

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MODALIDADE PROFISSIONAL**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E DARK SEPTATE  
ENDOPHYTES: ALTERNATIVA PARA A REMEDIAÇÃO DE SOLOS  
CONTAMINADOS COM CREOSOTO**

JANAÍNA SILVANO MARINHO TEIXEIRA

**JANAÍNA SILVANO MARINHO TEIXEIRA**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E *DARK SEPTATE ENDOPHYTES*:  
ALTERNATIVA PARA A REMEDIAÇÃO DE  
SOLOS CONTAMINADOS COM CREOSOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, linha de pesquisa Desenvolvimento e Sustentabilidade.

**Orientador:** Profº. D.Sc. Victor Barbosa Saraiva

**Co-orientadora:** Profº. D.Sc. Maria Inês Paes Ferreira


**CABO FRIO/RJ**

**2017**

Dissertação intitulada “**Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Dark Septate Endophytes*: alternativa para a remediação de solos contaminados com creosoto**”, elaborada por Janaína Silvano Marinho Teixeira e apresentada publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental na área de Biotecnologia, linha de pesquisa Desenvolvimento e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense.

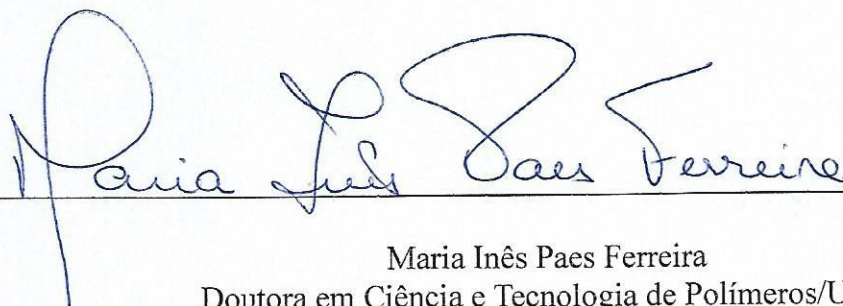
Aprovada em 26/10/2017.

BANCA EXAMINADORA:



Victor Barbosa Saraiva (Orientador)

Doutor em Ciências Biológicas (Biofísica)/ Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia Fluminense



Maria Inês Paes Ferreira

Doutora em Ciência e Tecnologia de Polímeros/UFRJ  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense



Emerson Brum Bittencourt

Doutor em Ciências (Meio Ambiente) /UERJ  
Professor ensino básico, técnico e tecnológico  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

## FICHA CATALOGRÁFICA

CIP-Catologação na fonte – Preparada pela Biblioteca do IFF *campus* Cabo Frio

T266f Teixeira, Janaina Silvano Marinho.

Fungos micorrízicos arbusculares e *Dark Septate Endophytes*: alternativa para a remediação de solos contaminados com creosostos. / Janaína Silvano Marinho Teixeira. – Cabo Frio, RJ : [s.n.], 2016.

79 f. : il. color.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, para obtenção do título em Mestre Engenharia Ambiental, 2016.

Orientador: Prof. D.Sc. Victor Barbosa Saraiva

1. Biologia. 2. Fungos. 3. Biorremediação. I. Saraiva, Victor Barbosa, orient. II. Título. III. Instituto Federal Fluminense.

CDD-579.5

## AGRADECIMENTOS

Diversas pessoas, fatores e instituições foram importantes para o meu desenvolvimento pessoal, intelectual e por consequência deste mestrado. Algumas foram responsáveis por ter tornado esta jornada mais leve e mais prazerosa. A todas essas pessoas e fatores quero agradecer de coração.

Primeiramente agradeço o Instituto Federal Fluminense, especialmente o Campus Cabo Frio, por ter me acolhido como uma segunda casa.

Agradeço ao programa Ciência sem fronteiras e a University of Western Australia por terem me dado à oportunidade de ver o mundo por outros ângulos, expandindo meus horizontes e me fazendo cidadã do mundo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a todos os amigos de lá por terem me ajudado a crescer como ser humano e me dar forças para seguir em frente na carreira acadêmica.

Aos meus pais Sandra e Paulo que me dão todo suporte.

À minha irmã Paula, que sempre acreditou em mim.

Ao Patrick William por me apoiar nas minhas decisões e me incentivar a seguir meus sonhos e projetos.

Aos meus queridos amigos, Marianne Nunes, Murillo Mascarenhas, Aline Câmara, Brenda Miranda, Alan Costa e Celso Guimarães que participam da minha jornada acadêmica desde 2012. Sem vocês não sei como seria!

Ao meu orientador, Victor Saraiva, por também fazer parte desta caminhada ao longo da minha trajetória no IFF. Agradeço os puxões de orelha, as horas de seriedade, as piadas, o ombro amigo e por acreditar em mim.

Ao meu querido mestre, Ocimar Ferreira, por toda ajuda, disposição, paciência e amizade.

Ao professor Manildo, assim como todos os professores do IFF, que servem de inspiração para nós alunos.

A Flávia Rezende, aluna de iniciação científica do LEMAM, no IFF campus Cabo Frio, por toda ajuda em coleta, tratamento de amostras e rizadas nas horas de trabalho.

Agradeço à turma de mestrado 2015.2 por todo suporte, auxílio e união em todos os momentos ao longo destes dois anos de mestrado.

Não posso deixar de agradecer aos meus filhos Valente e Catatau, minha sobrinha Elisabeth, por toda a alegria, pulos e lambidas ao chegar tarde em casa depois de horas no laboratório ou dias fora de casa. Obrigada crianças!

E por fim, agradeço a todos os fatores do universo que tornaram esta jornada possível.

Muito obrigada de coração!

“Never forget what you are, for surely the world will not. Make it your strength. Then it can never be your weakness. Armour yourself in it, and it will never be used to hurt you.”

(George R.R. Martin, A Game of Thrones)

## RESUMO

A biorremediação é uma importante técnica dependente de processos biológicos utilizada para a redução de resíduos. Graças à vasta diversidade metabólica do mundo microbiano é possível retirar ou minimizar uma variedade de poluentes de ambientes contaminados tanto por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) quanto por metais pesados. HPA são poluentes ambientais que possuem propriedades mutagênicas, cancerígenas e teratogênicas, representando grande ameaça para a saúde humana devido à sua bioacumulação na cadeia alimentar. Devido à alta resistência ao ataque nucleofílico e as propriedades da baixa biodisponibilidade a maioria dos HPA são recalcitrantes no ambiente. A biorremediação é considerada como uma tecnologia corretiva viável em relação às tecnologias de remediação física e química, devido à sua efetividade a custos reduzidos e não acarretando outros poluentes ao degradar hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, um exemplo é a biorremediação através uma das associações simbióticas mais conhecidas e comuns estabelecidas entre vegetais e fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Tal associação facilita uma melhor aquisição de água e nutrientes às plantas hospedeiras e parece isolar o carbono orgânico do solo. FMA podem utilizar uma grande proporção do carbono fixado pelas plantas. Outro fungo, conhecido como Dark Septate Endophyte (DSE), foi recentemente identificado como colonizador frequente da rizosfera vegetal. Evidências crescentes sugerem que os fungos associados à raiz da planta, como os FMA e os DSE, podem auxiliar aos vegetais a superar muitos estresses bióticos e abióticos. DSE são cosmopolitas e têm sido detectados em várias centenas de espécies de plantas. O objetivo deste estudo foi analisar sistematicamente publicações relacionadas aos fungos do tipo DSE ao longo deste século devido à sua importância em processos ecológicos e verificar a sua presença em área contaminada por creosoto, um HPA altamente nocivo ao ambiente. Os resultados da análise sistemática de publicações demonstram carência de estudos que relacionem os DSE e seu potencial biorremediador. Os resultados obtidos em verificação de rizoma vegetal em área contaminada por creosoto são positivos e confirmam sua presença assim como sua interação com FMA.

Palavras-chave: fungos endofíticos melanizados. Alcatrão de hulha. Rebio União. Área contaminada.



## ABSTRACT

Due to the vast metabolic diversity of the microbial world, it is possible to remove or minimize a variety of pollutants from environments contaminated by both polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and heavy metals. In this context, Bioremediation is an important technique dependent on biological processes used to reduce waste. It is considered as a viable corrective technology in relation to the technologies of physical and chemical remediation due to their effectiveness at reduced costs and not causing other pollutants when degrading polycyclic aromatic hydrocarbons. PAH are environmental pollutants that have mutagenic, carcinogenic and teratogenic properties, posing a major threat to human health due to their bioaccumulation in the food chain in order to its high resistance to nucleophilic attack and its low bioavailability properties. In bioremediation one of the most well known and common symbiotic associations established is between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plants. This association facilitates a better acquisition of water and nutrients to the host plants and seems to isolate the organic carbon from the soil. AMF may use a large proportion of the carbon fixed by the plants. In addition, another fungus, known as Dark Septate Endophyte (DSE), has recently been identified as a frequent colonizer of the plant rhizosphere. Increasing evidence suggests that fungi associated with the plant root, such as AMF and DSE, may support plants to overcome many biotic and abiotic stresses. DSE are cosmopolitan and have been detected in several species of plants. The aim of this study was to systematically analyze publications related to DSE-type fungi throughout this century due to their importance in ecological processes and to verify their presence in an area contaminated by creosote, an PAH particularly harmful to the environment. As results, it was observed a lack of studies that relate DSE and its potential to bioremediate contaminated areas. The results obtained in verification of plant rhizome in the area contaminated by creosote are positive and confirm its presence as well as its interaction with FMA.

Key words: melanized endophytic fungi. Coal tar. Rebio União. Brazilian protected areas.

## LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Systematic review, eligibility of the studies used. ....	56
Figure 2. Percentage of publications by research area. The percentages show the total number of publications found in the research areas: Ecology of DSE, Bioremediation by DSE and Interaction between DSE and FMA.....	57
Figura 1. Mapa Temático das Falhas Geológicas e das Áreas Contaminadas (Fonte: Plano de Manejo da .....	67
Figura 2 Observação de estruturas de FMA e DSE em raízes de Thelypteriaceae na Rebio União. (A) HFMA: hifa de fungo micorrízico arbuscular. HDSE: hifa de Dark septate endophyte. Aumento de 1000x. Fotos da autora. ....	71
Figura 3. A – F: Estruturas de FMA e DSE em raízes de pteridófitas da família Thelypteridaceae na Rebio União. ME: Microescleródio (B, C, D, E, F), HFMA: Hifa de fungo micorrízico arbuscular (B, C, D, E, F). HDSE: hifas de Dark septate endophyte (A, C, D, E). VES: vesícula (A, E). ESP: esporo (B, E). HOF: hifa de outro fungo (D). Aumento de 400x (A, B, C, D, E). Aumento de 1000x (F).....	72
Figura 4. Estruturas encontradas em amostra de raízes de pteridófitas da família Thelypteridaceae. HDSE: hifa de Dark septate endophyte. ME: microescleródio. HFMA: hifa de fungo micorrízico arbuscular. HOF: hifa de outro fungo.....	73

## LISTA DE QUADROS

Table 1 Qualis Capes equivalence to the Impact factor measured by the Institute for Scientific Information (ISI).....	41
Table 2 Dark Septate Endophyte, ecology. Publications found in the main databases and classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria by area and impact factor of the periodicals where they were published. ....	41
Table 3 Dark Septate Endophyte bioremediation. Publications found in the main databases and classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria by area and impact factor of the periodicals where they were published. ....	48
Table 4 Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and DSE Publications found in the main databases and classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria by area and impact factor of the periodicals where they were published. ....	50

## SUMÁRIO

Programa de pós-graduação em engenharia ambiental mestrado em engenharia ambiental	
Fungos micorrízicos arbusculares e dark septate endophytes: alternativa para a remediação de solos contaminados com creosoto .....	i
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	viii
Abstract.....	xi
Lista de figuras .....	x
Lista de quadros.....	xi
Sumário.....	12
Apresentação .....	14
2. Artigo científico i.....	16
Abstract.....	18
1. Introduction .....	19
2. Methodology.....	20
3. Results and discussion .....	21
3.1 Dark septate endophytes, ecology and association with vegetables.....	21
3.2 Dark septate endophyte bioremediation potential .....	22
3.3 Interactions, similarities and divergences between arbuscular mycorrhizal fungi (amf) and DSE.....	24
4. Conclusion.....	25
References .....	26
3. Artigo científico ii.....	58
Identificação de fungos micorrízicos arbusculares e dark septate endophytes associados à pteridófitas localizadas em solo contaminado com creosoto	
Resumo .....	59

Abstract.....	60
1. Introdução.....	61
2. Revisão de literatura .....	63
2.1 Biorremediação e substâncias com potencial biotecnológico .....	63
2.2 Pteridófitas e dse.....	65
3. Metodologia.....	66
3.1 Local de coleta das amostras .....	66
3.2 Metodologia de amostragem do solo e plantas para estudo.....	68
3.2.1 Avaliação das raízes .....	68
3.3 Resultados e discussão.....	69
3.3.1 Análise do solo coletado.....	69
3.3.2 Verificação de estruturas fúngicas em raízes de pteridófito da família thelypteridaceae..	71
3.4 Conclusão .....	74
Referências .....	75

## APRESENTAÇÃO

Os fungos do tipo endofíticos septados escuros (DSEF) ou *Dark Septate Endophytes* (DSE) constituem o grupo de fungos endofíticos de raízes de plantas que ocorrem dentro dos tecidos de vegetais (WILSON, 1995). O termo *Dark Septate Endophytes* foi utilizado para descrever fungos que formam hifas septadas parcialmente ou totalmente melanizadas dentro de tecidos saudáveis de raiz (STOYKE & CURRAH, 1991).

DSE são frequentemente encontrados no córtex, epiderme e sobre a superfície de raízes, colonizam uma ampla variedade de plantas, são cosmopolitas e muitas vezes coexistem com diferentes tipos de fungos micorrízicos como os FMA, habitando o mesmo nicho dentro das raízes das plantas (JUMPPONEN e TRAPPE, 1998; SEERANGAN & THANGAVELU, 2014). Demonstram tolerância fisiológica ao stress de áreas contaminadas com metais pesados, indicando potencial biorremediador, porém esta relação aparentemente não é bem documentada na literatura científica.

A síntese de pesquisa tem como objetivo agrupar em um só trabalho os resultados quantitativos e qualitativos de um número significativo de trabalhos e definir o atual status do conhecimento sobre uma determinada pesquisa, tornando a consulta sistemática de trabalhos mais antigos, dispensável e, otimizando a busca por respostas para determinada questão científica (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2014). Revisões sistemáticas têm obtido grande destaque na solução e síntese de problemas na área de saúde (FUCHS & PAIM, 2010). Entretanto, estes métodos fazem-se necessários e apresentam-se como extremamente importantes no meio científico otimizando as buscas na pesquisa.

Nesse contexto, o presente estudo foi dividido em dois artigos para atender as normas do programa de mestrado profissional em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense de Educação, Ciência e Tecnologia, o primeiro artigo tem como objetivo verificar, através da revisão sistemática, trabalhos publicados sobre *Dark Septate Endophyte* (DSE) e a relevância de suas publicações para a pesquisa científica. Foram realizadas buscas nas principais bases acadêmicas de fontes de dados e em seguida os dados entre os anos 2000 a 2016 foram agrupados em três tabelas de acordo com sua temática relacionada, respeitando a linha de pesquisa desenvolvida no Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental (LEMAM): Ecologia dos fungos tipo DSE, Biorremediação (interação com metais pesados) e DSE e sua interação com Fungos Micorrízicos Arbusculares. O trabalho do segundo artigo objetivou a identificação de presença do fungo *Dark Septate Endophyte* em área contaminada por hidrocarboneto policíclico aromático e seu possível potencial biorremediador. O local de estudo

foi a Reserva Biológica União, localizada em Macaé no estado do Rio de Janeiro que tornou-se uma unidade de conservação integral à partir da década de 90 após três décadas da antiga Fazenda União, da Rede Ferroviária Federal, utilizar creosoto para o tratamento de dormentes sem descarte apropriado. Foram realizadas coletas de amostras de solo e raízes de vegetais visando a identificação dos hidrocarbonetos existentes e a investigação de relação simbiótica entre fungos e vegetais na rizosfera de vegetais.

## 2. ARTIGO CIENTÍFICO I

### **SYSTEMATIC REVIEW OF STUDIES RELATED TO THE DARK SEPTATE ENDOPHYTE FUNGI: ECOLOGY, BIOREMEDIATION AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI INTERACTION**

*Janaína Silvano Marinho Teixeira<sup>1\*</sup>, M. Sc. Ocimar Ferreira de Andrade<sup>2</sup>, D.Sc Maria Inês Paes Ferreira<sup>3</sup>, D.Sc Manildo Márcio de Oliveira<sup>4</sup>, D.Sc Ricardo Luis Louro Berbara<sup>5</sup>, D.Sc Victor Barbosa Saraiva<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> janainasmt@yahoo.com.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Cabo Frio, RJ. (22)992893060

<sup>2</sup> ocimarferreira@gmail.com, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Cabo Frio, RJ.

<sup>3</sup> ines\_paes@yahoo.com.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Macaé, RJ.

<sup>4</sup> manildodpicf@gmail.com, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Cabo Frio, RJ.

<sup>5</sup> berbara@ufrj.br, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ.

<sup>6</sup> vbsaraiva@gmail.com, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Cabo Frio, RJ.



## **Resumo**

*Os fungos do tipo endofíticos septados escuros (DSEF) ou Dark Septate Endophytes (DSE) constituem o grupo de fungos endofíticos de raízes de plantas que ocorrem dentro dos tecidos de vegetais. O termo Dark Septate Endophytes foi utilizado para descrever fungos que formam hifas septadas parcialmente ou totalmente melanizadas dentro de tecidos saudáveis de raiz. DSE são frequentemente encontrados no córtex, epiderme e sobre a superfície de raízes, colonizam uma ampla variedade de plantas, são cosmopolitas e muitas vezes coexistem com diferentes tipos de fungos micorrízicos como os FMA, habitando o mesmo nicho dentro das raízes das plantas. Demonstram tolerância fisiológica ao stress de áreas contaminadas com metais pesados, indicando potencial biorremediador, porém esta relação aparentemente não é bem documentada na literatura científica. A síntese de pesquisa tem como objetivo agrupar em um só trabalho os resultados quantitativos e qualitativos de um número significativo de trabalhos e definir o atual status do conhecimento sobre uma determinada pesquisa, tornando a consulta sistemática de trabalhos mais antigos, dispensável e, otimizando a busca por respostas para determinada questão científica. Revisões sistemáticas têm obtido grande destaque na solução e síntese de problemas na área de saúde. Entretanto, estes métodos fazem-se necessários e apresentam-se como extremamente importantes no meio científico como ferramenta para otimizar as buscas na pesquisa. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo verificar, através da revisão sistemática, trabalhos publicados sobre Dark Septate Endophyte (DSE), a relevância de suas publicações para a pesquisa científica, a identificação de sua possível presença em área contaminada por hidrocarboneto policíclico aromático e seu possível potencial biorremediador. Como metodologia foram realizadas buscas nas principais bases acadêmicas de fontes de dados e em seguida os dados entre os anos 2000 a 2016 foram agrupados em três tabelas de acordo com sua temática relacionada, respeitando a linha de pesquisa desenvolvida no Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental (LEMAM): Ecologia dos fungos tipo DSE, Biorremediação (interação com metais pesados) e DSE e sua interação com Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA). Como resultado a análise sistemática demonstrou que as publicações relacionadas aos fungos do tipo Dark Septate Endophyte possuem grande relevância científica já que apresentam fatores de impacto significantes segundo as classificações do Journal Citation Reports e a classificação brasileira do Qualis Capes. Entretanto, há uma discrepância em relação ao número de publicações que se referem ao potencial biorremediador desses fungos.*

*Palavras-chave: Fungos endofíticos, Biorremediação, microorganismos indígenas, áreas degradadas.*

## Abstract

Dark Septate Endophytes (DSE) constitutes the group of endophytic fungi of plant roots that occur within plant tissues. DSE are often found in the cortex, epidermis and on the surface of roots, colonize a wide variety of plants, are cosmopolitan and often coexist with different types of mycorrhizal fungi like FMA, inhabiting the same niche within the roots of plants. They demonstrate physiological tolerance to the stress of areas contaminated with heavy metals, indicating potential bioremediation. This paper aims to determine, by systematic review methodology, studies on DSE through the critical bibliography databases selection, and evaluate its scientific productivity and relevance by the Brazilian Qualis Capes criteria and the international criteria of the Journal Citation Reports, making the systematic consultation of older works, dispensable and, optimizing the search for answers to a particular scientific question. Systematic reviews have obtained great prominence in the solution and synthesis of problems in the medicine field. However, these methods are necessary and present themselves as extremely important in the scientific environment as a tool to optimize research searches. In this context, the present study aims to verify, through the systematic review, published works on Dark Septate Endophyte (DSE), the relevance of its publications for scientific research, the identification of its possible presence in an area contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons and its potential to bioremediate degraded areas. As methodology, searches were carry out on the main academic bases of data sources. Then the data from the year 2000 to 2016 were grouped into three tables according to their related theme, respecting the line of research developed in the Laboratory of Ecotoxicology and Environmental Microbiology (*LEMAM – Laboratório de ecotoxicologia e microbiologia ambiental*): Ecology of fungi type DSE, DSE Bioremediation (interaction with heavy metals) and their interaction with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF). As a result, the systematic analysis showed that the publications related to the Dark Septate Endophyte type fungi have great scientific relevance since they present significant impact factors according to the Journal Citation Reports and the Brazilian classification of Qualis Capes. However, there is a discrepancy regarding the number of publications refered to the bioremediate potential of these fungi. From this systematic review, it was concluded that the study of fungi *Dark Septate Endophyte* type has an increased relevance, as it is published in journals considered highly scientific valued, nationally and internationally.

