005. Disponível em: < <http://www.esf.edu/EFB/horton/Harrison%202005-Ann%20Review.pdf>> Acesso em: 20 mar. 2014.

INVAM. *International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Disponível em < <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification.htm>.> Acesso em: 14 out. 2010.

JACQUES, R.J.S. et al. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.4, p. 1192-1201, jul.\ago. 2007. ISSN 0103-8478.

JUMPPONEN, A., TRAPPE, J.M. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root colonizing fungi. *New Phytologist*, v. 140, p. 295–310, 1998.

KAIMI, E. et al. Ryegrass enhancement of biodegradation in diesel-contaminated soil. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v.55, n.1-2, p. 110-119, 2006.

KATHI, S.; KHAN, A. B. Phytoremediation approaches to PAH contaminated soil. *Indian Journal of Science and Technology*, v.. 4, n. 1, 2011. ISSN 0974- 6846.

KHADE, S. W. Morpho-taxonomy of synonyms: *Glomus rubiforme* and *Glomus pachycaulis* (Glomeromycota). Department of Botany, Goa University, Taleigao Plateau, GOA-403206, India. *Anales de Biología*, v.30, p. 55-59, 2008. Disponível em: <http://www.um.es/analesdebiologia/numeros/30/PDF/30_06.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2011.

KHAN, Abdul G. Mycorrhizoremediation:an enhanced form of phytoremediation. *Journal of Zhejiang University Science B* , v. 7, n. 7, p. 503-514, 2006, DOI: 10.1631-2006. ISSN 1862-1783 [online]

KIRIACHEK, S. G. et al. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *R. Bras. Ci. Solo*, v.33, p.1-16, 2009.

KNAPP , D.G.; PINTYE, A.; KOVÁCS, G. M. The Dark Side Is Not Fastidious:– Dark Septate Endophytic Fungi of Native and Invasive Plants of Semiarid Sandy Areas. *PLoS ONE*, v.7, n. 2, p. e32570, Feb. 2012.

KOSKE, R. E. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae of Some Hawaiian Dune Plants. *Pacific Science*, University of Hawaii Press, v.. 42, n. 3-4, 1988.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: Plantas como agentes de despoluição? *Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente*, Curitiba, v. 17, p. 9-18, jan./dez. 2007.

LEAL, P. L. *Fungos micorrízicos arbusculares isolados em culturas armadilhas de solos sob diferentes sistemas de uso na Amazônia*. Dissertação (Mestrado) – UFLA, 2005. 67 p. Disponível em: < www.cipedia.com/web/FileDownload.aspx?IDFile=154755 >. Acesso em: 3 jul. 2011.

MIRANSARI , M. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Appl Microbiol Biotechnol.*, v.89, p. 917-930, 2011. DOI: 10.1007/s00253-010-3004-6.

MOREIRA , C. A.Dourado J. C. Análise de contaminantes de fase líquida não aquosa

(NAPLs) por aplicação do Método Eletromagnético Indutivo (EM). *Revista Brasileira de Geofísica*, v.23, n.3, p. 213-220, 2005 ISSN 0102-261X.

NAIR, M.G.; SAFIR, G. R.; SIQUEIRA, J.O. Isolation and identification of vesicular:arbuscular mycorrhizastimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. *Appl. Environ. Microbiol.*, v.57, p.434-439, 1991.

NAKATANI, A. S. et al. Comunidades microbianas, atividade enzimática e fungos micorrízicos em solo rizosférico de “landfarming” de resíduos petroquímicos *R. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.1501-1512, 2008.

NOGUEIRA, M. A. Micorrizas Arbusculares e Metais Pesados. In: SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. (Eds). *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p.218-238. ISBN: 9788585564148 [online]

NUNES, J. L. da S.; SOUZA, P. V. D. de; MARODIN, G. A. B.; FACHINELLO, J. C. Incremento no desenvolvimento do porta-enxerto de pessegueiro “Aldrighi” por fungos micorrízicos arbusculares autóctones. *Ciênc. agrotec.* [online], v.32, n.6, p. 1787-1793, 2008. ISSN 1413-7054.

OEHL, F. et al. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *International Mycological Association – Fungus*, v.2, n. 2, p. 191–199, 2011. DOI: 10.5598/ imafungus. 2011.02.02.10

OLIVEIRA, J. R. G. de. O papel da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) autóctones no desenvolvimento de espécies vegetais nativas em área de dunas de restinga revegetadas no litoral do Estado da Paraíba. *Revista Brasil. Bot.*, v. 32, n.4, p. 663-670, out.\dez. 2009.

PAULA, A. M.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J.O. Biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízicos em solo de *landfarming* de resíduos petroquímicos.- *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.10, n.2, p. 448–455, 2006.

_____. Contaminação do solo com antraceno e creosoto e o crescimento vegetal e a colonização micorrízica pelo *Glomus etunicatum*. *R. Bras. Ci. Solo*, v.31, p.805-811, 2007.

PAULA, A. M.; SIQUEIRA, J.O. Stimulation of hyphal growth of the VA mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* by suspension-cultured *Pueraria phaseoloides* cells and cell products. *New Phytol.*, v.115, p.69-75, 1990. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00923.x/pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

PEREIRA, G. M. D. Ocorrência de fungos endofíticos “*dark septate*” em raízes de *Oryza glumaepatula* na Amazônia. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.3, p.331-334, mar. 2011.