Keywords: Endophytic Fungi, Bioremediation, indigenous microorganisms, degraded areas remediation, PAH.

## 1. INTRODUCTION

One of the deepest insights of the last century is that no macroscopic organism exists in nature in the absence of microorganisms. From the bacterial microflora associated with the animals digestive system to mycorrhizal fungi that optimize nutrient absorption and water use efficiency by vegetables (MORAN, 2006).

Microorganisms play critical roles often neglected in biological interrelationships that maintain all ecosystems (JANSON *et al.*, 2010). In dystrophic environments plants have to cope with high temperatures, intense solar radiation, nutrient-poor soil, physiological and ecological challenges. Its success is due to morphological and biochemical adaptations, however, the intimate associations of plants with microorganisms are less explored (ANDRADE, 2016; JACQUES *et al.*, 2007). These associations may confer thermal tolerance, resistance to drought, and important benefits that would increase the survival, primary productivity and structure of plant community (MARNECO *et al.*, 2012).

Among symbiotic associations, fungal and plant symbiosis is the most common in natural and agricultural ecosystems. Studies have shown that the presence of those microorganisms improves the supply of water and nutrients to the host plant, such as phosphorus and nitrogen. In return, up to 20% of the fixed-plant carbon is transferred to the fungus (PERLATTI, 2010). The transport of nutrients occurs through symbiotic structures, known as arbusculo and vesicles, inside the cells of the plant root.

Recently, Arbuscular Mycorrhizal Fungi (FMA) and Dark Septate Endophyte (DSE) have received increasing attention from researchers due to their behaviour in dystrophic environments (ANDRADE *et al.*, 2016; ANDREW *et al.*, 2012; BILLS & STUTZ, 2009; GILBERT *et al.*, 2010; HERRERA *et al.*, 2010; BARROW, 2003).

In addition, they confer beneficial properties to plants in symbiotic relationships under extreme stress conditions; FMA and DSE may also have a bioremediation potential (SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2005; KHAN, 2006; ANDRADE *et al.*, 2016) and may be a solution to degraded areas recovery. Around 80% of vascular plants have an association with AMF (WANG & QIU, 2006). Plants that do not form this association probably lost this characteristic during evolutionary history, evolving to another type of mycorrhiza, such as ectomycorrhizae, orchididae mycorrhizae or Eryloids, or just lost the ability to form any kind of mycorrhizal association (BRUNDRETT, 2009).

This paper aims to verify the quality of the publications of Dark Septate Endophyte between the years 2000 to 2016. Through the systematic analysis of the relevance of academic production available in the main academic databases regarding ecology, interactions with FMA and the potential bioremediator of the Dark Septate Endophyte type fungi.

## **1. METHODOLOGY**

A systematic study was conducted (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2014; FUCHS & PAIM, 2010) on articles published during this century, from 2000 to 2016, in international databases as Research Gate, Google Scholar, Pubmed, Scopus, Scielo and the Brazilian database Capes periodicals. The studies were classified according to the Qualis Capes criteria according to the intended area of evaluation (Interdisciplinary), for studies that did not have interdisciplinary as evaluation area, it was used areas that approached the line of research in bioremediation. The areas used were biodiversity, biotechnology, agricultural sciences, agricultural sciences I, environmental sciences, biological sciences I, engineering II, teaching and pharmacy. The classification of journals by Qualis Capes is carry out by the evaluation areas and undergoes an annual updating process. These vehicles are classified into indicative quality strata - A1, the highest; A2; B1; B2; B3; B4; B5 and C, which is equivalent to zero. In the four upper strata, the journal should have an impact factor measured by the Institute for Scientific Information (ISI) (table 1).

The indicator for ranking journals B3, B4 and B5 (which have no impact factor) is the database in which they are indexed. Indexing of journals on international bases, with broad access and placement, gives a higher ranking. The journals indexed in Medline / PubMed are classified as B3. Electronic versions of journals indexed in ISI, but not indexed, are classified as B3. Indexed journals on Scielo are classified as B4. Indexed journals in LILACS, LATINDEX or similar are classified as B5. Finally, journals that are irrelevant to the area are classified in stratum C and will not receive scoring.

After the Brazilian national classification, the journals in which the articles were published were classified based on the Journal Citation Reports, ISI Web Knowledge international criteria, which is calculated by the total number of references cited and number of articles published. For the paper it was used the impact factor for the last 5 years.

It was selected studies that addressed the ecology, bioremediation potential and interactions, similarities and divergences of DSE fungi with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The search process used the following keywords: "DSE bioremediation", "Dark Septate Endophyte", "Dark Septate Endophyte ecology", "Endophytic Fungi", "Dark Septate Endophytic Fungi", and "Metals and Dark Septate Endophyte". The following inclusion criteria used were: (a) articles dealing with the ecology of DSE, (b) studies addressing DSE, (c) studies addressing the relationship between metals and DSE, (d) the importance of these fungi to Plant growth under stress conditions and (e) characterization of DSE.

In order to exclude the studies which were not relevant for this paper, the following criteria were adopted (figure 1): (a) studies which were not in English or Portuguese language, (b) studies dating before 2000, (c) articles focusing only on other species of fungi, (d) Publications not rated by Qualis Capes 2015. To verify if the articles met the inclusion criteria, the titles of all identified papers were evaluated as well as their abstracts. After reading the abstracts, if they were not clear about the search criteria, the article was read in full. Studies of the interaction between DSE and fungi other than FMA were grouped with articles that dealt with the ecology of the Dark Septate Endophyte.

## **2. RESULTS AND DISCUSSION**

### **3.1 Dark Septate Endophytes, ecology and association with vegetables**

DSE are found throughout the world and have been detected in several plant species (MANDYAM & JUMPPONEN, 2005; SIEBER & GRUNIG, 2013), their overall occurrence, associations between endophytic fungi in plant roots and their abundance in habitats need studies in order to decipher their potential functions. A better understanding of its ecology, including host range, host preferences and responses to its colonization has been possible through the study of the populations of these endophytes (MANDYAM & JUMPPONEN, 2014).

This group is probably paraphyletic, and contain conidia as well as fungi that colonize the roots intracellularly or extracellularly (MANDYAM & JUMPPONEN, 2005). DSE fungi are septate and have melanised hyphae, colonize cortical cells and intercellular regions of the roots and

form a densely septate intracellular structure called the microsclerodium (YU *et al.*, 2001). DSE is a taxon and aids mainly in the differentiation of endophytic fungi from septate hyaline hyphae, sparsely septate fungi and hyaline hyphae, which are characteristic of AMF, their distinction is based on the degree of pigmentation that is often considered arbitrary, its melanisation is Very variable in some species (BONFIM *et al.*, 2016).

Sieber and Grünig (2013) define DSE as endophytic fungi that present colorations among partially dark brown, dark grey or black colonies, when in 2% (w / v) malt extract (MEA), incubated at 20°C and / or which have melanised structures in the roots. The presence of melanin in DSE gives them a selective advantage due to their presence in different environments under extreme conditions, such as under water stress environments (KNAPP *et al.*, 2012), acidic conditions (POSTMA *et al.*, 2007) and contaminated soils by heavy metals (BAN *et al.*, 2012; ZHAO *et al.*, 2015).

In different strains and species of DSE it have been found enzymes, including laccases, lipases, amylases and polyphenol oxidases that are able to break down many organic compounds, including starch, cellulose, laminari, xylan, gelatin, and RNA from sets of Detrital nutrients (CALDWELL *et al.*, 2000). According to Mandyam and Jumpponem (2005), their nitrogen uptake is from a variety of sources, and the Dark Septate Endophyte is capable of using amino acids such as alanine, glycine, arginine as efficiently as ammonium, guanine, and uric acid.

Following are presented studies found in main scientific databases which were classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria (table 2), after listing it was made a graph for results better visualization (figure 2).

## **2.2 Dark Septate Endophyte Bioremediation potential**

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are present in products made of creosote, coal tar and asphalt (LEE *et al.*, 2015). Due to its reduced environmental impact and relatively low cost compared to other technologies, bioremediation has been presenting itself as a reliable and innovative technique in the search for solutions to eliminate toxic waste in the environment (SAGGIN JÚNIOR; KHAN, 2006).

Another concern with regard to pollutants is heavy metals and metalloids that may be potential soil contaminants. Due to their accumulation through emissions from rapidly expanding

industrial areas, mining waste, waste disposal with high concentrations of metals, paints, fertilizer application, sewage sludge, pesticides, wastewater irrigation, coal combustion waste, petrochemical product spills and atmospheric deposition (KHAN *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2010).

Metals do not undergo microbial degradation, and their total concentration in soils lasts for a long period after their introduction (KIRPICHTCHIKOVA *et al.*, 2006). In general, the benefits ranging from nutrient enhancement and water acquisition to plant growth, soil strength and stability, are attributed to mycorrhizal fungi. Their structures may help the survival of plants growing on polluted soils and thus help in the Recovery of such areas (ANDRADE *et al.*, 2016; ANDREW *et al.*, 2012; BILLS & STUTZ, 2009; GILBERT *et al.*, 2010; HERRERA *et al.*, 2010; BARROW, 2003). Although, depending on the concentration of heavy metals, mycorrhizae may not always be able to assist in the repair of polluted soils. In high concentrations, the activities of these fungi may be inhibited. According to some studies, arbuscular mycorrhizal fungi may be more sensitive to these pollutants (PAWLOWSKI *et al.*, 2000; LEYVAL *et al.*, 2002; TURNAU *et al.*, 2006; DESALME *et al.*, 2012; BHALERAO, 2013).

On the other hand, Dark Septate endophytic fungi appear to have another type of behaviour in the presence of heavy metals. Studies have demonstrated abundant DSE in different habitats and data on their possible roles in the ecosystem (MANDYAM & JUMPPONEN, 2005). DSE are generally present in roots of dominant plant species in soils contaminated with high concentrations of heavy metals (DERAM *et al.*, 2008; LI *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2013). Many strains of melanised endophytic fungi from contaminated areas have high resistance to Pb, Zn and Cd (BAN *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2008), nonetheless, the physiological tolerance of DSE to the stress of contaminated areas with metals is not well documented. As a defence strategy to the toxicity of heavy metals, fungi eventually cause oxidative damage to the vegetable tissue, such damage occur when heavy metal ions enter the cells (AZEVEDO *et al.*, 2007). Reactive oxygen species may cause oxidative damage to membrane lipids, enzymes, nucleic acids and other biomolecules (MITTLER, 2002). To overcome the oxidative damage caused by the heavy metal toxicity, fungi have developed antioxidant defence systems involving antioxidant enzymes such as superoxide dismutase, catalase and antioxidants such as glutathione and non-proteinthiol (HEGEDÜS *et al.*, 2001; AZEVEDO *et al.*, 2007). Cevnik *et al.* (2000) reported that DSE are the dominant fungi of healthy roots in soils contaminated with lead, cadmium and zinc. Ruotsalainen *et al.* (2007) reported that the colonization of DSE hyphae in

plants at the polluted site was not affected by heavy metals compared to the control area, with higher numbers of cellular intracellulars indicating a strategy of survival in the unfavourable environment.

Experiments have shown that ectomycorrhizal fungi may be in high concentrations of metals and accumulate them in the mycelium, protecting their intoxication host by heavy metals (COLPAERT *et al.*, 2000; ZAPOTOCZNY *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008).

### **2.3 Interactions, similarities and divergences between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and DSE**

Mycorrhizal fungi (AMF) play an important role in soil structure, absorption of nutrients and plant survival. Currently a number of researchers have found that plants associated with AMF may also associate with dark septate endophytes (DSE). Studies have observed that dark mycelium endophytes can also promote plant growth in a range of environments, in addition to FMA colonization, more than 600 plant species are often colonized by (DSE), with a function not yet fully known to plants (JUMPPONEN; TRAPPE, 1998).

DSE colonization differs morphologically from usual mycorrhizal symbiosis and is identified primarily by its dark and pigmented hyphae and microsclerodes which develop inter and intracellularly inside the cortex. The dark colour of the mycelium is a result from the incorporation of melanin, a natural dark pigment (GRÜNIG *et al.*, 2011).

NEWSHAN (2011) suggests that DSE contribute to increase plant biomass and P and N content, especially when N is supplied in organic form. It was also observed that the DSE can coexist with AMF and produce metabolites capable of increasing the germination, growth and branching of these fungi, which indirectly benefit the host plant (SCERVINO *et al.*, 2009). In addition to the nutritional effect, DSE gives protection to the host plant against pathogens (RODRIGUEZ *et al.*, 2009; REININGER; SIEBER, 2012) and adaptation to extreme soil conditions (SCHMIDT *et al.*, 2008), such as soil contaminated with heavy metals (BAIN *et al.*, 2005), with water stress, saline conditions and with high acidity content (KNAPP *et al.*, 2012; POSTMA *et al.*, 2007; WALLER *et al.*, 2005).

However, there is evidence that these fungi may also have neutral or negative effects on the growth of their hosts (JUMPPONEN, 2001; SARAVESI *et al.*, 2014).

The table 4 presents studies that show interactions, similar characteristics or divergences between AMF and DSE.



#### 4. CONCLUSION

From the analysed data and tables, it is possible to infer that the research of Dark Septate Endophyte is extremely important as it has high impact factor according to the main entities responsible for measuring the influence and impact of specific scientific research. The research on DSE is considered of extreme scientific relevance, such fungi have an important role in the performance of plants and their tolerance to dystrophic environments, characterized by high stress, acids and nutrient poor soils.

According to Dos Santos *et al.* on his study “Dark septate endophyte decreases stress on rice plants”, published in April 2017, the melanin in fungal structures may also have functioned as an antioxidant agent, controlling the free radicals formed due to oxidative stress and supporting the prevention of cell damage, therefore contributing to higher plant growth under unfavourable conditions. The results also suggests that endophytic microorganisms, such as DSE, are capable of promoting host plant growth through mechanisms other than those associated to plant nutrition or nutrient solubilisation.

DSE are endophytic fungi typical of plant roots, their potential effects on host plants should be considered. In the presence of heavy metals, these fungi may affect the absorption of heavy metals and their tolerance by plants. However, little is known about the mechanism of how DSE improves the tolerance of their host plants to these metals. Therefore, it is inferred that such relations must be mediated by the physiological interactions between the DSE and its hosts. Understanding the mechanisms of heavy metal tolerance may reveal the ecological role of DSE in habitats polluted by heavy metals.

As a result, it was possible to conclude that the research of Dark Septate Endophytic Fungi has high academic relevance due to its publications having a high impact factor according to the Journal Citation Reports. The JCR evaluates and relates the number of times a given publication was cited during a specific year and the number of articles published in the same newspaper during that same year and for being mostly in journals A1, A2, B1 and B2, according to the Qualis Capes evaluation criteria.

The difference in the number of publications by study areas is remarkable; however, in all areas publications presented a high impact index and therefore relevant to scientific research.

## REFERENCES

- AN, Hongmei *et al.* Characterization of cadmium-resistant endophytic fungi from *Salix variegata* Franch. in Three Gorges Reservoir Region, China. *Microbiological research*, v. 176, p. 29-37, 2015.
- ANDRADE, O.F. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em uma formação vegetal de restinga: ecologia e potencial para micorrizorremediação de hidrocarboneto do petróleo. *Vértices*, 17(3), pp.7-33, 2016.
- ANDRADE-LINARES, Diana Rocio *et al.* Effects of dark septate endophytes on tomato plant performance. *Mycorrhiza*, v. 21, n. 5, p. 413-422, 2011.
- ANDRADE-LINARES, Diana Rocio *et al.* Colonization of roots of cultivated *Solanum lycopersicum* by dark septate and other ascomycetous endophytes. *Mycologia*, v. 103, n. 4, p. 710-721, 2011.
- ANDREW, D. R. *et al.* Abiotic factors shape microbial diversity in Sonoran Desert soils. *Applied and environmental microbiology*, 78(21), 7527-7537, 2012.
- AFFHOLDER, Marie-Cécile *et al.* As, Pb, Sb, and Zn transfer from soil to root of wild rosemary: do native symbionts matter? *Plant and soil*, v. 382, n. 1-2, p. 219-236, 2014.
- AZEVEDO, M. *et al.* Responses of antioxidant defenses to Cu and Zn stress in two aquatic fungi. *Science of the total environment*, v. 377, n. 2, p. 233-243, 2007.
- BAN, Yihui *et al.* The response of dark septate endophytes (DSE) to heavy metals in pure culture. *PloS one*, v. 7, n. 10, p. e47968, 2012.
- BAGYALAKSHMI, Govindaraj *et al.* Mycorrhizal and dark septate fungal associations in shola species of Western Ghats, southern India. *Mycoscience*, v. 51, n. 1, p. 44-52, 2010.
- BARTHOLDY, B. A.; BERRECK, M.; HASELWANDTER, K. Hydroxamate siderophore synthesis by *Phialocephala fortinii*, a typical dark septate fungal root endophyte. *Biometals*, v. 14, n. 1, p. 33-42, 2001.
- BARROW, J. R. Atypical morphology of dark septate fungal root endophytes of *Bouteloua* in arid southwestern USA rangelands. *Mycorrhiza*, 13(5), 239-247, 2003.
- BARROW, Jerry; AALTONEN, Ronald. Evaluation of the internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. roots by dark septate fungi and the influence of host physiological activity. *Mycorrhiza*, v. 11, n. 4, p. 199-205, 2001.
- BENNETT, Alison E. *et al.* Plant lignin content altered by soil microbial community. *New Phytologist*, v. 206, n. 1, p. 166-174, 2015.
- BERTHELOT, Charlotte *et al.* Plant growth promotion, metabolite production and metal tolerance of dark septate endophytes isolated from metal-polluted poplar phytomanagement sites. *FEMS Microbiology Ecology*, p. fiw144, 2016.
- BHALERAO, S. A. Arbuscular mycorrhizal fungi: a potential biotechnological tool for phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *International Journal of Science and Nature*, v. 4, p. 1-15, 2013.
- BIZABANI, Christine; DAMES, Joanna Felicity. Assimilation of organic and inorganic nutrients by *Erica* root fungi from the fynbos ecosystem. *Fungal biology*, v. 120, n. 3, p. 370-375, 2016.

- BILLS, R. J., & STUTZ, J. C.. AMF associated with indigenous and non-indigenous plants at urban and desert sites in Arizona. In *Mycorrhizas-Functional Processes and Ecological Impact* Springer Berlin Heidelberg, p. 207-220, 2009.
- BONFIM, J. A. *et al.* Dark septate endophytic fungi of native plants along an altitudinal gradient in the Brazilian Atlantic forest. *Fungal Ecology*, 20, 202-210, 2016.
- BOUKHRIS, Asma *et al.* Changes in mesophyll element distribution and phytometabolite contents involved in fluoride tolerance of the arid gypsum-tolerant plant species *Atractylis serratuloides* Sieber ex Cass (Asteraceae). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 10, p. 7918-7929, 2015.
- CALDWELL, B.A. *et al.* Utilization of Major Detrital Substrates by Dark-Septate, Root Endophytes. *Mycologia* 92: 230-232, 2000.
- CARD, Stuart D. *et al.* Beneficial endophytic microorganisms of Brassica—a review. *Biological Control*, v. 90, p. 102-112, 2015.
- CASANOVA-KATNY, M. Angélica *et al.* The best for the guest: high Andean nurse cushions of *Azorella madreporica* enhance arbuscular mycorrhizal status in associated plant species. *Mycorrhiza*, v. 21, n. 7, p. 613-622, 2011.
- CÁZARES, Efrén; TRAPPE, James M.; JUMPPONEN, Ari. Mycorrhiza-plant colonization patterns on a subalpine glacier forefront as a model system of primary succession. *Mycorrhiza*, v. 15, n. 6, p. 405-416, 2005.
- CEVNIK, M. A. T. E. J. A. *et al.* Filamentous fungi associated with the fine roots of *Erica herbacea* L. from the area influenced by the Zerjav lead smelter (Slovenia). *PHYTON-HORN-40.4*: 61-64, 2000.
- CHAUDHRY, Muhammad S. *et al.* Coexistence of arbuscular mycorrhizae and dark septate endophytic fungi in an undisturbed and a disturbed site of an arid ecosystem. *Symbiosis*, v. 49, n. 1, p. 19-28, 2009.
- CHAUDHRY, Muhammad Shafiq; NASIM, F. H.; KHAN, Abdul G. Mycorrhizas in the perennial grasses of Cholistan desert, Pakistan. *International Journal of Botany*, v. 2, n. 2, p. 210-218, 2006.
- CURLEVSKI, Nathalie JA *et al.* Identical genotypes of an ericoid mycorrhiza-forming fungus occur in roots of *Epacris pulchella* (Ericaceae) and *Leptospermum polygalifolium* (Myrtaceae) in an Australian sclerophyll forest. *FEMS microbiology ecology*, v. 67, n. 3, p. 411-420, 2009.
- COLPAERT, J.V. Genetic variation and heavy metal tolerance in the ectomycorrhizal basidiomycete *Suillusluteus*. *New Phytol.* 147, 367-379, 2000.
- DESALME, D. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungal infectivity in two soils as affected by atmospheric phenanthrene pollution. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 223, n. 6, p. 3295-3305, 2012.
- DAS, Panna; KAYANG, Highland. Association of dark septate endophytes and arbuscular mycorrhizal fungi in potato under field conditions in the northeast region of India. *Mycology*, v. 1, n. 3, p. 171-178, 2010.
- DAY, Melissa J.; CURRAH, Randolph S. Role of selected dark septate endophyte species and other hyphomycetes as saprobes on moss gametophytes. *Botany*, v. 89, n. 5, p. 349-359, 2011.
- DAVID, Aaron S. *et al.* Draft genome sequence of *Microdochium bolleyi*, a dark septate fungal endophyte of beach grass. *Genome announcements*, v. 4, n. 2, p. e00270-16, 2016.

- DELLA MONICA, I. F. *et al.* The co-existence between DSE and AMF symbionts affects plant P pools through P mineralization and solubilization processes. *Fungal Ecology*, v. 17, p. 10-17, 2015.
- DERAM, A.; LANGUEREAU, F.; HALUWYN, C. Van. Mycorrhizal and endophytic fungal colonization in *Arrhenatherum elatius* L. roots according to the soil contamination in heavy metals. *Soil and Sediment Contamination*, v. 20, n. 1, p. 114-127, 2011.
- DERAM, A. *et al.* CV Seasonal patterns of cadmium accumulation in *Arrhenatherum elatius* (Poaceae): influence of mycorrhizal and endophytic fungal colonisation. *Soil Biol Biochem* 40:845–848, 2008.
- DOS SANTOS, S. G., DA SILVA, P. R. A., GARCIA, A. C., ZILLI, J. É., & BERBARA, R. L. L. (2016). Dark septate endophyte decreases stress on rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*. v.48, p. 333–341, April 2017.
- DRUILLE, M. *et al.* Repeated annual glyphosate applications may impair beneficial soil microorganisms in temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 230, p. 184-190, 2016.
- DOLINAR, Nataša; GABERŠČIK, Alenka. Mycorrhizal colonization and growth of *Phragmites australis* in an intermittent wetland. *Aquatic Botany*, v. 93, n. 2, p. 93-98, 2010.
- FERNÁNDEZ, Natalia Verónica; MESSUTI, María Inés; FONTENLA, Sonia Beatriz. Occurrence of arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes in pteridophytes from a Patagonian rainforest, Argentina. *Journal of basic microbiology*, v. 53, n. 6, p. 498-508, 2013.
- FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto *et al.* O que é, para que serve e como se faz uma meta-análise. *Revista Teoria & Pesquisa*, v. 23, n. 2, p. 205-228, 2014.
- FRACCHIA, S. *et al.* Dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes by *Ctenomys cf. knighti* (Rodentia) in the northern Monte Desert of Argentina. *Journal of Arid Environments*, v. 75, n. 11, p. 1016-1023, 2011.
- FRACCHIA, Sebastian *et al.* Mycorrhizal status of plant species in the Chaco Serrano Woodland from central Argentina. *Mycorrhiza*, v. 19, n. 3, p. 205-214, 2009.
- FUCHS, Sandra Costa; PAIM, Betina Soldateli. Revisão sistemática de estudos observacionais com metanálise. *Clinical & Biomedical Research*, v. 30, n. 3, 2010.
- FUCHS, B.; HASELWANDTER, K. Red list plants: colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes. *Mycorrhiza*, v. 14, n. 4, p. 277-281, 2004.
- FUJIMURA, Kei E.; EGGER, Keith N.; HENRY, Gregory HR. The effect of experimental warming on the root-associated fungal community of *Salix arctica*. *The ISME journal*, v. 2, n. 1, p. 105-114, 2008.
- GARCÍA, Ileana; MENDOZA, Rodolfo; POMAR, María Cristina. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes under contrasting grazing modes in the Magellanic steppe of Tierra del Fuego. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 155, p. 194-201, 2012.
- GHANTA, Rebeca; DUTTA, Sikha; MUKHOPADHYAY, Radhanath. Occurrence of dark septate endophytes in the sporophytes of *Christella dentata*. *American Fern Journal*, v. 102, n. 3, p. 216-223, 2012.
- GILBERT, S.F. *et al.* Symbiosis as a source of selectable epigenetic variation: taking the heat for the big guy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1540), pp.671-678, 2010.

- GREEN, Laura E.; PORRAS-ALFARO, Andrea; SINSABAUGH, Robert L. Translocation of nitrogen and carbon integrates biotic crust and grass production in desert grassland. *Journal of Ecology*, v. 96, n. 5, p. 1076-1085, 2008.
- GRILLI, G.; URCELAY, C.; GALETTO, L. Linking mycorrhizal fungi and soil nutrients to vegetative and reproductive ruderal plant development in a fragmented forest at central Argentina. *Forest Ecology and Management*, v. 310, p. 442-449, 2013.
- GRILLI, Gabriel; URCELAY, Carlos; GALETTO, Leonardo. Forest fragment size and nutrient availability: complex responses of mycorrhizal fungi in native–exotic hosts. *Plant Ecology*, v. 213, n. 1, p. 155-165, 2012.
- GRÜNIG, Christoph R. *et al.* Assignment of species rank to six reproductively isolated cryptic species of the *Phialocephala fortinii* s.l.-*Acephala applanata* species complex. *Mycologia*, v. 100, n. 1, p. 47-67, 2008.
- GRÜNIG, Christoph R. *et al.* Dark septate endophytes (DSE) of the *Phialocephala fortinii* s.l.-*Acephala applanata* species complex in tree roots: classification, population biology, and ecology. *Botany*, v. 86, n. 12, p. 1355-1369, 2008.
- GRÜNIG, Christoph R.; SIEBER, Thomas N. Molecular and phenotypic description of the widespread root symbiont *Acephala applanata* gen. et sp. nov., formerly known as dark-septate endophyte Type 1. *Mycologia*, v. 97, n. 3, p. 628-640, 2005.
- HAMILTON, Cyd E. *et al.* Endophytic mediation of reactive oxygen species and antioxidant activity in plants: a review. *Fungal Diversity*, v. 54, n. 1, p. 1-10, 2012.
- HASHIMOTO, Yasushi; HYAKUMACHI, Mitsuro. Effects of isolates of ectomycorrhizal fungi and endophytic *Mycelium radicans* that were dominant in soil from disturbed sites on growth of *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings. *Ecological Research*, v. 16, n. 1, p. 117-125, 2001.
- HEGEDÜS, Attila; ERDEI, Sára; HORVÁTH, Gábor. Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. **Plant Science**, v. 160, n. 6, p. 1085-1093, 2001.
- HERRERA, José *et al.* Precipitation increases the abundance of some groups of root associated fungal endophytes in a semiarid grassland. *Ecosphere*, v. 2, n. 4, p. 1-14, 2011.
- HERRERA, J. *et al.* Shifting fungal endophyte communities colonize *Bouteloua gracilis*: effect of host tissue and geographical distribution. *Mycologia*, 102(5), 1012-1026, 2010.
- HIGHLAND, Kayang. Mycorrhizal colonization and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Michelia champaca* L. under plantation system in northeast India. *Journal of forestry research*, v. 21, n. 2, p. 137-142, 2010.
- HOU, Xiao-Qiang; GUO, Shun-Xing. Interaction between a dark septate endophytic isolate from *Dendrobium* sp. and roots of *D. nobile* seedlings. *Journal of integrative plant biology*, v. 51, n. 4, p. 374-381, 2009.
- 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. ISSN0103-8478, jul-ago, 2007.
- JAKUCS, Erzsébet *et al.* Glomalean and septate endophytic fungi in *Hypopterygium* mosses (Bryopsida). *Cryptogamie. Mycologie*, v. 24, n. 1, p. 27-37, 2003.
- JAISON, Sarah; RAJESWARI, Krishnasamy; MUTHUKUMAR, Thangavelu. Patterns of endorhizal fungal associations in fruit crops of southern India. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 175, n. 4, p. 572-581, 2012.

- JANSON, E. M. *et al.* Symbiont-mediated phenotypic variation without co-evolution in an insect–fungus association. *Journal of evolutionary biology*, 23(10), 2212-2228, 2010.
- JOHN, Jesse; LUNDHOLM, Jeremy; KERNAGHAN, Gavin. Colonization of green roof plants by mycorrhizal and root endophytic fungi. *Ecological Engineering*, v. 71, p. 651-659, 2014.
- JUMPPONEN, Ari. Dark septate endophytes—are they mycorrhizal?. *Mycorrhiza*, v. 11, n. 4, p. 207-211, 2001.
- JUMPPONEN, A. R. I.; TRAPPE, James M. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. **New Phytologist**, v. 140, n. 2, p. 295-310, 1998.
- KANDALEPAS, D. *et al.* How abundant are root-colonizing fungi in Southeastern Louisiana’s degraded marshes?. *Wetlands*, v. 30, n. 2, p. 189-199, 2010.
- KAUPPINEN, M. *et al.* Contrasting preferences of arbuscular mycorrhizal and dark septate fungi colonizing boreal and subarctic *Avenella flexuosa*. *Mycorrhiza*, v. 24, n. 3, p. 171-177, 2014.
- KERNAGHAN, Gavin; PATRIQUIN, Glenn. Diversity and host preference of fungi co-inhabiting *Cenococcum mycorrhizae*. *Fungal Ecology*, v. 17, p. 84-95, 2015.
- KAI, Wang; ZHIWEI, Zhao. Occurrence of arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes in hydrophytes from lakes and streams in southwest China. *International Review of Hydrobiology*, v. 91, n. 1, p. 29-37, 2006.
- KERNAGHAN, Gavin; PATRIQUIN, Glenn. Diversity and host preference of fungi co-inhabiting *Cenococcum mycorrhizae*. *Fungal Ecology*, v. 17, p. 84-95, 2015.
- KHAN, A. G. Mycorrhizoremediation: an enhanced form of phytoremediation - *Journal of Zhejiang University Science B* Volume 7, Number 7, 503-514, DOI: 10.1631. ISSN 1862-1783, 2006.
- KHAN, S. *et al.* Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental pollution*, v. 152, n. 3, p. 686-692, 2008.
- KHASTINI, Rida O.; OHTA, Hiroyuki; NARISAWA, Kazuhiko. The role of a dark septate endophytic fungus, *Veronaeopsis simplex* Y34, in fusarium disease suppression in Chinese cabbage. *Journal of Microbiology*, v. 50, n. 4, p. 618-624, 2012.
- KIRPICHTCHIKOVA, T. A. *et al.* Speciation and solubility of heavy metals in contaminated soil using X-ray microfluorescence, EXAFS spectroscopy, chemical extraction, and thermodynamic modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 70, n. 9, p. 2163-2190, 2006.
- KIVLIN, Stephanie N.; EMERY, Sarah M.; RUDGERS, Jennifer A. Fungal symbionts alter plant responses to global change. *American Journal of Botany*, v. 100, n. 7, p. 1445-1457, 2013.
- KLYMIUK, Ashley A. *et al.* Paleomycology of the Princeton Chert II. Dark-septate fungi in the aquatic angiosperm *Eorhiza arnoldii* indicate a diverse assemblage of root-colonizing fungi during the Eocene. *Mycologia*, v. 105, n. 5, p. 1100-1109, 2013.
- KOHOUT, Petr *et al.* Surprising spectra of root-associated fungi in submerged aquatic plants. *FEMS microbiology ecology*, v. 80, n. 1, p. 216-235, 2012.
- KNAPP, Dániel G. *et al.* Dark septate endophytic pleosporalean genera from semiarid areas. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, v. 35, p. 87, 2015.
- KNAPP, D. G. *et al.* 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, 2012.

- LEE, H. *et al.* Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in creosote-contaminated soil by *Peniophora incarnata* KUC8836. *Bioremediation Journal*, 19(1), pp.1-8, 2015.
- LEHNERT, Marcus *et al.* Mycorrhizal associations in ferns from southern Ecuador. *American Fern Journal*, v. 99, n. 4, p. 292-306, 2009.
- LEYVAL, C. *et al.* Potential of arbuscular mycorrhizal fungi for bioremediation. In: *Mycorrhizal technology in agriculture*. Birkhäuser Basel. p. 175-186, 2012.
- LI, Baoku *et al.* Spatial dynamics of dark septate endophytes and soil factors in the rhizosphere of *Ammopiptanthus mongolicus* in Inner Mongolia, China. *Symbiosis*, v. 65, n. 2, p. 75-84, 2015.
- LI, Hai-Yan *et al.* Diversity and heavy metal tolerance of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb–Zn mine wasteland in China. *Fungal Ecology*, v. 5, n. 3, p. 309-315, 2012.
- LI, T. *et al.* Improved tolerance of maize (*Zea mays* L.) to heavy metals by colonization of a dark septate endophyte (DSE) *Exophiala pisciphila*. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 6, p. 1069-1074, 2011.
- LI, Ai-Rong; GUAN, Kai-Yun. Mycorrhizal and dark septate endophytic fungi of *Pedicularis* species from northwest of Yunnan Province, China. *Mycorrhiza*, v. 17, n. 2, p. 103-109, 2007.
- LIKAR, M.; REGVAR, M. Isolates of dark septate endophytes reduce metal uptake and improve physiology of *Salix caprea* L. *Plant and soil*, v. 370, n. 1-2, p. 593-604, 2013.
- LIKAR, Matevž *et al.* Mycorrhizal status and diversity of fungal endophytes in roots of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and tartary buckwheat (*F. tataricum*). *Mycorrhiza*, v. 18, n. 6-7, p. 309-315, 2008.
- LIPSON, David A. *et al.* Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> stimulates soil fungal diversity through increased fine root production in a semiarid shrubland ecosystem. *Global change biology*, v. 20, n. 8, p. 2555-2565, 2014.
- LINGFEI, Li; ANNA, Yang; ZHIWEI, Zhao. Seasonality of arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes in a grassland site in southwest China. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 54, n. 3, p. 367-373, 2005.
- LORO, M. *et al.* Diversity and composition of fungal endophytes in semiarid Northwest Venezuela. *Journal of Arid Environments*, v. 85, p. 46-55, 2012.
- LUGO, Mónica A. *et al.* Plant functional traits and phylogenetic relatedness explain variation in associations with root fungal endophytes in an extreme arid environment. *Mycorrhiza*, v. 25, n. 2, p. 85-95, 2015.
- LUKEŠOVÁ, Tereza *et al.* The potential of dark septate endophytes to form root symbioses with ectomycorrhizal and ericoid mycorrhizal middle European forest plants. *PloS one*, v. 10, n. 4, p. e0124752, 2015.
- MACIÁ-VICENTE, Jose G. *et al.* Fungal assemblages associated with roots of halophytic and non-halophytic plant species vary differentially along a salinity gradient. *Microbial ecology*, v. 64, n. 3, p. 668-679, 2012.
- MAHMOUD, Rola S.; NARISAWA, Kazuhiko. A new fungal endophyte, *Scolecobasidium humicola*, promotes tomato growth under organic nitrogen conditions. *PloS one*, v. 8, n. 11, p. e78746, 2013.
- MAJEWSKA, Marta L. *et al.* Root-inhabiting fungi in alien plant species in relation to invasion status and soil chemical properties. *Symbiosis*, v. 65, n. 3, p. 101-115, 2015.

- MANDYAM, Keerthi G.; JUMPPONEN, Ari. Mutualism–parasitism paradigm synthesized from results of root-endophyte models. *Frontiers in microbiology*, v. 5, p. 776, 2015.
- MANDYAM, Keerthi; FOX, Chad; JUMPPONEN, Ari. Septate endophyte colonization and host responses of grasses and forbs native to a tallgrass prairie. *Mycorrhiza*, v. 22, n. 2, p. 109-119, 2012.
- MANDYAM, Keerthi; LOUGHIN, Thomas; JUMPPONEN, Ari. Isolation and morphological and metabolic characterization of common endophytes in annually burned tallgrass prairie. *Mycologia*, v. 102, n. 4, p. 813-821, 2010.
- MANDYAM, Keerthi G.; ROE, Judith; JUMPPONEN, Ari. Arabidopsis thaliana model system reveals a continuum of responses to root endophyte colonization. *Fungal biology*, v. 117, n. 4, p. 250-260, 2013.
- MANDYAM, K. & JUMPPONEN, A. Seeking the elusive function of the root colonizing Dark septate endophytic fungi. *Study Mycol.* 53, 173 e 189, 2005. NAO ESTA NO QUALIS CAPES 2014
- MANDYAM, Keerthi; JUMPPONEN, Ari. Seasonal and temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi in a tallgrass prairie ecosystem are minimally affected by nitrogen enrichment. *Mycorrhiza*, v. 18, n. 3, p. 145-155, 2008.
- MANDYAM, K., & JUMPPONEN, A. Unraveling the dark septate endophyte functions: insights from the Arabidopsis model. In *Advances in Endophytic Research*, Springer India pp. 115-141, 2014.
- MATHEW, Abraham; MALATHY, Ramanpillai M. The evidence of mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in roots of *Chlorophytum borivillianum*. *Acta Botanica Croatica*, v. 67, n. 1., p. 91-96, 2008.
- MASSENSINI, André Marcos *et al.* Arbuscular mycorrhizal associations and occurrence of dark septate endophytes in the roots of Brazilian weed plants. *Mycorrhiza*, v. 24, n. 2, p. 153-159, 2014.
- MARASCO, R., *et al.* A drought resistance-promoting microbiome is selected by root system under desert farming. *PLoS One*, 7(10), e48479, 2012.
- MAYERHOFER, Michael S.; FRASER, Erica; KERNAGHAN, Gavin. Acid protease production in fungal root endophytes. *Mycologia*, v. 107, n. 1, p. 1-11, 2015.
- MAYERHOFER, Michael S.; KERNAGHAN, Gavin; HARPER, Karen A. The effects of fungal root endophytes on plant growth: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, v. 23, n. 2, p. 119-128, 2013.
- MEDINA-ROLDÁN, E. *et al.* Grazing effects on fungal root symbionts and carbon and nitrogen storage in a shortgrass steppe in Central Mexico. *Journal of arid environments*, v. 72, n. 4, p. 546-556, 2008.
- MERCADO, Maria I. *et al.* Arbuscular mycorrhizal associations and dark septate endophytes in Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and a wild relative (*Smallanthus macrocyphus*) Micorrizas arbusculares y endófitos septados oscuros en yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y un pariente silve. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, v. 48, n. 2, p. 193-200, 2013.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.
- MORAN, N.A. Symbiosis. *Curr Biol*, v16:R866–R871, outubro 2006. Disponível em: <[http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(06\)02212-3](http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(06)02212-3)> Acesso em 05 jun. 2016.



- MOSA, Kareem A. *et al.* Potential Biotechnological Strategies for the Cleanup of Heavy Metals and Metalloids. *Frontiers in plant science*, v. 7, 2016.
- MUGERWA, TT Mukasa; SALEEBA, J. A.; MCGEE, P. A. A variety of melanised root-associated fungi from the Sydney basin form endophytic associations with *Trifolium subterraneum*. *Fungal Ecology*, v. 6, n. 1, p. 70-82, 2013.
- MUTHUKUMAR, Thangavelu *et al.* Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungal associations in ferns and lycophytes of Palni Hills, Western Ghats, southern India. *Brazilian Journal of Botany*, v. 37, n. 4, p. 561-581, 2014.
- MUTHUKUMAR, Thangavelu; VEDIYAPPAN, Sivalingam. Comparison of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungal associations in soils irrigated with pulp and paper mill effluent and well-water. *European Journal of Soil Biology*, v. 46, n. 2, p. 157-167, 2010.
- MUTHUKUMAR, T. *et al.* Arbuscular mycorrhizal morphology and dark septate fungal associations in medicinal and aromatic plants of Western Ghats, Southern India. *Mycorrhiza*, v. 17, n. 1, p. 11-24, 2006.
- MUTHURAJA, Raji *et al.* Arbuscular mycorrhizal (AM) and dark septate endophyte (DSE) fungal association in lycophytes and ferns of the Kolli Hills, Eastern Ghats, Southern India. *American Fern Journal*, v. 104, n. 2, p. 67-102, 2014.
- NARISAWA, Kazuhiko; HAMBLETON, Sarah; CURRAH, Randolph S. *Heteroconium chaetospora*, a dark septate root endophyte allied to the *Herpotrichiellaceae* (Chaetothyriales) obtained from some forest soil samples in Canada using bait plants. *Mycoscience*, v. 48, n. 5, p. 274-281, 2007.
- NARISAWA, K.; USUKI, F.; HASHIBA, T. Control of *Verticillium* yellows in Chinese cabbage by the dark septate endophytic fungus LtVB3. *Phytopathology*, v. 94, n. 5, p. 412-418, 2004.
- NEWSHAM, Kevin K. A meta-analysis of plant responses to dark septate root endophytes. *New Phytologist*, v. 190, n. 3, p. 783-793, 2011.
- NEWSHAM, Kevin K. Structural changes to a mycothallus along a latitudinal transect through the maritime and sub-Antarctic. *Mycorrhiza*, v. 21, n. 3, p. 231-236, 2011.
- NEWSHAM, K. K.; UPSON, R.; READ, D. J. Mycorrhizas and dark septate root endophytes in polar regions. *Fungal Ecology*, v. 2, n. 1, p. 10-20, 2009.
- OLSRUD, Maria; MICHELSEN, Anders. Effects of shading on photosynthesis, plant organic nitrogen uptake, and root fungal colonization in a subarctic mire ecosystem. *Botany*, v. 87, n. 5, p. 463-474, 2009.
- OLSRUD, Maria; MICHELSEN, Anders; WALLANDER, Håkan. Ergosterol content in ericaceous hair roots correlates with dark septate endophytes but not with ericoid mycorrhizal colonization. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, n. 5, p. 1218-1221, 2007.
- PALUCH, Elisabeth C.; THOMSEN, Meredith A.; VOLK, Thomas J. Effects of resident soil fungi and land use history outweigh those of commercial mycorrhizal inocula: testing a restoration strategy in unsterilized soil. *Restoration Ecology*, v. 21, n. 3, p. 380-389, 2013.
- PAN, Jianbin *et al.* Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi at 5,500 m on a glacier forefront in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Symbiosis*, v. 60, n. 2, p. 101-105, 2013.
- PANDEY, Radha Raman; CHONGTHAM, Ishworani; MUTHUKUMAR, Thangavelu. Influence of season and edaphic factors on endorhizal fungal associations in subtropical

plantation forest trees of Northeastern India. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 222, p. 1-12, 2016.