RAMOS, A. C. et al. An outlook on ion signaling and ionome of mycorrhizal symbiosis. *Braz. J. Plant Physiol.* [online], v. 23, n.1, p. 79-89, 2011. ISSN 1677-0420. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1677042020110001000100010&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 7 ago. 2012.

REININGER, V.; GRÜNIG, C. R.; SIEBER, T. N. Host species and strain combination determine growth reduction of spruce and birch seedlings colonized by root-associated dark septate endophytes. *Environmental Microbiology*, v. .v.14, n.4,

p.1064–1076, 2012. DOI:10.1111/j. 1462-2920.2011.02686.

RIVAS, P. E. C. *Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrizicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados*. Tese (Doutorado) - C.S.I.C. da Universidade de Granada. 2006. DOI:10481/1008. Disponível em: < <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/1008/1/16154952.pdf> >. Acesso em: 12 mar. 2012.

RODRIGUES, G. R. G. *Análise do crescimento de espécies vegetais utilizadas na restauração de áreas de restinga: resposta da adição de fungos micorrízicos arbusculares e nitrogênio*. 2008. 56p Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas. Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

SANTOS; E. A. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos em plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto, SP.p. 677-682.

SANTOS, F. S. et al. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. *Sci. Agric.*, v.64, n.5, p. 506-512, Piracicaba, 2007.

SANTOS, F. S. et al. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. *Sci. Agric.*, v.64, n.5, p. 506-512, Piracicaba, 2007.

SANTOS, M. G.; SYLVESTRE, L. da S.; ARAUJO, D. S.D. de. Análise florística das pteridófitas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Bot. Bras.* [online], v.18, n.2, p. 271-280, 2004. ISSN 0102-3306.

SANTOS, V. L. da S. *Fungos Micorrízicos Arbusculares em ecossistema de Mata Seca no Norte de Minas Gerais*. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, Seropédica, RJ, 2010.

SCHÜßLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.*, v.105, n.12, p. 1413±1421, Dec. 2001. # The British Mycological Society. DOI: 10.1017/S0953756201005196

SCHÜßLER, A.; WALKER C. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. In: *Libraries at The Royal Botanic Garden Edinburgh*. The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University, 2010. Disponível em: < http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/Schuessler&Walker2010_Glomeromycota.pdf > e < <http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/> > Acesso em: jul. 2012.

SILVA, E. M. *Condição micorrízica em espécies de Passiflora e efeito da simbiose na promoção do crescimento*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCB. Biologia de Fungos, 2008. Disponível em: < www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB2284.pdf >. Acesso em: 3 jul. 2011.

SILVA, L. J. *Processo de Landfarming para Tratamento de Resíduos Oleosos*. PROGRAMA EQ-ANP Processamento, Gestão e Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás Natural Processo. Dissertação (Mestrado) - UFRJ. 2009. Disponível em: < <http://www.eq.ufrj.br/prh13/download/?prh13-processo-de-landfarming->

tratamento-resíduos-oleosos.pdf >. Acesso em: 6 jun. 2010.

SILVA, S. da; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.12, p. 1749-1757, dez. 2006

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, Márcio R.; STÜRMER, Sidney L. Fungos Micorrízicos Arbusculares. *Rev. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, n. 25, p. 18-21, mar./abr.2002.

SMITH, S. E.; READ D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. London: Academic Press, 1997. 605 p.

SOUSA, C. S. et al. Influências da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos Paraibanos. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 4, p. 837-841, out. /dez. 2011.

SOUZA, E. F. de; PERES M. R.; MORAES S. B. de. Avaliação do desempenho de surfactantes para a solubilização de fases líquidas não aquosas em meio aquoso. *Quím. Nova*, v.. 33, n. 3, p.532-538, 2010.

SOUZA, F. A. de. *Biology, ecology and evolution of the family Gigasporaceae, arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota)*. The Netherlands: Leiden University, 2005. 157 p.

SOUZA, R. G. et al. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Brasil. Bot.*, v. 26, n. 1, p. 49-60, mar. 2003.

SOUZA, R. C. de. Caracterização da biota do solo da restinga de Marambaia, RJ, e estabelecimento de simbiose micorrízica em *Schinus terebinthifolius* Raddi. 108p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Seropédica, RJ, 2007.

SOUZA, V. C. de et al. Estudos sobre fungos micorrízicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, v.10, n.3, p. 612-618, 2006.

TANG, J. et al. Bioremediation of Petroleum Polluted Soil by Combination of Ryegrass with Effective Microorganisms. *Journal of Environmental Technology and Engineering*, v. 3, n.2, p. 80-86, 2010.

TRUFEM, S. F. B. Diversidade no Reino Fungi: Zigomycota. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. M. (Orgs.). *Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX*, 1 Microorganismos & Vírus; Canhos, V. P. C. & Vazoller, R. F. São Paulo: FAPESP, 1999. p. 35-42.

VIDALLI, M. Bioremediation: An overview. *Pure Applied Chemistry*. v. 73, p. 1163-1172, 2001. Disponível em: < <http://www.iupac.org/publications/pac/pdf/2001/pdf/7307x1163.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2010.

Artigo recebido em: 16 jun. 2013

Aceito para publicação em: 22 abr. 2015