PAWLOWSKA, T. E. *et al.* Effects of metal phytoextraction practices on the indigenous community of arbuscular mycorrhizal fungi at a metal-contaminated landfill. *Applied and Environmental microbiology*, v. 66, n. 6, p. 2526-2530, 2000.

PETERSON, R. Larry; WAGG, Cameron; PAUTLER, Michael. Associations between microfungus endophytes and roots: do structural features indicate function?. *Botany*, v. 86, n. 5, p. 445-456, 2008.

PEREIRA, Gilmaria Maria Duarte *et al.* Occurrence of dark septate endophyte fungi in *Oryza glumaepatula* roots in Amazonia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 3, p. 331-334, 2011.

PERLATTI, F. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares no solo de agroecossistemas e mata nativa em ambiente semiárido no ceará. Embrapa, 2010.

PIIPPO, Sari *et al.* Do compensatory shoot growth and mycorrhizal symbionts act as competing above-and below-ground sinks after simulated grazing?. *Plant ecology*, v. 212, n. 1, p. 33-42, 2011. POSTMA, J.W.M., *et al.* Root colonization by arbuscular mycorrhizal, fine endophytic and dark septate fungi across a pH gradient in acid beech forests. *Soil Biol. Biochem.* v39, p. 400 e 408, 2007.

PRIYADHARSINI, Perumalsamy; PANDEY, Radha; MUTHUKUMAR, Thangavelu. Arbuscular mycorrhizal and dark septate fungal associations in shallot (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) under conventional agriculture. *Acta Botanica Croatica*, v. 71, n. 1, p. 159-175, 2012.

QUELOZ, V. *et al.* Microsatellite size homoplasies and null alleles do not affect species diagnosis and population genetic analysis in a fungal species complex. *Molecular ecology resources*, v. 10, n. 2, p. 348-367, 2010.

QUELOZ, Valentin; DUO, Angelo; GRUENIG, Christoph R. Isolation and characterization of microsatellite markers for the tree-root endophytes *Phialocephala subalpina* and *Phialocephala fortinii* ss. *Molecular ecology resources*, v. 8, n. 6, p. 1322-1325, 2008.

RAINS, Kai Coshow; BLEDSOE, Caroline S. Rapid uptake of 15 N-ammonium and glycine-13 C, 15 N by arbuscular and ericoid mycorrhizal plants native to a Northern California coastal pygmy forest. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, n. 5, p. 1078-1086, 2007.

REININGER, Vanessa; SIEBER, Thomas N. Mitigation of antagonistic effects on plant growth due to root co-colonization by dark septate endophytes and ectomycorrhiza. *Environmental microbiology reports*, v. 5, n. 6, p. 892-898, 2013.

REININGER, V.; SIEBER, T. N. Beneficial effect of ectomycorrhiza on conifer seedlings colonized by dark septate endophytes. In: *PHYTOPATHOLOGY*. 3340 PILOT KNOB ROAD, ST PAUL, MN 55121 USA: AMER PHYTOPATHOLOGICAL SOC, 2012. p. 98-98.

REININGER, Vanessa; GRÜNIG, Christoph R.; SIEBER, Thomas N. Host species and strain combination determine growth reduction of spruce and birch seedlings colonized by root-associated dark septate endophytes. *Environmental Microbiology*, v. 14, n. 4, p. 1064-1076, 2012.

RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, Raquel Milagos; HERRERA, Pedro; FURRAZOLA, Eduardo. Arbuscular mycorrhizal colonization in Asteraceae from white sand savannas, in Pinar del Río, Cuba. *Biota Neotropica*, v. 13, n. 3, p. 136-140, 2013.

- RUOTSALAINEN, Anna L.; ESKELINEN, Anu. Root fungal symbionts interact with mammalian herbivory, soil nutrient availability and specific habitat conditions. *Oecologia*, v. 166, n. 3, p. 807-817, 2011.
- RUOTSALAINEN, A. L. *et al.* Lichen substances and the growth of root associated fungi *Phialocephala fortinii* and *Rhizoscyphus ericae* (Ascomycetes) in pure culture. *Sydowia*, v. 61, n. 1, p. 79-89, 2009.
- RUOTSALAINEN, A. L. *et al.* Root fungal colonisation in *Deschampsia flexuosa*: Effects of pollution and neighbouring trees. *Environmental pollution* 147.3, p.723-728, 2007.
- RUOTSALAINEN, Anna Liisa; KYTÖVIITA, Minna-Maarit. Mycorrhiza does not alter low temperature impact on *Gnaphalium norvegicum*. *Oecologia*, v. 140, n. 2, p. 226-233, 2004.
- RUOTSALAINEN, A.; VÄRE, H.; VESTBERG, Mauritz. Seasonality of root fungal colonization in low-alpine herbs. *Mycorrhiza*, v. 12, n. 1, p. 29-36, 2002.
- SAGGIN JÚNIOR, O.J.& SILVA, E.M.R. MicorrizaArbuscular - Papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: Adriana Maria de Aquino; Renato Linhares de Assis. (Org.). *Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável*. 1ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 101-149, 2005.
- SAITO, Katsuharu *et al.* Vacuolar localization of phosphorus in hyphae of *Phialocephala fortinii*, a dark septate fungal root endophyte. *Canadian journal of microbiology*, v. 52, n. 7, p. 643-650, 2006.
- SANTOS, Edson Aparecido dos *et al.* Occurrence of symbiotic fungi and rhizospheric phosphate solubilization in weeds. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 35, n. 1, p. 49-55, 2013.
- SARAVESI, K.; RUOTSALAINEN, A. L.; CAHILL, J. F. Contrasting impacts of defoliation on root colonization by arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi of *Medicago sativa*. *Mycorrhiza*, v. 24, n. 4, p. 239-245, 2014.
- SATHIYADASH, Kullaiyan; MUTHUKUMAR, Thangavelu; UMA, Eswaranpillai. Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungal associations in South Indian grasses. *Symbiosis*, v. 52, n. 1, p. 21-32, 2010.
- SEBASTIÁN, Fracchia *et al.* Symbiotic seed germination and protocorm development of *Aa achalensis* Schltr., a terrestrial orchid endemic from Argentina. *Mycorrhiza*, v. 24, n. 1, p. 35-43, 2014.
- SEERANGAN, Kumar; THANGAVELU, Muthukumar. Arbuscular Mycorrhizal and Dark Septate Endophyte Fungal Associations in South Indian Aquatic and Wetland Macrophytes. **Journal of Botany**, v. 2014, 2014.
- SCERVINO, J. M. *et al.* Exudates of dark septate endophyte (DSE) modulate the development of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora rosea*. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 8, p. 1753-1756, 2009.
- SCHITTKO, Conrad; WURST, Susanne. Above-and belowground effects of plant-soil feedback from exotic *Solidago canadensis* on native *Tanacetum vulgare*. *Biological invasions*, v. 16, n. 7, p. 1465-1479, 2014.
- SHEN, Mi *et al.* Identification of glutathione S-transferase (GST) genes from a dark septate endophytic fungus (*Exophiala pisciphila*) and their expression patterns under varied metals stress. *PloS one*, v. 10, n. 4, p. e0123418, 2015.
- SIEBER, T.N. & GRÜNIG, C.R. Fungal root endophytes. In: Eshel, A., Beeckman, T. (Eds.), *Plant Roots e the Hidden Half*, fourth ed. Florida, Boca Raton, pp. 38- 31 e 38-49,2013.

- SILVA, S. *et al.* 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.
- SOTERAS, Florencia; RENISON, Daniel; BECERRA, Alejandra G. Growth response, phosphorus content and root colonization of *Polylepis australis* Bitt. seedlings inoculated with different soil types. *New forests*, v. 44, n. 4, p. 577-589, 2013.
- SONJAK, Silva *et al.* Diversity of halophytes and identification of arbuscular mycorrhizal fungi colonising their roots in an abandoned and sustained part of Sečovlje salterns. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 9, p. 1847-1856, 2009.
- ŠRAJ-KRŽIČ, Nina *et al.* Mycorrhizal colonisation in plants from intermittent aquatic habitats. *Aquatic Botany*, v. 85, n. 4, p. 331-336, 2006.
- STEVENS, Kevin J.; WELLNER, Misty R.; ACEVEDO, Miguel F. Dark septate endophyte and arbuscular mycorrhizal status of vegetation colonizing a bottomland hardwood forest after a 100 year flood. *Aquatic Botany*, v. 92, n. 2, p. 105-111, 2010.
- SU, Zhen-Zhu *et al.* Evidence for biotrophic lifestyle and biocontrol potential of dark septate endophyte *Harpophora oryzae* to rice blast disease. *PloS one*, v. 8, n. 4, p. e61332, 2013.
- SUDOVÁ, Radka *et al.* The incidence of arbuscular mycorrhiza in two submerged *Isoetes* species. *Aquatic botany*, v. 94, n. 4, p. 183-187, 2011.
- TELLENBACH, Christoph *et al.* Inhibition of *Phytophthora* species by secondary metabolites produced by the dark septate endophyte *Phialocephala europaea*. *Fungal ecology*, v. 6, n. 1, p. 12-18, 2013.
- TELLENBACH, Christoph; SIEBER, Thomas N. Do colonization by dark septate endophytes and elevated temperature affect pathogenicity of oomycetes?. *FEMS microbiology ecology*, v. 82, n. 1, p. 157-168, 2012.
- TEJESVI, Mysore V. *et al.* Neighboring *Deschampsia flexuosa* and *Trientalis europaea* harbor contrasting root fungal endophytic communities. *Mycorrhiza*, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2013.
- TOJU, Hirokazu *et al.* Community composition of root-associated fungi in a *Quercus*-dominated temperate forest: “codominance” of mycorrhizal and root-endophytic fungi. *Ecology and evolution*, v. 3, n. 5, p. 1281-1293, 2013.
- TORTA, L. *et al.* *Lulwoana* sp., a dark septate endophyte in roots of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seagrass. *Plant Biology*, v. 17, n. 2, p. 505-511, 2015.
- TROWBRIDGE, Justin; JUMPPONEN, Ari. Fungal colonization of shrub willow roots at the forefront of a receding glacier. *Mycorrhiza*, v. 14, n. 5, p. 283-293, 2004.
- TURNAU, K. *et al.* Role of mycorrhizal fungi in phytoremediation and toxicity monitoring of heavy metal rich industrial wastes in Southern Poland. In: *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*. Springer Netherlands, p. 533-551, 2016.
- UMA, E. *et al.* Tree species as hosts for arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungi. *Journal of forestry research*, v. 23, n. 4, p. 641-649, 2012.
- UMA, Eswaranpillai *et al.* Mycorrhizal and dark septate fungal associations in gingers and spiral gingers. *Botany*, v. 88, n. 5, p. 500-511, 2010.
- UPSON, Rebecca; READ, David J.; NEWSHAM, Kevin K. Nitrogen form influences the response of *Deschampsia antarctica* to dark septate root endophytes. *Mycorrhiza*, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2009.

- UPSON, R. *et al.* Taxonomic affinities of dark septate root endophytes of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia* ANTARCTICA, THE TWO NATIVE ANTARCTIC VASCULAR PLANT SPECIES. *FUNGAL ECOLOGY*, V. 2, N. 4, P. 184-196, 2009.
- URCELAY, Carlos; ACHO, Julieta; JOFFRE, Richard. Fungal root symbionts and their relationship with fine root proportion in native plants from the Bolivian Andean highlands above 3,700 m elevation. *Mycorrhiza*, v. 21, n. 5, p. 323-330, 2011.
- URCELAY, Carlos. Co-occurrence of three fungal root symbionts in *Gaultheria poeppigii* DC in Central Argentina. *Mycorrhiza*, v. 12, n. 2, p. 89-92, 2002.
- VÁGI, Pál *et al.* Simultaneous specific in planta visualization of root-colonizing fungi using fluorescence in situ hybridization (FISH). *Mycorrhiza*, v. 24, n. 4, p. 259-266, 2014.
- VAZ, A. B. M. *et al.* Arbuscular mycorrhizal colonization of *Sorghum vulgare* in presence of root endophytic fungi of *Myrtus communis*. *Applied soil ecology*, v. 61, p. 288-294, 2012.
- VEGA FRUTIS, R.; VARGA, Sandra; KYTÖVIITA, M.M. Sex specific interaction between arbuscular mycorrhizal and dark septate fungi in the dioecious plant *Antennaria dioica* (Asteraceae). *Plant Biology*, v. 15, n. 3, p. 558-565, 2013.
- VOHNÍK, Martin; BOROVEC, Ondřej; KOLAŘÍK, Miroslav. Communities of Cultivable Root Mycobionts of the Seagrass *Posidonia oceanica* in the Northwest Mediterranean Sea Are Dominated by a Hitherto Undescribed Pleosporalean Dark Septate Endophyte. *Microbial ecology*, v. 71, n. 2, p. 442-451, 2016.
- VOHNÍK, Martin *et al.* Anatomically and morphologically unique dark septate endophytic association in the roots of the Mediterranean endemic seagrass *Posidonia oceanica*. *Mycorrhiza*, v. 25, n. 8, p. 663-672, 2015.
- VOHNÍK, Martin *et al.* The cultivable endophytic community of Norway spruce ectomycorrhizas from microhabitats lacking ericaceous hosts is dominated by ericoid mycorrhizal *Meliniomyces variabilis*. *Fungal Ecology*, v. 6, n. 4, p. 281-292, 2013.
- VOHNÍK, Martin *et al.* Inoculation with a ligninolytic basidiomycete, but not root symbiotic ascomycetes, positively affects growth of highbush blueberry (Ericaceae) grown in a pine litter substrate. *Plant and soil*, v. 355, n. 1-2, p. 341-352, 2012.
- VOHNÍK, Martin; ALBRECHTOVÁ, Jana. The co-occurrence and morphological continuum between ericoid mycorrhiza and dark septate endophytes in roots of six European *Rhododendron* species. *Folia Geobotanica*, v. 46, n. 4, p. 373-386, 2011.
- VOHNÍK, Martin; ALBRECHTOVÁ, Jana. The co-occurrence and morphological continuum between ericoid mycorrhiza and dark septate endophytes in roots of six European *Rhododendron* species. *Folia Geobotanica*, v. 46, n. 4, p. 373-386, 2011.
- VOHNÍK, Martin *et al.* The inoculation with *Oidiodendron maius* and *Phialocephala fortinii* alters phosphorus and nitrogen uptake, foliar C: N ratio and root biomass distribution in *Rhododendron* cv. Azurro. *Symbiosis*, v. 40, n. 2, p. 87-96, 2005.
- VOHNÍK, Martin *et al.* Inoculation of *Rhododendron* cv. Belle-Heller with two strains of *Phialocephala fortinii* in two different substrates. *Folia Geobotanica*, v. 38, n. 2, p. 191-200, 2003.
- VUJANOVIC, Vladimir *et al.* *Phialocephala victorinii* sp. nov., endophyte of *Cypripedium parviflorum*. *Mycologia*, p. 571-576, 2000.
- WAGG, Cameron *et al.* Soil microbial communities from an elevational cline differ in their effect on conifer seedling growth. *Plant and soil*, v. 340, n. 1-2, p. 491-504, 2011.

- WAGG, Cameron et al. The co-occurrence of ectomycorrhizal, arbuscular mycorrhizal, and dark septate fungi in seedlings of four members of the Pinaceae. *Mycorrhiza*, v. 18, n. 2, p. 103-110, 2008.
- WALSH, Emily *et al.* Barrenia, a new genus associated with roots of switchgrass and pine in the oligotrophic pine barrens. *Fungal biology*, v. 119, n. 12, p. 1216-1225, 2015.
- WALSH, Emily *et al.* Barrenia, a new genus associated with roots of switchgrass and pine in the oligotrophic pine barrens. *Fungal biology*, v. 119, n. 12, p. 1216-1225, 2015.
- WANG, Jun-ling *et al.* Unraveling the role of dark septate endophyte (DSE) colonizing maize (*Zea mays*) under cadmium stress: physiological, cytological and genic aspects. *Scientific reports*, v. 6, 2016.
- WANG, Wei. Conidiomatal ultrastructure and cultural characteristics of root-inhabiting species of *Cryptosporiopsis*. *Mycology*, v. 2, n. 4, p. 237-247, 2011.
- WANG, Wei *et al.* *Phialocephala urceolata*, sp. nov., from a commercial, water-soluble heparin solution. *Mycologia*, v. 101, n. 1, p. 136-141, 2009.
- WANG, B. & QIU, Y.L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, New York, v. 16, p. 299-363, 2006.
- WEI, Yun-Fang *et al.* Functional and transcript analysis of a novel metal transporter gene EpNramp from a dark septate endophyte (*Exophiala pisciphila*). *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 124, p. 363-368, 2016.
- WEISHAMPEL, Peter A.; BEDFORD, Barbara L. Wetland dicots and monocots differ in colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes. *Mycorrhiza*, v. 16, n. 7, p. 495-502, 2006.
- WILBERFORCE, E. M. *et al.* Agricultural management affects communities of culturable root-endophytic fungi in temperate grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, n. 8, p. 1143-1154, 2003.
- WU, Li-qin *et al.* The promoting role of an isolate of dark-septate fungus on its host plant *Saussurea involucreata* Kar. et Kir. *Mycorrhiza*, v. 20, n. 2, p. 127-135, 2010.
- WU, Liqin; GUO, Shunxing. Interaction between an isolate of dark-septate fungi and its host plant *Saussurea involucreata*. *Mycorrhiza*, v. 18, n. 2, p. 79-85, 2008.
- XU, Runbing *et al.* Diversity and characterization of Cd-tolerant dark septate endophytes (DSEs) associated with the roots of Nepal alder (*Alnus nepalensis*) in a metal mine tailing of southwest China. *Applied Soil Ecology*, v. 93, p. 11-18, 2015.
- YU T., NASSUTH A. & PETERSON RL. Characterization of the interaction between the dark septate fungus *Phialocephala fortini* and *Asparagus officinalis* roots. *Can J Microbiol* 47: 741-753, 2001.
- YUAN, Z. L.; CHEN, Y. C.; MA, X. J. Symbiotic fungi in roots of *Artemisia annua* with special reference to endophytic colonizers. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, v. 145, n. 2, p. 495-502, 2011.
- YUAN, Zhi-Lin *et al.* A new species of Harpophora (Magnaporthaceae) recovered from healthy wild rice (*Oryza granulata*) roots, representing a novel member of a beneficial dark septate endophyte. *FEMS microbiology letters*, v. 307, n. 1, p. 94-101, 2010.

YUAN, Zhi-lin *et al.* Identity, diversity, and molecular phylogeny of the endophytic mycobiota in the roots of rare wild rice (*Oryza granulate*) from a nature reserve in Yunnan, China. *Applied and environmental microbiology*, v. 76, n. 5, p. 1642-1652, 2010.

ZAFFARANO, Pascal L. *et al.* Sex in the PAC: A hidden affair in dark septate endophytes?. *BMC evolutionary biology*, v. 11, n. 1, p. 1, 2011.

ZAPOTOCZNY, S. *et al.* Accumulation of copper by *Acremonium pinkertoniae*, a fungus isolated from industrial wastes. *Microbiol. Res.* 162, 219-228, 2007.

ZHAN, Fangdong *et al.* Subcellular distribution and chemical forms of cadmium in a dark septate endophyte (DSE), *Exophiala pisciphila*. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 22, p. 17897-17905, 2015.

ZHAN, Fangdong *et al.* Characterization of melanin isolated from a dark septate endophyte (DSE), *Exophiala pisciphila*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 27, n. 10, p. 2483-2489, 2011.

ZHANG, Y. *et al.* Colonization characteristics and composition of dark septate endophytes (DSE) in a lead and zinc slag heap in Southwest China. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, v. 22, n. 5, p. 532-545, 2013.

ZHANG, Hai-han *et al.* Effects of a dark-septate endophytic isolate LBF-2 on the medicinal plant *Lycium barbarum* L. *The Journal of Microbiology*, v. 50, n. 1, p. 91-96, 2012.

ZHANG, Juan ; HE, Xue Li ; ZHAO, Li Li ; XU, Wei ; YAN, Jiao. Responses of desert soil factors and dark septate endophytes colonization to clonal plants invasion. *Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica*, Vol.35(4), pp.1095-1103 elsevier. 2015.

ZHANG, MING-KUI *et al.* Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.41, n. 7, p. 820-831, 2010.

ZHANG, Haihan *et al.* Arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes colonization status in medicinal plant *Lycium barbarum* L. in arid Northwestern China. *African Journal of Microbiology Research*, v. 4, n. 18, p. 1914-1920, 2010.

ZHANG, Y. *et al.* Dark septate endophyte (DSE) fungi isolated from metal polluted soils: their taxonomic position, tolerance, and accumulation of heavy metals in vitro. *The Journal of Microbiology*, 46(6), 624-632, 2008.

ZHAO, Xinfei *et al.* Arbuscular mycorrhizal and dark septate fungal associations in riparian plants of the Three Gorges Reservoir Region, Southwest China. *Aquatic Botany*, v. 133, p. 28-37, 2016.

ZHU, Zai-Biao *et al.* The growth and medicinal quality of *Epimedium wushanense* are improved by an isolate of dark septate fungus. *Pharmaceutical biology*, v. 53, n. 9, p. 1344-1351, 2015.

ZUBEK, S. *et al.* Arbuscular mycorrhiza and fungal root endophytes of weeds in an altitudinal gradient in the Pamir Alai Mountains of Central Asia. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, v. 150, n. 1, p. 161-170, 2016.

ZUBEK, Szymon *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and soil microbial communities under contrasting fertilization of three medicinal plants. *Applied soil ecology*, v. 59, p. 106-115, 2012.

ZUBEK, Szymon; BLASZKOWSKI, Janusz; MLECZKO, Piotr. Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte associations of medicinal plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, v. 80, n. 4, 2011.

ZUBEK, Szymon *et al.* Fungal root endophyte associations of plants endemic to the Pamir Alay Mountains of Central Asia. *Symbiosis*, v. 54, n. 3, p. 139-149, 2011.

ZUBEK, Szymon *et al.* Fungal root endophyte colonization of fern and lycophyte species from the Celaque National Park in Honduras. *American Fern Journal*, v. 100, n. 2, p. 126-136, 2010.

ZUBEK, Szymon; BŁASZKOWSKI, Janusz. Medicinal plants as hosts of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes. *Phytochemistry Reviews*, v. 8, n. 3, p. 571-580, 2009.



Table 1 Qualis Capes equivalence to the Impact factor measured by the Institute for Scientific Information (ISI)

Qualis Capes	Institute for Scientific Information (ISI)
A1	Impact factor equal to or greater than 3,800
A2	Impact Factor between 3,799 and 2,500
B1	Impact Factor between 2,499 and 1,300
B2	Impact Factor between 1,299 and 0,001

Table 2 Dark Septate Endophyte, ecology. Publications found in the main databases and classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria by area and impact factor of the periodicals where they were published.

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
DAVID <i>et al</i> , 2016	Interdisciplinary	2169-8287	Genome Announcements	Not found	Not found	B2
WANG, Wei <i>et al.</i> , 2009	Agricultural sciences I	2150-1203	Mycology	Not found	Not found	B4
YUAN <i>et al</i> , 2010	Biotechnology	0378-1097	FEMS Microbiology Letters	2.121	2.166	B1
TELLENBACH & SIEBER, 2012	Biotechnology	0922-3444	Elsevier (Amsterdam)	Not found	Not found	C
ZHANG <i>et al</i> , 2015	Biotechnology	0922-3444	Elsevier (Amsterdam)	Not found	Not found	C
FUJIMURA, K. E.; EGGER, K. N.; HENRY, G. HR., 2008	Biotechnology	1751-7362	The ISME Journal (Print)	9.302	9.438	A1
LIPSON <i>et al</i> , 2014	Environmental sciences	1354-1013	Global Change Biology	8.044	8.708	A1
NEWSHAM, Kevin K., 2011	Biotechnology	0028-646X	New Phytologist	7.672	7.837	A1
LI <i>et al</i> , 2015	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
HAMILTON <i>et al.</i> , 2012	Biotechnology	1560-2745	Fungal Diversity	6.221	5.797	A1
QUELOZ, DUO & GRUENIG, 2008	Biotechnology	0962-1083	Molecular Ecology	6.494	6.330	A1
TELLENBACH, GRÜNIG & SIEBER, 2011	Agricultural sciences	1462-2912	Environmental Microbiology	6.201	6.312	A1

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
KNAPP <i>et al</i> , 2015	Agricultural sciences	0031-5850	Persoonia	5.300	5.196	A1
WILBERFORCE, E. M. <i>et al.</i> , 2003	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
OLSRUD, MICHELSEN & WALLANDER, 2007	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
YUAN <i>et al</i> , 2010	Interdisciplinary	0099-2240	Applied And Environmental Microbiology	3.668	4.359	A1
QUELOZ, V. <i>et al.</i> , 2010	Biotechnology	1755-098X	Molecular Ecology Resources	3.712	4.990	A1
HOU & GUO, 2009	Agricultural sciences I	1672-9072	Journal of Integrative Plant Biology1672	3.335	3.353	A2
GARCÍA, MENDOZA & POMAR, 2012	Interdisciplinary	0167-8809	Agriculture, Ecosystems & Environment	3.402	3.987	A1
CURLEVSKI, N. JA <i>et al.</i> , 2009	Agricultural sciences	0168-6496	FEMS Microbiology, Ecology (Print)	3.568	4.087	A2
TELLENBACH & SIEBER, 2012	Agricultural sciences	0168-6496	FEMS Microbiology, Ecology (Print)	3.568	4.087	A2
ZAFFARANO <i>et al</i> , 2011	Environmental sciences	1471-2148	Bmc Evolutionary Biology	3.368	3.847	A1
REININGER & SIEBER, 2013	Agricultural sciences	1758-2229	Environmental Microbiology Reports	3.293	3.834	A2
ANDRADE-LINARES <i>et al</i> , 2011	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
BARROW, J. & AALTONEN, R., 2001	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
JUMPPONEN, 2001	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
LUGO <i>et al</i> , 2015	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
MANDYAM, Keerthi; FOX, Chad; JUMPPONEN, Ari., 2012	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
MASSENSINI <i>et al</i> , 2014	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
MAYERHOFER, Michael S.; KERNAGHAN, Gavin; HARPER, Karen A., 2013	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
NEWSHAM, Kevin K., 2011	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
SEBASTIÁN, F. <i>et al.</i> , 2014	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
TEJESVI <i>et al</i> , 2013	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
UPSON, READ & NEWSHAM, 2009	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
URCELAY, C., 2002	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
VÁGI, Pál <i>et al.</i> , 2014	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
VOHNÍK <i>et al</i> , 2015	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
WU <i>et al</i> , 2010	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
WU & GUO, 2008	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.241	A1
VOHNÍK, M.; BOROVEC, O.; KOLAŘÍK, M., 2016	Interdisciplinary	1432-184X	Microbial Ecology	2.973	3.454	A2
VOHNÍK, M.; BOROVEC, O.; KOLAŘÍK, M., 2016	Biotechnology	0095-3628	Microbial Ecology	2.973	3.454	A2

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
MACIÁ-VICENTE <i>et al.</i> , 2012	Biotechnology	0095-3628	Microbial Ecology	2.973	3.454	A2
REININGER & SIEBER, 2012	Biodiversity	0031-949X	Phytopathology	3.119	3.327	A2
KNAPP, PINTYE & KOVÁCS, 2012	Interdisciplinary	1932-6203	PLoS One	3.234	3.702	A1
LUKEŠOVÁ <i>et al.</i> , 2015	Interdisciplinary	1932-6203	PLoS One	3.234	3.702	A1
SU <i>et al.</i> , 2013	Interdisciplinary	1932-6203	PLoS One	3.234	3.702	A1
NARISAWA, USUKI & HASHIBA, 2004	Biodiversity	0031-949X	Phytopathology	3.119	3.327	A2
VOHNÍK, Martin <i>et al.</i> , 2012	Interdisciplinary	0032-079X	Plant And Soil	2.952	3.528	A1
WAGG, Cameron <i>et al.</i> , 2011	Agricultural sciences I	1573-5036	Plant and Soil	2.952	3.528	A1
MUGERWA, TT Mukasa; SALEEBA, J. A.; MCGEE, P. A., 2013	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
VOHNÍK, Martin <i>et al.</i> , 2013	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
XU <i>et al.</i> , 2015	Interdisciplinary	0929-1393	Applied Soil Ecology	2.644	3.105	A2
CALDWELL, B. A.; JU MPPONEN, A.; TRAPPE, J. M., 2000	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.533	B1
GRÜNIG <i>et al.</i> , 2008	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.533	B1
GRÜNIG & SIEBER, 2005	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
KLYMIUK <i>et al.</i> , 2013	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
VUJANOVIC, Vladimir <i>et al.</i> , 2000	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
WALSH, Emily; LUO & ZHANG, 2014	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
WANG <i>et al.</i> , 2006	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
ANDRADE-LINARES <i>et al.</i> , 2012	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
WANG, W., 2011	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
HERRERA, J. <i>et al.</i> , 2011	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
KERNAGHAN, G. PATRIQUIN, G., 2015	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
TELLENBACH <i>et al.</i> , 2013	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
UPSON <i>et al.</i> , 2009	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
TOJU, H. <i>et al.</i> , 2013	Environmental sciences	2045-7758	Ecology and Evolution	2.320	2.343	B1
MANDYAM, LOUGHIN & JUMPPONEN, 2010	Interdisciplinary	0027-5514	Mycologia	2.471	2.638	B1
HERRERA, J. <i>et al.</i> , 2011	Biodiversity	2150-8925	Ecosphere	2.255	2.616	B1
BIZABANI, C. & DAMES, J. F., 2016	Interdisciplinary	1878-6146	Fungal Biology	2.342	2.244	B1
MANDYAM, ROE & JUMPPONEN, 2013	Interdisciplinary	1878-6146	Fungal Biology	2.342	2.244	B1
WALSH <i>et al.</i> , 2015	Interdisciplinary	1878-6146	Fungal Biology	2.342	2.244	B1
MAYERHOFER, FRASER, & KERNAGHAN, 2015	Environmental sciences	1435-8603	Plant Biology	2.633	2.216	A2
TORTA <i>et al.</i> , 2015	Environmental sciences	1435-8603	Plant Biology	2.633	2.216	A2

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
CARD <i>et al.</i> , 2015	Biotechnology	1049-9644	Biological Control (Print)	1.635	2.059	B2
FRACCHIA <i>et al.</i> , 2011	Environmental sciences	0140-1963	Journal of Arid Environments	1.641	2.056	B1
LORO, M. <i>et al.</i> , 2012	Environmental sciences	0140-1963	Journal of Arid Environments	1.641	2.056	B1
ZHANG <i>et al.</i> , 2012	Agricultural sciences I	1225-8873	Journal Of Microbiology	1.439	1.514	B1
KHASTINI, OHTA & NARISAWA	Agricultural sciences I	1225-8873	Journal of Microbiology	1.439	1.514	B1
FERNÁNDEZ, N. V.; MESSUTI, M. I.; FONTENLA, S.B., 2013	Biotechnology	0233-111X	Journal of Basic Microbiology	2.973	3.454	B2
ZHU <i>et al.</i> , 2015	Interdisciplinary	1388-0209	Pharmaceutical Biology	1.241	1.186	B1
ZHAN <i>et al.</i> , 2011	Interdisciplinary	0959-3993	World Journal of Microbiology and Biotechnology	1.779	1.686	B1
JAKUCS, E. <i>et al.</i> , 2003	Biodiversity	0181-1584	Cryptogamie Mycologie	1.524	1.000	B2
KANDALEPAS, Demetra <i>et al.</i> , 2010	Biodiversity	0277-5212	Wetlands	1.572	1.919	B1
VOHNÍK, Martin <i>et al.</i> , 2003	Biodiversity	1211-9520	Folia Geobotanica	1.778	1.750	B1
NARISAWA, HAMBLETON & CURRAH, 2007	Biotechnology	1340-3540	Mycoscience (Tokyo)	1.418	1.240	B2
SOTERAS, F.; RENISON, D.; BECERRA, A. G., 2013	Interdisciplinary	0169-4286	New Forests	1.829	1.538	A2
SAITO <i>et al.</i> , 2006	Biotechnology	0008-4166	Canadian Journal Of Microbiology	1.221	1.354	B2

## Conclusion

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
YU, NASSUTH & PETERSON, 2001	Biotechnology	0008-4166	Canadian Journal Of Microbiology	1.221	1.354	B2
ZUBEK <i>et al</i> , 2011	Biodiversity	1916-2804	Botany	1.278	1.324	B1
GRÜNIG <i>et al</i> , 2008	Biotechnology	1916-2790	Botany	1.278	1.324	B3
DAY & CURRAH, 2011	Biodiversity	1916-2804	Botany	1.278	1.324	B1
HASHIMOTO & HYAKUMACHI, 2001	Biodiversity	0912-3814	Ecological Research	1.296	1.777	B1
VOHNÍK, Martin <i>et al.</i> , 2005	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
OLSRUD, M.; MICHELSEN, A., 2009	Biodiversity	1916-2804	Botany	1.278	1.324	B1
PETERSON, R. Larry; WAGG, C.; PAUTLER, M., 2008	Biodiversity	1916-2804	Botany	1.278	1.324	B1
RUOTSALAINEN, A. L. <i>et al.</i> , 2009	Biodiversity	0082-0598	Sydowia	1.021	0.630	B2
GHANTA, DUTTA & MUKHOPADHYAY, 2012	Interdisciplinary	0002-8444	American Fern Journal	0.462	0.610	B2
PEREIRA <i>et al</i> , 2011	Agricultural sciences I	0100-204X	Pesquisa Agropecuaria Brasileira	0.575	0.899	B1

Table 3 Dark Septate Endophyte bioremediation. Publications found in the main databases and classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria by area and impact factor of the periodicals where they were published.

<b>Author</b>	<b>Evaluation area</b>	<b>ISSN</b>	<b>Journal</b>	<b>JCR Impact factor 2014</b>	<b>5 year Impact factor (2014)</b>	<b>Qualis Capes classification</b>
MOSA <i>et al</i> , 2016	Biotechnology	1664-462X	Frontiers In Plant Science	3.948	3.990	A2
LI <i>et al</i> , 2011	Interdisciplinary	0048-9697	Science of the Total Environment	4.099	4.414	A1
LIKAR & REGVAR, 2009	Interdisciplinary	0048-9697	Science of the Total Environment	4.099	4.414	A1
BERTHELOT <i>et al</i> , 2016	Agricultural sciences	0168-6496	FEMS Microbiology, Ecology (Print)	3.568	4.087	A2
WEI <i>et al</i> , 2016	Interdisciplinary	0147-6513	Ecotoxicology And Environmental Safety	2.762	2.878	A2
BAN <i>et al</i> , 2012	Interdisciplinary	1932-6203	PLoS One	3.234	3.535	A1
DIENE, SAKAGAMI & NARISAWA, 2014	Interdisciplinary	1932-6203	PloS One	3.234	3.535	A1
AFFHOLDER <i>et al</i> , 2014	Interdisciplinary	0032-079X	Plant And Soil	2.952	3.528	A1
LIKAR & REGVAR, 2013	Interdisciplinary	0032-079X	Plant And Soil	2.952	3.528	A1
REGVAR <i>et al</i> , 2010	Interdisciplinary	0032-079X	Plant And Soil	2.952	3.528	A1
ZHAN <i>et al</i> , 2015	Interdisciplinary	0944-1344	Environmental Science and Pollution Research International	2.828	2.920	A2
AN <i>et al</i> , 2015	Biotechnology	0944-5013	Microbiological Research	2.561	2.474	B2
ZHAO <i>et al</i> , 2015	Biotechnology	0944-5013	Microbiological Research	2.561	2.474	B2
LI <i>et al</i> , 2012	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2



## Conclusion

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
BARTHOLDY, BERRECK, & HASELWANDTER, 2001	Interdisciplinary	0966-0844	BioMetals (Oxford)	2.503	3.068	B1
ZHANG <i>et al</i> , 2008	Agricultural sciences I	1225-8873	Journal Of Microbiology	1.439	1.514	B1
BAN <i>et al</i> , 2009	Biotechnology	1590-4261	Annals Of Microbiology	0.990	1.149	B3
ZHAN <i>et al</i> , 2016	Interdisciplinary	0007-4861	Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology	1.255	1.324	B1
ZHAN <i>et al</i> , 2015	Interdisciplinary	0007-48610	Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology	1.255	1.324	B1
DERAM, LANGUEREAU, HALUWYN, 2011	Engineering II	1532-0383	Soil & Sediment Contamination	1.039	0.909	B2
ZHANG, LI & ZHAO, 2013	Engineering II	1532-0383	Soil & Sediment Contaminations	1.039	0.909	B2

Table 4 Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and DSE Publications found in the main databases and classified according to the Journal Citation Reports and Qualis Capes criteria by area and impact factor of the periodicals where they were published.

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
MERCADO <i>et al</i> , 2013	Biodiversity	0373-580X	Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica	Impact factor not found	Impact factor not found	B3
MUTHUKUMAR <i>et al</i> , 2014	Biotechnology	0100-8404	Brasileira de Botânica (Impresso)	Impact factor not found	Impact factor not found	B3
CHAUDHRY, NASIM & KHAN, 2006	Teaching	1811-9700	International Journal of Botany	Impact factor not found	Impact factor not found	B4
RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, HERRERA & FURRAZOLA, 2013	Interdisciplinary	1676-0611	Biota Neotropica (Online)	Impact factor not found	Impact factor not found	B1
BENNETT <i>et al</i> , 2015	Biotechnology	0028-646X	New Phytologist	7.672	7.837	A1
GREEN, PORRAS-ALFARO & SINSABAUGH, 2008	Biodiversity	0022-0477	Journal Of Ecology	5.521	6.314	A1
RUOTSALAINEN, MARKKOLA & KOZLOV, 2007	Interdisciplinary	0269-7491	Environmental Pollution	4.143	4.755	A1
KERNAGHAN & PATRIQUIN, 2015	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
OLSRUD, MICHELSEN & WALLANDER, 2007	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
POSTMA, OLSSON & FALKENGREN-GRERUP, 2007	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
RAINS & BLEDSOE, 2007.	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
SCERVINO <i>et al</i> , 2009	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
SONJAK <i>et al</i> , 2009	Interdisciplinary	0038-0717	Soil Biology & Biochemistry	3.932	4.953	A1
DRUILLE <i>et al</i> , 2016	Interdisciplinary	0167-8809	Agriculture, Ecosystems & Environment	3.402	3.987	A1

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
GARCÍA, MENDOZA & POMAR, 2012	Interdisciplinary	0167-8809	Agriculture, Ecosystems & Environment	3.402	3.987	A1
KOHOUT <i>et al</i> , 2012	Agricultural sciences	0168-6496	FEMS Microbiology, Ecology (Print)	3.568	4.087	A2
LINGFEI, ANNA & ZHIWEI, 2005	Agricultural sciences	0168-6496	FEMS Microbiology, Ecology (Print)	3.568	4.087	A2
FUCHS & HASELWANDTER, 2004	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
FRACCHIA <i>et al</i> , 2009	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
KAUPPINEN <i>et al</i> , 2014	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
LI & GUAN, 2007	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
LIKAR <i>et al.</i> , 2008	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
LUGO <i>et al</i> , 2015	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
MANDYAM & JUMPPONEN, 2008	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
MASSENSINI <i>et al</i> , 2014	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
MUTHUKUMAR <i>et al</i> , 2006	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
RUOTSALAINEN, VÄRE & VESTBERG, 2002	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
SARAVESI, RUOTSALAINEN & CAHILL, 2014	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
TANIGUCHI, Takeshi <i>et al.</i> , 2012.	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
TROWBRIDGE & JUMPPONEN, 2004	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
URCELAY; ACHO; JOFFRE, 2011	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
WAGG <i>et al</i> , 2008	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
WEISHAMPEL & BEDFORD, 2006	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
ZHANG <i>et al</i> , 2010	Environmental sciences	0940-6360	Mycorrhiza (Berlin)	3.459	3.231	A1
AFFHOLDER <i>et al</i> , 2014	Interdisciplinary	0032-079X	Plant And Soil	2.952	3.528	A1
RUOTSALAINEN & KYTÖVIITA, 2004.	Environmental sciences	0029-8549	Oecologia	3.093	3.617	A1
RUOTSALAINEN & ESKELINEN, 2011	Environmental sciences	0029-8549	Oecologia	3.093	3.617	A1
SCHITTKO & WURST, 2014	Biodiversity	1387-3547	Biological Invasions	2.586	2.876	A2
GRILLI, URCELAY & GALETTO, 2013	Interdisciplinary	0378-1127	Forest Ecology And Management	2.660	3.153	A2
KIVLIN, EMERY & RUDGERS, 2013	Biotechnology	0002-9122	American Journal Of Botany	2.603	3.108	B1
BOUKHRIS <i>et al</i> , 2015	Interdisciplinary	0944-1344	Environmental Science And Pollution Research	2.828	2.920	A2
ZUBEK & BŁASZKOWSKI, 2009	Pharmacy	1568-7767	Phytochemistry Reviews	2.407	3.974	B1
VAZ, 2012	Interdisciplinary	0929-1393	Applied Soil Ecology	2.644	3.105	A2
ZUBEK <i>et al</i> , 2012	Interdisciplinary	0929-1393	Applied Soil Ecology	2.644	3.105	A2

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
DAS & KAYANG, 2010	Interdisciplinary	1369-3786	Medical Mycology	2.335	2.325	B1
DELLA MONICA <i>et al</i> , 2015	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
NEWSHAM, UPSON & READ, 2009	Biotechnology	1754-5048	Fungal Ecology	2.929	2.912	A2
KESSLER, M. <i>et al.</i> , 2010.	Environmental sciences	1435-8603	Plant Biology	2.633	2.216	A2
VEGA-FRUTIS, VARGA & KYTÖVIITA, 2013	Environmental sciences	1435-8603	Plant Biology	2.633	2.216	A2
MUTHUKUMAR & VEDIYAPPAN, 2010	Biological sciences I	1164-5563	European Journal Of Soil Biology	1.719	2.272	B2
PALUCH, THOMSEN & VOLK, 2013	Environmental sciences	1061-2971	Restoration Ecology	1.838	2.248	A2
DOLINAR & GABERŠČIK, 2010	Biotechnology	0304-3770	Aquatic Botany	1.608	1.819	B2
ŠRAJ-KRŽIČ, Nina <i>et al</i> , 2006	Biotechnology	0304-3770	Aquatic Botany	1.608	1.819	B2
STEVENS, WELLNER & ACEVEDO, 2010	Biotechnology	0304-3770	Aquatic Botany	1.608	1.819	B2
SUDOVÁ <i>et al</i> , 2011	Biotechnology	0304-3770	Aquatic Botany	1.608	1.819	B2
ZHAO, 2016	Biotechnology	0304-3770	Aquatic Botany	1.608	1.819	B2
JAISON, RAJESWARI & MUTHUKUMAR, 2012	Agricultural sciences I	1436-8730	Journal Of Plant Nutrition And Soil Science	1.459	1.743	A2
FRACCHIA <i>et al</i> , 2011	Environmental sciences	0140-1963	Journal Of Arid Environments	1.641	2.056	B1
MEDINA-ROLDÁN <i>et al</i> , 2008	Environmental sciences	0140-1963	Journal Of Arid Environments	1.641	2.056	B1

Continue

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
GRILLI, URCELAY & GALETTO, 2012	Interdisciplinary	1385-0237	Plant Ecology	1.463	1.900	A2
PIIPPO <i>et al.</i> , 2007	Interdisciplinary	1385-0237	Plant Ecology	1.463	1.900	A2
KAI & ZHIWEI, 2006	Environmental sciences	1434-2944	International Review Of Hydrobiology	0.971	1.150	B1
VOHNÍK & ALBRECHTOVÁ, 2011	Biodiversity	1211-9520	Folia Geobotanica	1.778	1.750	B1
GRÜNIG <i>et al.</i> , 2008	Biotechnology	1916-2790	Botany	1.278	1.324	B3
SANTOS <i>et al.</i> , 2013	Interdisciplinary	1679-9275	Acta Scientiarum-Agronomy	0.833	0.717	B1
CHAUDHRY <i>et al.</i> , 2009	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
MAJEWSKA <i>et al.</i> , 2015	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
PAN <i>et al.</i> , 2013	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
SATHIYADASH, MUTHUKUMAR & UMA, 2010	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
ZUBEK <i>et al.</i> , 2011	Environmental sciences	0334-5114	Symbiosis	1.438	1.508	B2
ZUBEK, BLASZKOWSKI & MLECZKO, 2011	Biotechnology	0001-6977	Acta Societatis Botanicorum Poloniae	1.174	0.925	B2
DERAM, LANGUEREAU & HALUWYN, 2011	Engineering II	1532-0383	Soil & Sediment Contamination	1.939	0.909	B2
BAGYALAKSHMI <i>et al.</i> , 2010	Biotechnology	1340-3540	Mycoscience (Tokyo)	1.418	1.240	B2
PRIYADHARSINI, PANDEY & MUTHUKUMAR, 2012	Agricultural Sciences	0365-0588	Acta Botanica Croatica	0.839	0.876	B2

## Conclusion

Author	Evaluation area	ISSN	Journal	JCR Impact factor 2014	5 year Impact factor (2014)	Qualis Capes classification
JOHN, LUNDHOLM & KERNAGHAN, 2014	Interdisciplinary	0925-8574	Ecological Engineering	2.580	3.231	A1
YUAN, CHEN & MA, 2011	Biotechnology	1126-3504	Plant Biosystems	1.920	1.863	B1
ZUBEK <i>et al</i> , 2016	Biotechnology	1126-3504	Plant Biosystems	1.920	1.863	B1
HIGHLAND, 2010	Agricultural sciences	1007-662X	Journal Of Forestry Research	Not available	Not available	B2
UMA <i>et al</i> , 2012	Agricultural Sciences I	1007-662X	Journal Of Forestry Research	Not available	Not available	B2
ZUBEK <i>et al</i> , 2010	Interdisciplinary	0002-8444	American Fern Journal	0.462	0.610	B2
LEHNERT <i>et al</i> , 2009	Interdisciplinary	0002-8444	American Fern Journal	0.462	0.610	B2
PEREIRA <i>et al</i> , 2011	Interdisciplinary	1678-3921	Pesquisa Agropecuária Brasileira	0.575	0.899	B2

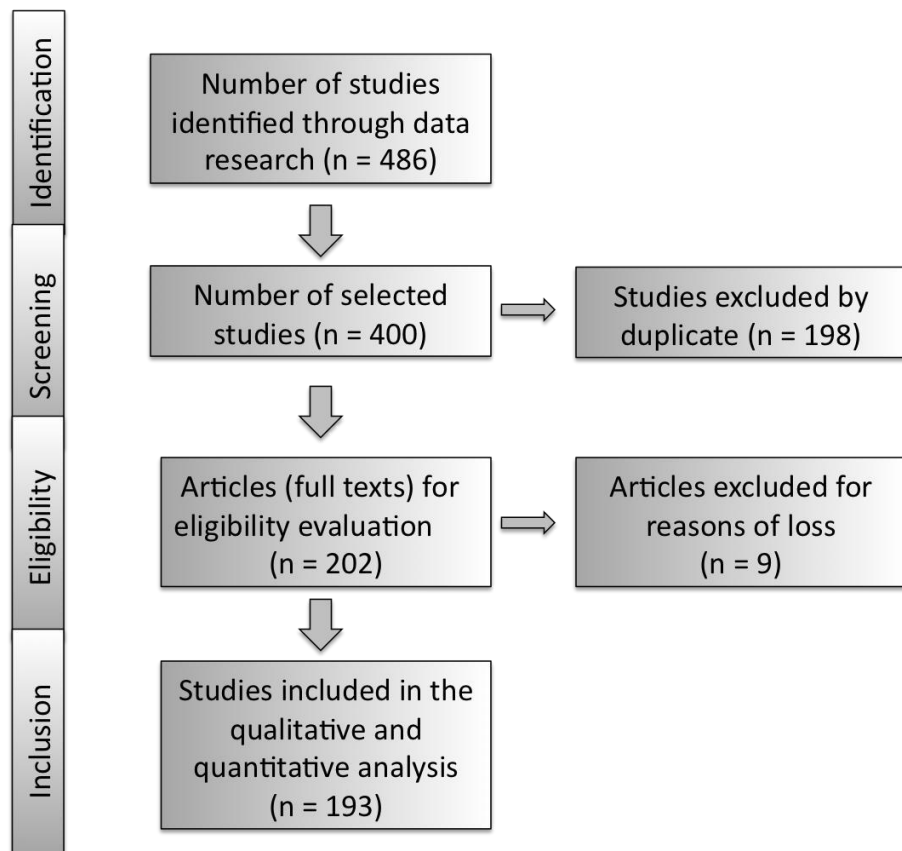


Figure 1. Systematic review, eligibility of the studies used.



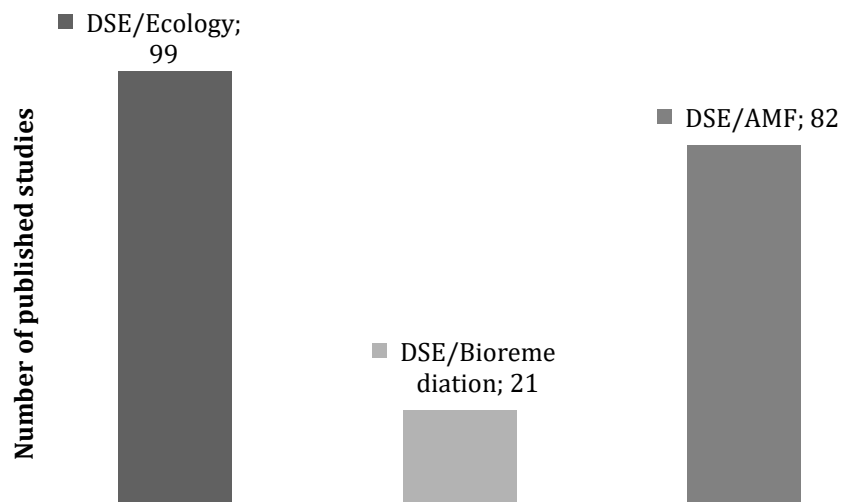


Figure 2. Percentage of publications by research area. The percentages show the total number of publications found in the research areas: Ecology of DSE, Bioremediation by DSE and Interaction between DSE and FMA.

### **3. ARTIGO CIENTÍFICO II**

IDENTIFICAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E  
DARK SEPTATE ENDOPHYTES ASSOCIADOS À PTERIDÓFITAS LOCALIZADAS  
EM SOLO CONTAMINADO COM CREOSOTO

## RESUMO

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) estão presentes em diversos produtos amplamente utilizados por indústrias, entre eles o alcatrão de hulha, asfaltenos e o creosoto. Este último apresenta altos índices de toxicidade sendo considerado carcinogênico ou mutagênico. A fim de mitigar os impactos dos compostos de HPA, faz-se necessário conhecer os seus efeitos nas plantas e a associação de micro-organismos rizosféricos. Entre as associações rizosféricas, fungos endofíticos ou fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são as mais comuns, sendo encontradas tanto em agrossistemas quanto em ambientes naturais. Pesquisas têm demonstrado que a presença de tais micro-organismos beneficia a captação de água pelo vegetal assim como a captação de nutrientes. Os fungos do tipo *Dark Septate Endophyte* demonstram tolerância fisiológica em relação ao stress em áreas contaminadas indicando que são potenciais biorremediadores. O objetivo deste estudo foi verificar a possível presença de *Dark Septate Endophyte* em raízes de vegetais coletados no local contaminado por HPA. Foram coletadas amostras de raízes de plantas de solo e pteridofitas na área de estudo, Reserva Biológica União - Macaé, RJ. O solo contaminado com HAP foi identificado com a cromatografia gasosa - espectrometria de massa. As amostras de raiz foram cortadas em fragmentos e colocadas em tubos de ensaio. Os fragmentos foram imersos em KOH a 5% em banho maria a 90 ° C durante 30 min e depois transferidos para uma solução alcalina de peróxido de hidrogênio amoniacal a 3% de 15 a 45 minutos à temperatura ambiente. Após este processo, as amostras foram enxaguadas em água da torneira e colocadas em solução de HCl a 1% durante 1 noite. Em seguida, as amostras foram novamente lavadas e colocadas em 0,05% de azul de tripano em banho maria a 90 ° C durante 1 h. Para a análise de material, foram feitas lâminas que foram observadas sob um microscópio óptico. Observou-se estruturas de fungos funcionais na raiz, tais como hifas, apressórios, estruturas intracelulares semelhantes ao escleródio e hifas sepadas escuras, sugerindo a presença de DSE. A presença de DSE em raízes de pteridofitas na área contaminada por creosoto sugere o potencial biotecnológico do fungo e a importância do relacionamento fúngico-vegetal para a sobrevivência do vegetal.

Palavras-chave: microbiologia ambiental, ecologia, fungos endofíticos melanizados, Reserva Biológica União.

## ABSTRACT

Creosote is a coal tar waste product, consisted of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Studies of this compound have been intensified due to its spread in nature. In addition, its high level of toxicity is considered carcinogenic or mutagenic. Due to the impacts caused by PAH compounds, it is necessary to know its effects on plants and associated rhizospheric microorganisms in order to seek solutions to reduce their impact. Among symbiotic associations, fungal and plant symbiosis is the most common in natural and agricultural ecosystems. Studies have shown that the presence of those microorganisms improves the supply of water and nutrients to the host plant, such as phosphorus and nitrogen. The dark septate endophyte fungi (DSEF) show physiological stress tolerance in contaminated areas, indicating that it may be a potential bioremediator. The aim of this study is to verify the possible presence of this fungi on plant roots in the PAH contaminated site. Samples of soil and pteridophytes plant roots were collected in the study area, Reserva Biologica União – Macaé, RJ. The PAH contaminated soil were identified with the Gas chromatography–mass spectrometry.

The root samples were cut into fragments and placed in test tubes; the fragments were immersed in 5% KOH in a water bath at 90°C for 30 min and then transferred to an alkaline solution of 3% ammoniacal hydrogen peroxide from 15 to 45 minutes at room temperature. After this process the samples were rinsed in tap water and placed in 1% HCl solution for 1 night. Then the samples were again washed and placed in 0.05% trypan blue in a water bath at 90 ° C for 1h. For the material analysis, slides were made and were observed under an optical microscope. It was observed functional fungi structures in the root such as appressory, sclerotium-like intracellular structures, and dark septate hyphae, suggesting the presence of DSE. Other studies demonstrated the presence of DSEF antioxidants enzymes and phenoloxidases, indicating the remedial potential of these fungi. The presence of DSE in pteridophytes roots at the creosote contaminated area suggests the biotechnological potential of the fungal and the importance of the fungal-vegetable relationship for the plant survival.

Keywords: environmental microbiology, ecology, Brazilian natural reserves, bioremediation, Reserva Biológica União

## 1. INTRODUÇÃO

O creosoto é um produto proveniente de alcatrão de hulha e consiste em hidrocloretos policíclicos aromáticos (HPA). Este produto era utilizado para prevenir ou mitigar a deterioração da madeira. Os estudos deste composto foram intensificados devido à sua propagação na natureza. Além disso, seu alto nível de toxicidade é considerado cancerígeno ou mutagênico (MOSCOSO *et al.*, 2012). Devido aos impactos causados pelos compostos de PAH, é necessário conhecer os seus efeitos nas plantas e microrganismos rizosféricos associados, a fim de buscar soluções para reduzir o seu impacto.

Diversos estudos demonstram que uma grande diversidade de plantas e fungos fazem associações simbióticas. Em um período de tempo ecologicamente significativo essas associações evoluíram para melhorar a aptidão dessa relação simbiótica (JOHNSON *et al.*, 1997). Uma das associações simbióticas mais conhecidas e comuns estabelecidas entre plantas e fungos é entre vegetais e fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Tal associação facilita uma melhor aquisição de água e nutrientes às plantas hospedeiras e parece isolar o carbono orgânico do solo (NICHOLLS & ALTIERI, 2012; RILLIG *et al.*, 2002). FMA podem utilizar uma grande proporção do carbono fixado pelas plantas (CLEMMENSEN *et al.*, 2013; HARTNETT & WILSON, 2002) desempenhando assim, um papel vital no ciclo global do carbono, depositando compostos orgânicos de ciclo lento (glomalina) e protegendo a matéria orgânica do ataque microbiano promovendo a agregação do solo (RILLIG *et al.*, 2002).

Assim como os FMA, outro fungo, conhecido como *Dark Septate Endophyte* (DSE), foi identificado como colonizador frequente da rizosfera vegetal (MASSENSINI *et al.*, 2014; SCERVINO, 2009; MANDYAM & JUMPPONEN, 2005). Evidências sugerem que os fungos associados à raiz da planta, como os DSE, podem auxiliar aos vegetais a superar estresses bióticos e abióticos (MANDYAM, 2008; MANDYAM & JUMPPONEN, 2005; REDMAM, 2002). DSE são cosmopolitas e têm sido detectados em várias centenas de espécies de plantas (MANDYAM & JUMPPONEN, 2005; SIEBER & GRUNIG, 2013). Fungos DSE são septados e possuem hifas melanizadas, colonizam as células corticais e regiões intercelulares das raízes, formam uma estrutura intracelular densamente septada chamada de microescleródio - agregações de hifas de lóbulos irregulares e hifas septadas escuras crescendo inter e intracelular

na raiz do hospedeiro (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998; YU *et al.*, 2001; BARROW, 2003) e estão presentes em vários ambientes, mesmo sob condições de seca, na presença de metais pesados e em solos oligotróficos (BARROW & AALTONEN, 2001; BARROW, 2003; MANDYAM & JUMPPONEN, 2005). Até o presente momento, as proposições apresentadas para o domínio de DSE em ambientes de alto stress e seu benefício em relação às plantas hospedeiras estão especialmente relacionadas à presença do pigmento melanina em suas hifas e ao microscleródio (YU *et al.*, 2001; BARROW, 2003; RODRIGUEZ *et al.*, 2009).

Os fungos endofíticos fornecem proteção à planta hospedeira e geralmente produzem compostos que auxiliam o hospedeiro contra patógenos. Esses compostos bioativos consistem em metabolitos secundários que geralmente são produzidos como resíduos ou subprodutos (RODRIGUEZ *et al.*, 2009). Jumpponen e colaboradores (1998) demonstraram que o DSE *Phialocephala fortinii* facilitou a absorção de nitrogênio e fósforo em *Pinus contorta*. Narisawa *et al.* (2017), relata em seu trabalho que *P. fortinii* tem um papel na promoção do crescimento do vegetal *Asparagus officinalis* sob condições nutricionais orgânicas, possivelmente pela decomposição de compostos orgânicos de fósforo e nitrogênio no solo.

Tais estudos reforçam que a presença de FMA e DSE associados a um vegetal que se estabeleceu em um ambiente altamente contaminado com cresoto sugere a possibilidade da utilização dessa interação para remediar o solo contaminado na Reserva Biológica União.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Biorremediação e substâncias com potencial biotecnológico

A biorremediação é uma importante técnica dependente de processos biológicos utilizada para a redução de resíduos (RUSSEL *et al.*, 2011), ou seja, graças à vasta diversidade metabólica do mundo microbiano é possível retirar ou minimizar uma variedade de poluentes de ambientes contaminados tanto por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) quanto por metais pesados (GAYLARDE *et al.*, 2005; JACQUES *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 2010).

HPA são poluentes ambientais que contêm anéis de benzeno dispostos em formas angulares, lineares ou agrupadas (LI *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2015), possuem propriedades mutagênicas, cancerígenas e teratogênicas, representando grande ameaça para a saúde humana devido à sua bioacumulação na cadeia alimentar (MOSCOSO *et al.*, 2012). Devido à alta resistência ao ataque nucleofílico e as propriedades da baixa biodisponibilidade (CHENG *et al.*, 2016) a maioria dos HPA são recalcitrantes no ambiente (ZHANG *et al.*, 2006). A biorremediação é considerada como uma tecnologia corretiva viável em relação às tecnologias de remediação física e química, devido à sua efetividade a custos reduzidos e não acarretando outros poluentes ao degradar hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (LIU *et al.*, 2017a).

Os metais pesados podem causar inúmeras ameaças tanto para a saúde humana quanto para o ambiente, mesmo em baixa concentração devido a seu acúmulo gradual (ZHANG *et al.*, 2014; 2016). Embora os metais pesados sejam indestrutíveis, é possível torná-los menos tóxicos através da Biorremediação, que entre outras técnicas engloba a fitorremediação e a remediação microbiana (Wu *et al.*, 2010) em oposição ao processo de quelação por meio de remediação química ou física. A fitorremediação e a remediação microbiana (biorremediação) estão emergindo como tecnologias econômicas e amigáveis ao meio ambiente (Ma *et al.*, 2016).

Segundo Bonfim e colaboradores (2016), DSE é um táxon, sua diferenciação de hifas hialinas, hifas hialinas septadas, fungos esparsamente septados - que são característicos de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA); é baseada no grau de pigmentação. Entretanto, sua melanização é muito variável em algumas espécies

(BONFIM et al., 2016). DSE pode apresentar colorações entre marrom parcialmente escuro, cinza escuro, colônias pretas ou estruturas melanizadas nas raízes (SIEBER & GRÜNIG, 2013). Hifas hialinas são comuns durante períodos de intenso metabolismo vegetal, enquanto hifas escuras e microescleródio aparecem principalmente durante os estágios posteriores de colonização ou em períodos de estresse (MARINS & CARRENHO, 2017).

Alguns DSE possuem a capacidade de produzir enzimas extracelulares como laccases, lipases, amilases e polifenol oxidases, algumas envolvidas em processos como degradação da lignina e podem degradar formas poliméricas de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) tais como celulose, amido e proteína (Caldwell et al., 2000). Enzimas lignofíticas e celulolíticas geralmente são requeridas quando o fungo penetra as paredes da célula hospedeira (AHLICH, 1997). Acredita-se que os DSE atuem como promotores do crescimento vegetal, facilitando a aquisição de nutrientes (LINGFEI et al., 2005; RODRIGUEZ, et al., 2009).

Em seu estudo, Barrow (2003) indica que o pigmento melanina pode atuar como agente antioxidante. Enzimas antioxidantes como glutathione (GSH), catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD) têm suas atividades aumentadas em DSE submetidos a altas concentrações de metais protegendo assim as estruturas celulares do dano oxidativo produzido em condições adversas (HEGEDÜS et al, 2001; AZEVEDO et al., 2007). Quando expostas aos metais, tais enzimas representam importante mecanismo de defesa celular contra os danos oxidativos causados pelas espécies reativas de oxigênio (BAN, et al., 2012; SHEN et al., 2015; ZHAN et al., 2015).

Apesar dos fungos endofíticos melanizados serem relatados em raízes de vegetais em áreas contaminadas por metais pesados (MANDYAM & JUMPPONEN, 2005) e fungos micorrízicos arbusculares serem capazes de minimizar concentrações de HPA em solos contaminados (ANDRADE *et al.*, 2016; ANDREW *et al.*, 2012; BARROW, 2013), Liu e colaboradores (2017b) relatam em seu trabalho que sob mudanças na cobertura do solo ou mudança de ambiente, alguns habitats continham uma rápida sucessão desses fungos que podem utilizar amplamente compostos de hidrocarbonetos por associações de comunidades fúngicas dominantes de ambientes contaminados por metais pesados. Tal fato induz à idéia de que os DSE encontrados no vegetal em solo extremamente contaminado possa auxiliar na degradação desses compostos e auxiliar no crescimento vegetal.



A análise das espécies de FMA e DSE deve ser realizada no Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental, assim como a verificação da atividade enzimática desses fungos que possam estar envolvidos na degradação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

## 2.2 Pteridófitas e DSE

Plantas vasculares sem sementes, como Samambaias e Licófitas possuem origem muito antiga (PRYER *et al.*, 2001, 2004; SMITH *et al.*, 2006), há cerca de 400 milhões de anos, e ocupam uma posição muito importante na origem e evolução das plantas vasculares (SHARPE *et al.*, 2010; REMY *et al.*, 1994). Pteridófitas constituem um importante componente das paisagens de floresta e são bastante sensíveis às mudanças ambientais e aos efeitos do desmatamento e fragmentação florestal (PEREIRA *et al.*, 2011).

Samambaias e Licófitas são encontradas ao redor do globo, entretanto, apesar de cosmopolitas (TRYON & TRYON 1982; WINDISCH 1990) sua distribuição pode ser elucidada através do gradiente latitudinal da diversidade biológica: seu número de espécies por unidade de área diminui do equador em relação aos pólos (MORAN, 2008). Sua maior riqueza de espécies apresenta-se em florestas tropicais, assim como a mais ampla variedade de habitats e formas de vida (MORAN 2008). De acordo com Smith e colaboradores (2006; 2008) são conhecidas atualmente aproximadamente 9000 espécies de samambaias. Destas, aproximadamente 12% podem ser encontradas no Brasil. No entanto, ainda existe uma grande lacuna no conhecimento dessas espécies no país. A destruição e fragmentação de seus habitats naturais ameaçam um grande número de espécies (WINDISCH, 2002). Segundo Menini Neto e colaboradores (2007), o conhecimento da biodiversidade, obtido através de pesquisas florísticas, constitui um importante suporte para a conservação, bem como para uma potencial exploração racional dos recursos e áreas naturais que permanecem.

As notáveis adaptações de plantas vasculares sem sementes a vários distúrbios, incluindo suas habilidades para acumular toxinas, sugerem um papel importante para sua conservação e preservação (ZUQUIM *et al.*, 2008). Algumas espécies possuem resistência a ambientes degradados, pois exigem pouco em relação

à fertilidade do solo sobrevivendo a extensos períodos de estiagem (MORAN, 2008; PRADO & SYLVESTRE, 2010).

O conhecimento de micorrizas em raízes de pteridófitas é escasso, cerca de 10% das espécies conhecidas foram estudadas quanto à sua colonização por fungos simbióticos (Kessler *et al.*, 2010a). Pouco se sabe sobre associações com DSE (Jumpponen, 2001; Fernández *et al.*, 2008, Kessler *et al.*, 2010a, 2010b). *Dark septate endophyte* (DSE) foi relatado dentro das raízes de diferentes plantas vasculares sem sementes (BERCH E KENDRICK, 1982; DHILLION, 1993; JUMPPONEN & TRAPPE, 1998). É importante relatar e estudar DSE, a fim de enfatizar algumas características comuns entre esses fungos e entender como eles influenciam o hospedeiro e sua relação com FMA. A ocorrência de DSE dentro das raízes dessas espécies de plantas é novidade e reforça a ideia de que algumas plantas vasculares sem sementes são capazes de formar associações entre plantas e fungos com uma diversidade de linhagens de fungos (WINTHER & FRIEDMAN, 2007) indicando uma diversidade considerável de interações, que vão desde a falta de simbiose até associações facultativas e obrigatórias (Zhao, 2000; Fernández *et al.*, 2008; Kessler *et al.*, 2010a, 2010b). Tal conhecimento é extremamente útil para elucidar a natureza e a importância ecológica desses fungos colonizadores de raízes pouco conhecidos (JUMPPONEN & TRAPPE, 1998; JUMPPONEN, 2001; PETERSON *et al.*, 2004).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Local de coleta das amostras**

O presente estudo foi conduzido na Reserva Biológica União, situada na Rodovia BR 101, Km 185, Rocha Leão, Rio das Ostras/RJ, (22° 25' 35" S 42° 2' 4" O) (Figura 1). As coletas dos vegetais e solo foram realizadas nas áreas indicadas pela seta vermelha na figura 1. As áreas 1, 2 e 3 são respectivamente classificadas em Área Potencialmente Contaminada (AP), Área com Suspeita de Contaminação (AS) e Área Contaminada (AC).

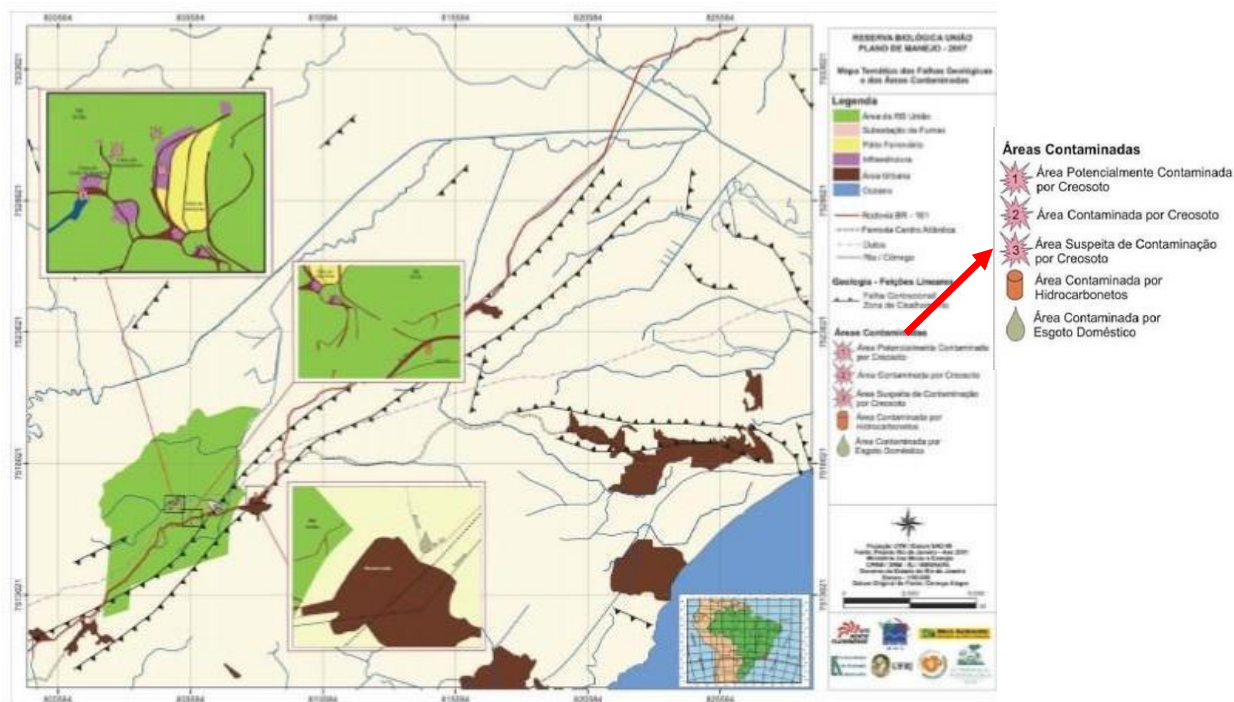


Figura 1. Mapa Temático das Falhas Geológicas e das Áreas Contaminadas (Fonte: Plano de Manejo da Reserva Biológica União, 2008).

A Reserva Biológica União é composta pelas terras do imóvel rural “Fazenda União”, do século XIX. Posteriormente a área foi da Companhia inglesa “The Leopoldina Railway Company Limited”, adquirida em 1939 para fornecer lenha nativa para as antigas locomotivas movidas a vapor. Após período de devastação, como medida de reflorestamento, na fazenda, foram plantados eucaliptos que eram utilizados para a produção de lenha. Na década de 1950 a fazenda passou para o Governo Brasileiro para operacionalizar o transporte ferroviário quando foi criada em 1957 a Rede Ferroviária Federal S.A., que, ficou responsável pela administração da Fazenda União. O plantio de eucaliptos passou a ter como objetivo: a produção de dormentes. E isso perdurou até 1996 de acordo com o plano de manejo desta Unidade de Conservação (BRASIL, 2008a).

O produto químico creosoto (composto principalmente de hidrocarbonetos aromáticos), era aplicado para a conservação dos dormentes. Devido a este processo algumas áreas da Reserva foram contaminadas, o creosoto é nocivo à saúde humana e ao meio ambiente. De acordo com critérios de contaminação do Passivo Ambiental as áreas atingidas pelo creosoto, na Reserva Biológica União, estão classificadas em: áreas potencialmente contaminadas, com suspeita de contaminação e contaminadas (Plano de Manejo Reserva Biológica União – BRASIL,

2008a). Faz-se necessária a remediação da área contaminada por creosoto através do processo de biorremediação por ser uma solução altamente recomendada vide às associações simbióticas entre vegetais e fungos encontradas e descritas neste estudo.

### **3.2 Metodologia de amostragem de vegetais e solo para estudo**

Para a verificação da presença de FMA e DSE, amostras de plântulas do sedimento foram coletadas. Uma média de cinco plântulas foram coletadas por local. As de plântulas foram retiradas com auxílio de pá a uma profundidade de, em média, 10 cm e raio de 2 m. Para identificação de Hidrocarbonetos no solo as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas em um recipiente com gelo e enviadas para o laboratório especializado TESALAB. Foi utilizando o método 8270D da agência de proteção ambiental americana (Método EPA para Compostos Orgânicos Semivoláteis 8270D) que emprega cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC/MS) (US-EPA, 1998). As amostras vegetais foram condicionadas em sacos plásticos estéreis e em seguida encaminhadas para o Laboratório de Ecotoxicologia e Microbiologia Ambiental (LEMAM) - Instituto Federal Fluminense, Campus Cabo Frio, onde as amostras de raízes foram tratadas e analisadas de acordo com metodologia adaptada de SOUZA e GUERRA, (1998).

#### **3.2.1 Avaliação das Raízes**

A avaliação das raízes foi realizada logo após as amostras de raiz serem cortadas em fragmentos de cerca de 2 cm e colocadas em tubos de ensaio. Os fragmentos foram imersos em KOH a 5% em banho maria a 90 ° C durante 30 min e depois transferidos para uma solução alcalina de peróxido de hidrogênio amoniaco a 3%, respeitando-se o tempo de 15 a 45 minutos à temperatura ambiente à medida que as raízes clareavam. Após este processo, as amostras foram enxaguadas em água da torneira e colocadas em solução de ácido clorídrico a 1% durante uma noite. Em seguida, as amostras foram novamente lavadas e colocadas em 0,05% de azul

de tripano em banho maria a 90 ° C durante 1 hora. Para a análise de material, foram feitas lâminas que foram observadas sob um microscópio óptico (SOUZA e GUERRA, 1998 – adaptado; UFLA, 2015).

Foram feitas nove lâminas com três fragmentos cada, totalizando 27 fragmentos de raízes de cada plântula. As análises foram realizadas em triplicadas sendo utilizados três indivíduos e gerando um total de 81 fragmentos de raízes do ponto de coleta. As lâminas foram montadas com 50% de glicerol e observadas em microscópio óptico (Novel BM 2100) acoplado a uma câmera fotográfica (Toup CAM UCOS05100KPA). As imagens foram tratadas no programa ToupLite.

### **3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.4.1 Análise do solo coletado**

As amostras coletadas no ponto 1, o mais alto e mais próximo ao pátio ferroviário, local de aplicação do creosoto nos dormentes e mais próximo do local onde se encontravam os tanques de armazenamento foram enviadas para o laboratório especializado TESALAB, que realizou a análise laboratorial, utilizando o método 8270D da agência de proteção ambiental americana (Método EPA para Compostos Orgânicos Semivoláteis 8270D), empregando cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC/MS) (US-EPA, 1998) e apresentaram concentrações aromáticos acima dos níveis aceitáveis.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) são compostos carcinogênicos e mutagênicos (JACQUES *et al.*, 2007; MOSCOSO *et al.*, 2012) introduzidos em grandes quantidades no ambiente devido às atividades antrópicas. Entretanto, muitos dos microrganismos do solo não possuem a capacidade de degradá-los, minimizando seu impacto, resultando na sua acumulação no ambiente e na conseqüente contaminação dos ecossistemas. Há atualmente mais de 100 HPA reconhecidos pela IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). Apesar disso, somente 16 HAPs são considerados em função de sua importância industrial, ambiental e toxicológica. São eles: acenaftaleno, acenaftileno, antraceno, benzo(a) antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b), benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)pireleno,

criseno, dibenzo(a,h) antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-c,d)pireno, naftaleno e pireno (POTIN et al., 2004).

Após análise do solo foi constatado que 18 compostos de HPA estão acima dos níveis aceitáveis de concentração. Entre eles os 16 compostos reconhecidos pela IUPAC apresentando níveis exorbitantes de concentração na amostra de solo contaminado do ponto 1. Os outros dois compostos 2,3,4,5-Tetraclorofenol e 2,3,4,6-Tetraclorofenol classificados como cancerígenos em humanos também foram encontrados em concentração muito elevadas (VIANNA *et al.*, 2016). Tetraclorofenóis podem causar irritação dos olhos, na pele e vias respiratórias. 2,3,4,6-Tetraclorofenol é utilizado como substância fungicida, herbicida, inseticida e antisséptico. Comercializado pelos nomes de TCP, phenaclor, Dowicide 2S, Dowicide 2S e omal, utilizado também como desfolhante e conservante (OGUNNIYI et al.,2000). Segundo Gold, colaboradores (1999) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2007), tais compostos podem causar o aumento da incidência de linfomas, leucemia e câncer do fígado.

### 3.4.2 Verificação de estruturas fúngicas em raízes de pteridófito da família *Thelypteridaceae*

Em coleta realizada no mês de maio de 2016 para testes foi possível verificar que as raízes da pteridofita da família *Thelypteridaceae* estavam colonizadas por FMA e DSE. A ocorrência dos dois fungos na Rebio União pôde ser constatada por meio da observação de estrutura semelhante à arbusculo de FMA e de hifas septatadas escuras e estruturas semelhantes à microescleródios de DSE em células da raiz conforme mostrado na Figura 2.

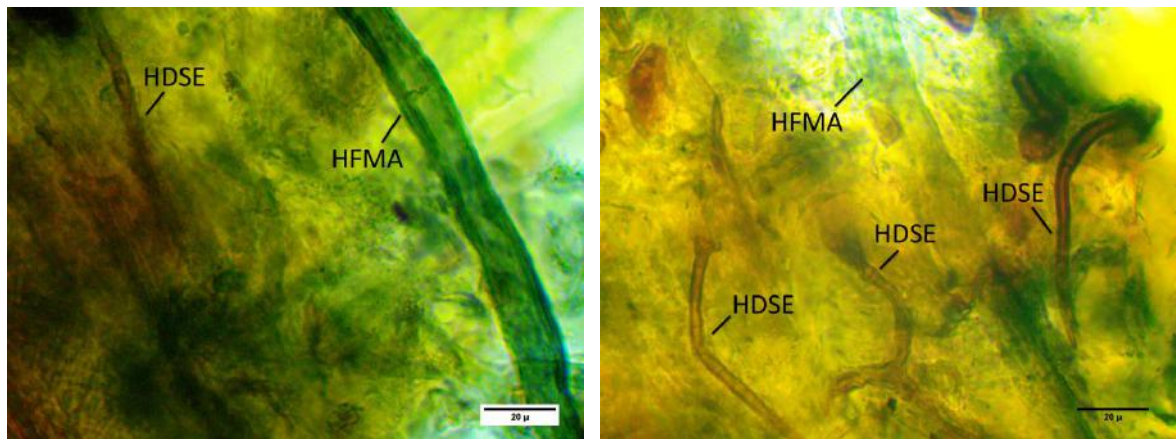


Figura 2 Observação de estruturas de FMA e DSE em raízes de *Thelypteridaceae* na Rebio União. (A) HFMA: hifa de fungo micorrízico arbuscular. HDSE: hifa de Dark septate endophyte. Aumento de 1000x. Fotos da autora.

Com a verificação de estruturas de FMA e DSE em amostras coletadas na Rebio União foi possível constatar a ocorrência de relação simbiótica entre os fungos e vegetais na área contaminada com creosoto, não sendo necessária, nesta primeira análise-teste, realização de análise nas amostras coletadas no outro ponto de coleta. A partir de então foram realizados procedimentos com os materiais coletados para aprendizado das técnicas laboratoriais.

A seguir são mostrados os resultados das análises referentes à coleta realizada em maio de 2017, utilizados nesta dissertação.

Verificou-se, nas raízes analisadas, a presença de estruturas de FMA e DSE (figura 3).



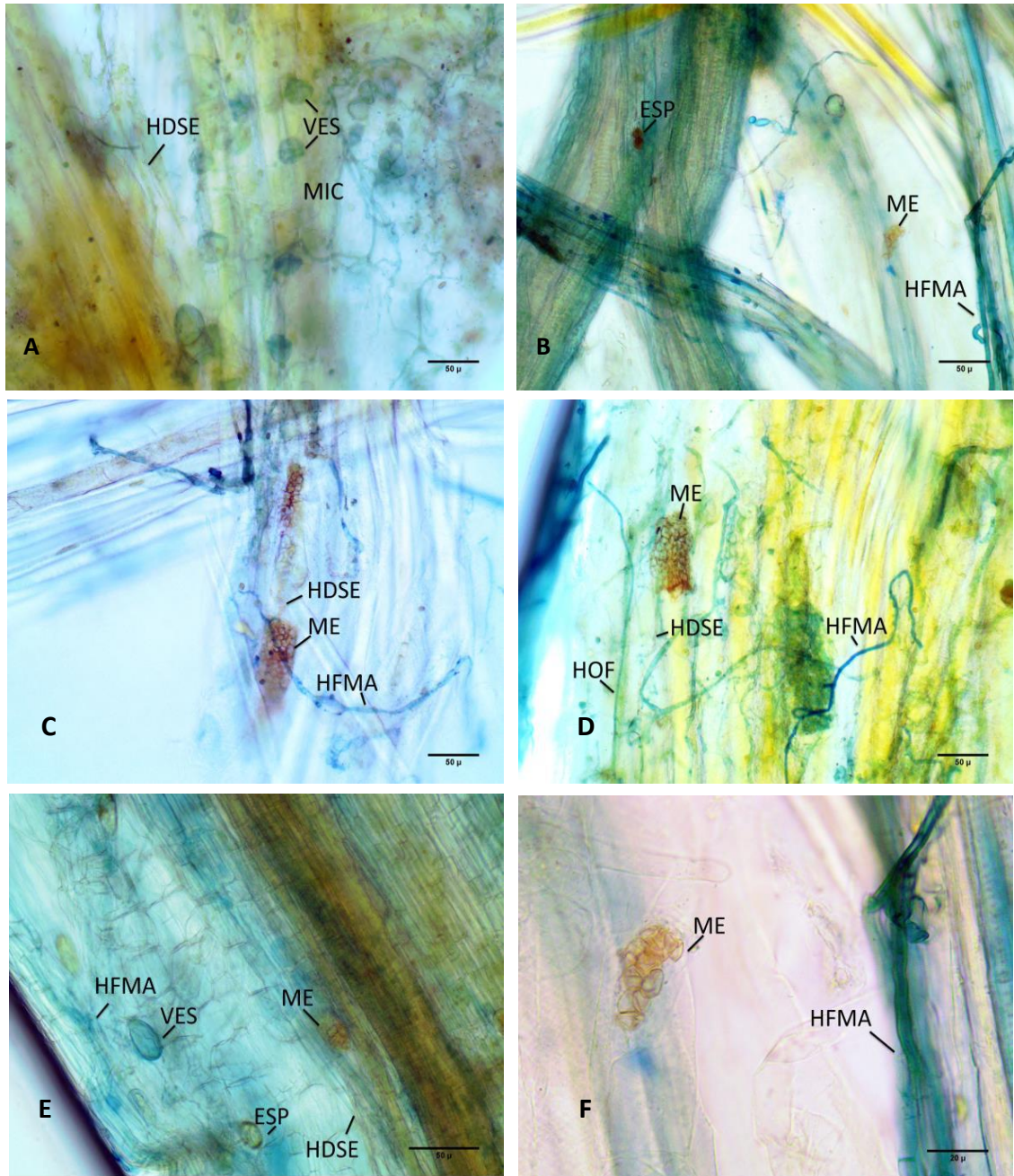


Figura 3. A – F: Estruturas de FMA e DSE em raízes de pteridófitas da família Thelypteridaceae na Rebio União. ME: Microescleródio (B, C, D, E, F), HFMA: Hifa de fungo micorrízico arbuscular (B, C, D, E, F). HDSE: hifas de Dark septate endophyte (A, C, D, E). VES: vesícula (A, E). ESP: esporo (B, E). HOF: hifa de outro fungo (D). Aumento de 400x (A, B, C, D, E). Aumento de 1000x (F).



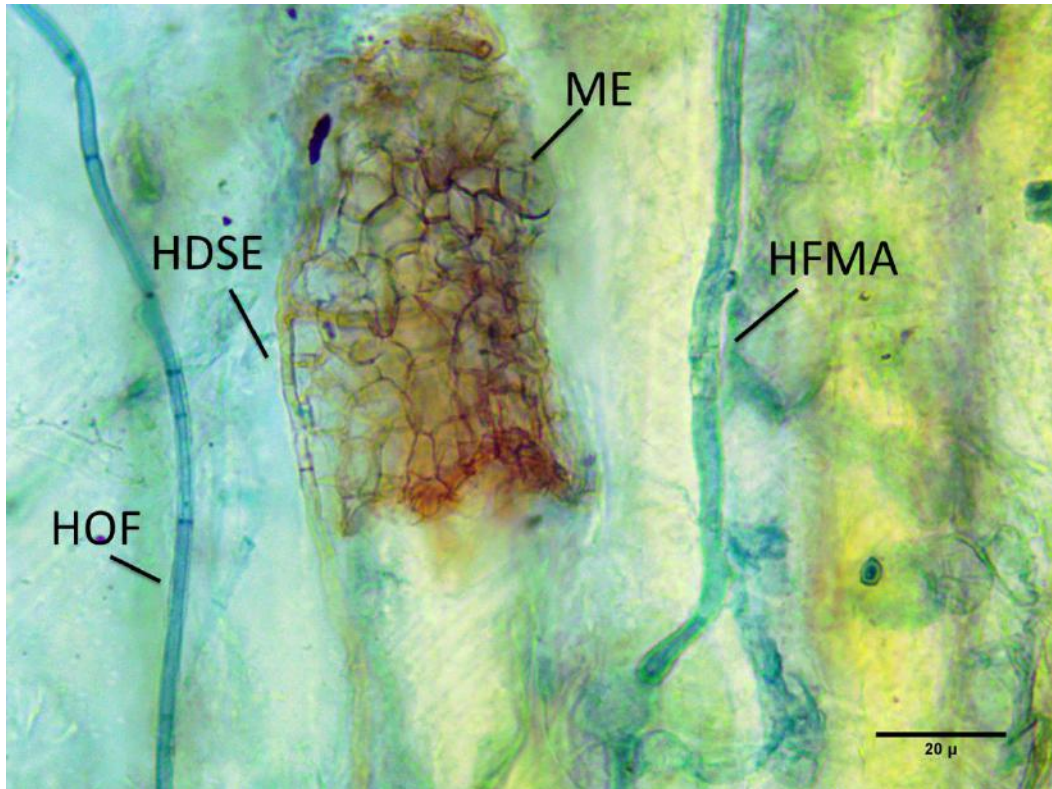


Figura 4. Estruturas encontradas em amostra de raízes de epitridófito da família Thelypteridaceae. HDSE: hifa de Dark septate endophyte. ME: microscleródio. HFMA: hifa de fungo micorrízico arbuscular. HOF: hifa de outro fungo.

Estruturas como hifas hialinas de FMA, hifas septadas escuras (DSE) e microscleródios puderam ser observadas nos fragmentos de raízes analisados, confirmando que estes vegetais da Região União são simbiotes de FMA e DSE.

Os fungos micorrízicos (FMA) desempenham um papel importante na estrutura do solo, na absorção de nutrientes e na sobrevivência das plantas. Atualmente, vários pesquisadores descobriram que as plantas associadas com a FMA também podem se associar à *Dark septate Endophytes* (DSE). Estudos observaram que os DSE também podem promover o crescimento da planta em uma variedade de ambientes, além da colonização de FMA, mais de 600 espécies de plantas são frequentemente colonizadas por (DSE), com uma função que ainda não conhece completamente as plantas (JUMPPONEN; TRAPPE, 1998). A colonização de DSE difere morfológicamente da simbiose micorrízica usual e é identificada principalmente por suas hifas e microscleróides escuras e pigmentadas que se desenvolvem intra e intracelularmente dentro do córtex. A cor escura do micélio é resultado da incorporação de melanina, um pigmento escuro natural (GRÜNIG et al., 2011).

### 3.5 CONCLUSÃO

Neste estudo foram observadas estruturas de FMA como hifas, vesículas e esporos em raízes de plantas coletadas em área contaminada por creosoto na Reserva Biológica União, distrito de Macaé - RJ. Verificou-se a ocorrência de interação de fungos micorrízicos arbusculares e *Dark septate endophyte* no local contaminado. A presença de hifas septadas melanizadas e estruturas semelhantes à microescleródios foram observadas nas raízes analisadas, constatando que os DSE estão associados aos vegetais da Reserva União. Outro tipo fúngico foi observado nas raízes coletadas, semelhantes à ecto e endomicorrizas, entretanto não foi possível afirmar que eram estes fungos.

Novos estudos que abordem a ecologia e ocorrência dos Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Dark Septate Endophyte* em áreas contaminadas por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos fazem-se necessários para o estudo de seu potencial de biorremediação. Assim como procedimento de peneiramento úmido para classificação dos fungos que ocorrem na área contaminada e quantificação de microescleródios para quantificação de colonização de DSE.

Entretanto, a partir da identificação da presença de FMA e DSE associados a uma pteridófito que se estabeleceu em um ambiente altamente contaminado com creosoto é possível sugerir a possibilidade da utilização dessa interação para remediar o solo contaminado na Reserva Biológica União.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-SHAIFY, Hussein I.; MANSOUR, Mona SM. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 25, n. 1, p. 107-123, 2016.
- AHLICH, K. Vorkommen und Charakterisierung von dunklen, septierten Hyphomyceten (DSH) in Gehölzwurzeln. PhD Dissertation, **Swiss Federal Institute of Technology**, Department of Forest Sciences, Zürich, Switzerland, 1997.
- ANDRADE, O.F. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em uma formação vegetal de restinga: ecologia e potencial para micorrizorremediação de hidrocarboneto do petróleo. **Vértices**, 17(3), pp.7-33, 2016.
- ANDRADE J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Ecletica Química**, São Paulo, v.35, n.3, Sept. 2010.
- ANDREW, D. R. *et al.* Abiotic factors shape microbial diversity in Sonoran Desert soils. **Applied and environmental microbiology**, 78(21), 7527-7537, 2012.
- AZEVEDO, M. *et al.* Responses of antioxidant defenses to Cu and Zn stress in two aquatic fungi. **Science of the total environment**, v. 377, n. 2, p. 233-243, 2007.
- BAN, Y.; TANG, M.; CHEN, H.; XU, Z.; ZHANG, H.; YANG, Y. The Response of DarkSeptate Endophytes (DSE) to Heavy Metals in Pure Culture. **Plos One**. Volume 7, Issue 10, 2012.
- BARROW J.; AALTONEN R. Evaluation of the internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. roots by dark septate fungi and the influence of host physiological activity. **Mycorrhiza**, 11:199–205, 2001.
- BARROW J.R. Atypical morphology of dark septate fungal root endophytes of *Bouteloua* in arid southwestern USA rangelands. **Mycorrhiza**.13:239–247, 2003.
- BERCH, S. M.; B. KENDRIK. Vesicular arbuscular mycorrhizae of southern Ontario ferns and fern allies. **Mycologia** 74:769–776. 1982.
- BONFIM, J. A. *et al.* Dark septate endophytic fungi of native plants along an altitudinal gradient in the Brazilian Atlantic forest. **Fungal Ecology**, 20, 202-210, 2016.
- BRASIL. **Plano de Manejo da Reserva Biológica União**: Resumo Executivo. Rio de Janeiro: MMA/ICMBIO, 2008a.
- CALDWELL, Bruce A.; JUMPPONEN, A.; TRAPPE, James M. Utilization of major detrital substrates by dark-septate, root endophytes. **Mycologia**, p. 230-232, 2000.
- CAPUTO, V. **Relatório referente ao passivo ambiental na Reserva Biológica União**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006.
- CHEN, Ming *et al.* Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 6, p. 745-755, 2015.

- CHENG, Min *et al.* Hydroxyl radicals based advanced oxidation processes (AOPs) for remediation of soils contaminated with organic compounds: a review. **Chemical Engineering Journal**, v. 284, p. 582-598, 2016.
- CLEMMENSEN, K.E.; BAHR, A.; OVASKAINEN, O.; DAHLBERG, A.; EKBLAD, A.; WALLANDER, H.; STENLID, J.; FINLAY, R.D.; WARDLE, D.A.; LINDAHL, B.D. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. **Science**, v.339, p.1615-1618, 2013.
- DHILLION, S. S. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of Equisetum species in Norway and USA.: occurrence and mycotrophy. **Mycol. Res** 97:656–660. 1993.
- FERNÁNDEZ, N.; MESSUTI, M. I.; FONTENLA, S. Arbuscular mycorrhizas and dark septate fungi in Lycopodium paniculatum (Lycopodiaceae) and Equisetum bogotense (Equisetaceae) in a Valdivian temperate forest of Patagonia, Argentina. **American Fern Journal**, v. 98, n. 3, p. 117-127, 2008.
- GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia, ciência ; desenvolvimento**. s/v. n. 34, p. 36-43, 2005.
- HARTNETT, D.C.; WILSON. G.W.T. The role of mycorrhizas in plant community structure and dynamics: lessons from grasslands. **Plant and Soil**. V.244, p.319–331, 2002.
- HEGEDÜS, Attila; ERDEI, Sára; HORVÁTH, Gábor. Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. **Plant Science**, v. 160, n. 6, p. 1085-1093, 2001.
- JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**. 37 (4):1192-1201, 2007.
- JANKOWSKY, I. P. Os creosotos na preservação de madeiras. **IPEF, ESALQ-USP**, Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba, SP, n.34, p.5-14, dez.1986.
- JOHNSON, N. C.; GRAHAM, J. H.; SMITH, F. A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism–parasitism continuum. **The New Phytologist**, v. 135, n. 4, p. 575-585, 1997.
- JUMPPONEN, A. R. I.; TRAPPE, James M. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. **The New Phytologist**, v. 140, n. 2, p. 295-310, 1998.
- JUMPPONEN, A. Dark septate endophytes – are they mycorrhizal? **Mycorrhiza** 11:207–211. 2001.
- KESSLER, M. et al. A survey of the mycorrhization of Southeast Asian ferns and lycophytes. **Plant Biology**, v. 12, n. 5, p. 788-793, 2010a.
- KESSLER, M. et al. Mycorrhizal colonizations of ferns and lycophytes on the island of La Réunion in relation to nutrient availability. **Basic and applied ecology**, v. 11, n. 4, p. 329-336, 2010b.
- KIM, Ki-Hyun et al. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. **Environment international**, v. 60, p. 71-80, 2013

- LI, Helian et al. Selective removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil washing effluents using biochars produced at different pyrolytic temperatures. **Bioresource technology**, v. 163, p. 193-198, 2014.
- LINGFEI, L.; YANG, A.; ZHAO, Z.W. Seasonality of arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes in a grassland site in Southwest China. **FEMS Microbiology Ecology**, v.54, p.367-373, 2005.
- LIU, Shao-Heng *et al.* Bioremediation mechanisms of combined pollution of PAHs and heavy metals by bacteria and fungi: A mini review. **Bioresource technology**, v. 224, p. 25-33, 2017a.
- LIU, Huan et al. Dark septate endophytes colonizing the roots of 'non-mycorrhizal' plants in a mine tailing pond and in a relatively undisturbed environment, Southwest China. **Journal of Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 264-271, 2017b.
- MA, Ying et al. Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. **Journal of environmental management**, v. 174, p. 14-25, 2016.
- MANDYAM K., JUMPPONEN A. Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. **Stud Mycol**, 53:173–189,2005.
- MANDYAM, K. Dark septate fungal endophytes from a tallgrass prairie and their continuum of interactions with host plants. Manhattan. 115f. **Dissertation (Doctor of philosophy) - Division of Biology, College of Arts and Sciences, Kansas State University**, 2008.
- MARINS, Josy Fraccaro de; CARRENHO, Rosilaine. Arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate fungi in plants associated with aquatic environments. **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, n. 2, p. 295-308, 2017.
- MASSENSINI, A.M.; BONDUKI, V.H.A.; TÓTOLA, M.R.; FERREIRA, F.A.; COSTA, M.D. "Arbuscular mycorrhizal associations and occurrence of dark septate endophytes in the roots of Brazilian weed plants." **Mycorrhiza**, v. 24, n.2 p.153-159, 2014.
- MENINI NETO, L.; ALVES, R.J.V.; BARROS, F. & FORZZA, R.C. Orchidaceae do Parque Estadual de Ibitipoca, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 21(3): 687-696 2007.
- MORAN, R.C. Diversity, biogeography, and floristics. In: Ranker, T.A. &Haufler, C.H. (eds.). Biology and evolution of ferns and lycophytes. **Cambridge University Press**, New York. p. 367-394, 2008.
- MORESCHI, J. C. Biodegradação e preservação de madeira. . 4<sup>a</sup> ed. Paraná: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, **Universidade Federal do Paraná**, v.2: Preservativos de madeira. Abril, 2013
- MOSCOSO, F. et al. Efficient PAHs biodegradation by a bacterial consortium at flask and bioreactor scale. **Bioresource technology**, v. 119, p. 270-276, 2012.
- NARISAWA, Kazuhiko *et al.* The dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* is a potential decomposer of soil organic compounds and a promoter of *Asparagus officinalis* growth. **Fungal Ecology**, v. 28, p. 1-10, 2017.
- NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Estratégias agroecológicas para aumentar a resiliência no contexto de mudanças climáticas. **Agriculturas: experiências em agroecologia**, v. 28, n.2, 2012.

- OGUNNIYI, Titus AB et al. Disinfectants/antiseptics in the management of guinea worm ulcers in the rural areas. **Acta tropica**, v. 74, n. 1, p. 33-38, 2000.
- PETERSON, R. L.; H. B. MASSICOTE; L. H. MELVILLE. Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology NRC Research Press. **Ottawa**. 2004.
- PEREIRA, A. F. N.; BARROS, I. C. L.; SANTIAGO, A. C. P.; SILVA, I. I. A. Florística e distribuição geográfica das samambaias e licófitas da Reserva Ecológica de Gurjaú, Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**, v.62, n.1,p.1-10, 2011.
- PERLATTI, F. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares no solo de agroecossistemas e mata nativa em ambiente semiárido no ceará. **Embrapa**, 2010.
- POTIN, O. *et al.* Bioremediation of an aged polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)-contaminated soil by filamentous fungi isolated from the soil. **International Biodeterioration and Biodegradation**, **Oxford**, v.54, n.1, p.45-52, 2004.
- PRADO, J.; SYLVESTRE, L.S. Samambaias e Licófitas. In: Forzza, R.C. *et al.* (eds.). **Catálogo de plantas e fungos do Brasil**. Vol. 1. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Pp. 522-567, 2010.
- PRYER KM, SCHNEIDER H, SMITH HR, CRANFILL R, WOLF PG, HUNT JS *et al.* Horsetails and ferns are a monophyletic group and are the closest living relatives to seed plants. **Nature** 409, 618–622, 2001.
- PRYER, Kathleen M. *et al.* Phylogeny and evolution of ferns (monilophytes) with a focus on the early leptosporangiate divergences. *American journal of Botany*, v. 91, n. 10, p. 1582-1598, 2004.
- REDMAN, R.; SHEELHAN, K. B.; STOUT, R. G.; RODRIGUEZ, R. J.; HENSON, J. M. Thermo tolerance generated by plant/fungal symbiosis. **Science**, v.298, n.5598, p.1581, nov., 2002.
- REMY, Winfried *et al.* Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 25, p. 11841-11843, 1994.
- RILLIG, M. C. *et al.* The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. **Plant Soil**, v. 238, p. 325-333, 2002
- RODRIGUEZ, R.J.; WHITE, F.A. JR.; ARNOLD, A. E.; REDMAN, R.S. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytol* 182:314–330, 2009.
- RUSSELL, Jonathan R. *et al.* Biodegradation of polyester polyurethane by endophytic fungi. **Applied and environmental microbiology**, v. 77, n. 17, p. 6076-6084, 2011.
- SCERVINO, J. M. *et al.* Exudates of dark septate endophyte (DSE) modulate the development of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora rosea*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 8, p. 1753-1756, 2009.
- SHARPE, J. M.; MEHLTRETER, K.; WALKER, L. R. Ecological importance of ferns. **Fern Ecology**. 1. ed. New York: Cambridge University press.1-17p., 2010.
- SHEN, M.; ZHAO, D. K.; QIAO, Q.; LIU, L.; WANG, J. L.; CAO, G. H.; LI, T.; ZHAO, Z.W. Identification of Glutathione S-Transferase (GST) Genes from a Dark Septate Endophytic Fungus

(*Exophiala pisciphila*) and Their Expression Patterns under Varied Metals Stress. **Journal pone**, April 17, 2015.

SIEBER, T.N. & GRÜNIG, C.R. Fungal root endophytes. In: Eshel, A., Beeckman, T. (Eds.), **Plant Roots e the Hidden Half**, fourth ed. Florida, Boca Raton, pp. 38- 31 e 38-49,2013.

SMITH, A.R.; PRYER, K.M.; SCHUETTPELZ, E.; KORALL, P.; SCHNEIDER, H. & WOLF, P.G. A classification for extant ferns. **Taxon** 55(3): 705-731, 2006

SMITH, A.R.; PRYER, K.M.; SCHUETTPELZ, E.; KORALL, P.; SCHNEIDER, H. & WOLF, P.G. Fern classification. In: Ranker, T.A. & Haufler, C.H. (Eds.). *Biology and evolution of ferns and lycophytes*. **New York, Cambridge University Press**. Pp. 417-467,2008.

SOUZA, F. A. de; GUERRA, J.G.M. Emprego de Técnicas do Número mais Provável (NMP) no Estudo de populações de Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs). Seropédica: **Embrapa. Agrobiologia** – 1998. 34p. (Embrapa-CNPAB.Circular Técnica nº 2 – ISSN 1516-0653).

VIANNA, J. S. *et al.* Contaminação do solo por creosoto em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral: o caso da Reserva Biológica União – RJ/Brasil. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.131-153, 30 dez. 2016. Essentia Editora. <http://dx.doi.org/10.19180/2177-4560.v10n22016p131-153>.

Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/7618>>. Acesso em: 11 out. 2017.

WINDISCH, P. G.; PRADO, J. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais Cyatheaceae. **Boletim de Botânica**, v. 12, p. 7-13, 1990.

WINDISCH, P.G. Fern conservation in Brazil. **Fern Gazette** 16: 295-300, 2002.

WINTHER, J. L. ; W. E. FRIEDMAN. Arbuscular mycorrhizal associations in Lycopodiaceae. **New Phytol** 177:790–801. 2007.

WU, Gang et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, n. 1, p. 1-8, 2010.

YU T., NASSUTH A. & PETERSON RL. Characterization of the interaction between the dark septate fungus *Phialocephala fortini* and *Asparagus officinalis* roots. **Can J Microbiol** 47: 741–753, 2001.

ZHAN, F.; HE, Y.; LI, T.; YANG, Y.; TOOR, G. S.; ZHAO, Z. Tolerance and Antioxidant Response of a Dark Septate Endophyte (DSE), *Exophiala pisciphila* to Cadmium Stress. **Bull Environ Contam Toxicol** 94:96–102, 2015.

ZHANG, Xu-Xiang et al. Microbial PAH-Degradation in Soil: Degradation Pathways and Contributing Factors 11 Project supported by the National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China (No. 2001AA214191). **Pedosphere**, v. 16, n. 5, p. 555-565, 2006.

ZHANG, Chen et al. Combined removal of di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and Pb (II) by using a cutinase loaded nanoporous gold-polyethyleneimine adsorbent. **Rsc Advances**, v. 4, n. 98, p. 55511-55518, 2014.

ZHANG, Chen et al. Efficacy of carbonaceous nanocomposites for sorbing ionizable antibiotic sulfamethazine from aqueous solution. **Water research**, v. 95, p. 103-112, 2016.

ZHAO, Z. W. The arbuscular mycorrhizas of pteridophytes in Yunnan, southwest China: evolutionary interpretations. **Mycorrhiza** 10:145–149. 2000.

ZUQUIM, G.; COSTA, F. R. C.; PRADO, J.; TUOMISTO, H. **Guia de samambaias e licófitas da REBIO Uatumã**. Amazônia Central, Manaus:[sn], 2008.