



Departamento de Ciências Naturais  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**Fungos micorrízicos arbusculares associados a raízes de  
*Deschampsia antarctica* Desv. na Baía do Almirantado, Ilha  
Rei George, Antártica**

**ELISMARA APARECIDA PEREIRA**

**SÃO JOÃO DEL-REI - MG**

**2017**

**ELISMARA APARECIDA PEREIRA**

**Fungos micorrízicos arbusculares associados a raízes de *Deschampsia antarctica*  
*Desv.* na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica**

Orientador: Prof. Dr. Juliano de Carvalho Cury  
Co-orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

**SÃO JOÃO DEL-REI – MG**

**2017**

Nome: Elismara Aparecida Pereira

Título: Fungos micorrízicos arbusculares associados a raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de São João del-Rei como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Aprovada em 28 de Julho de 2017

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro (Membro externo - UFLA)

---

Profª. Dra. Iara Freitas Lopes (Membro interno - UFSJ)

---

Prof. Dr. Juliano de Carvalho Cury (Orientador)

Apoio/financiamento:

Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PROPE/UFSJ.

Departamento de Ciência do Solo – UFLA.

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais – INCT-APA.

Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), por meio do Departamento de Ciências Naturais (DCNAT) e do Programa de Pós-Graduação em Ecologia (PGE), pela oportunidade de realização do mestrado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Ciência do Solo (DCS) pela parceria na realização do meu projeto de pesquisa.

Aos professores do PGE pelos valiosos ensinamentos, especialmente à Profa. Tatiana Cornelissen e à Profa. Letícia Vieira pela paciência, dedicação, esforço e imenso conhecimento transmitido.

Ao Prof. Fernando Azevedo pelo rigor, disciplina e conhecimento repassados de forma muito didática.

À Profa. Tatiana Cornelissen e ao Prof. Fernando Azevedo agradeço imensamente as atividades super ferradas e as severas críticas, principalmente do Prof. Fernando Azevedo. Ambos me apresentaram a ecologia de uma forma fascinante.

Ao Prof. Juliano Cury pela excelente orientação, paciência, dedicação e esforço.

Ao Prof. Marco Aurélio Carbone Carneiro pela co-orientação e por ter disponibilizado os recursos e a estrutura que eu precisava para realizar meu projeto.

Ao Prof. Marco Aurélio Carneiro e Profa. Iara Freitas Lopes pela composição da banca.

A Karl Kimmelmeier pelos ensinamentos e valiosa contribuição na classificação das espécies de fungos micorrízicos.

A toda a equipe do Laboratório de Microbiologia do Solo do DCS-UFLA pela convivência e ensinamentos.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPE) pela concessão de bolsa.

À Nathália Ribeiro e à Juliana Lombello, grandes amigas que o mestrado me presenteou. Elas foram grandes companheiras desde o primeiro ao último dia. Só tenho a agradecer o apoio, companheirismo, sinceridade, integridade e alegria que elas me proporcionaram. Amigas para a vida toda.

À Gabriela Meireles, amiga de campo, pela amizade, motivação e valiosos ensinamentos.

À Fernanda Resende que me agregou em sua república. Obrigada pela amizade, convivência e paciência.

A meu marido Jeferson pelo companheirismo e grande apoio moral. Nas horas em que eu fraquejava era ele quem me dava forças e me impulsionava a continuar seguindo. Obrigada por confiar tanto no meu potencial, por ter sido tão paciente e por ter me apoiado tanto. Este título dedico a ele.

A Deus, por ter me feito forte, paciente e perseverante diante dessa jornada.

*“As espécies que sobrevivem não são  
as mais fortes, nem as mais  
inteligentes, e sim aquelas que se  
adaptam melhor às condições”.*

*Charles Darwin*

## **Sumário**

Introdução -----	9
Objetivos-----	11
Hipóteses-----	11
Metodologia -----	11
Área de Estudo -----	11
Amostragem -----	13
Análise química do solo-----	14
Determinação da taxa de colonização micorrízica -----	14
Extração dos esporos do solo e caracterização taxonômica-----	14
Resultado-----	15
Discussão -----	17
Conclusões-----	22
Referências Bibliográficas-----	23
Anexos -----	27

## Resumo

Os microrganismos vivem nos mais diversos habitats terrestres. Entre os microrganismos destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), os quais se associam às raízes das plantas e colonizam mais de 80% das espécies vegetais terrestres, tornando algumas espécies de plantas dependentes dessa relação para o seu desenvolvimento. Estudos sobre a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em ambientes extremos, como o Continente Antártico, são escassos. Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo rizosférico e raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. coletados próximos às estações de pesquisa do Brasil (Estação Antártica Comandante Ferraz - EACF) e da Polônia (Arctowski), localizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, arquipélago Shetland do Sul, Antártica. Foram realizadas coletas de solo rizosférico e raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. próximo à EACF e próximo à Estação Arctowski. No laboratório foi realizada a avaliação química do solo e definida a densidade e diversidade de espécies de FMAs e a colonização micorrízica nas raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. No total, foram recuperados 15 esporos de FMAs na área da EACF e não foi encontrado nenhum esporo de FMA na área da Estação Arctowski. A colonização micorrízica das raízes de *D. Antarctica* foi de 40% para a área da EACF e de 24% para a área da Estação Arctowski. No total foram identificadas duas espécies de FMAs, distribuídas em dois gêneros: uma espécie pertencente ao gênero *Acaulospora*, a qual foi possível identificação em nível de espécies (*Acaulospora mellea*) e uma espécie do gênero *Glomus* classificada como *Glomus sp1*. A área da EACF apresentou concentração de fósforo de 178,57mg dm<sup>-3</sup>. A área da Estação Arctowski continha níveis de fósforo cinco vezes maior (897,83mg dm<sup>-3</sup>). A baixa colonização micorrízica e falta de esporos de FMAs na Estação Arctowski pode estar associada principalmente à elevada concentração de fósforo nessa área. A diversidade de FMAs nas áreas estudadas pode ser limitada pela baixa temperatura, baixa diversidade vegetal e altos níveis de P presentes no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** níveis de fósforo, baixas temperaturas, colonização micorrízica, baixa diversidade vegetal.

## Abstract

Microorganisms live in the most diverse terrestrial habitats. Among the microorganisms, arbuscular mycorrhizal fungi (AMFs) are associated with plant roots and colonize more than 80% of terrestrial plant species, making some plant species dependent on this relationship for their development. Studies on the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in extreme environments such as the Antarctic Continent are scarce. Therefore, the objective of this study was to evaluate the occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in rhizospheric soil and roots of *Deschampsia antarctica* Desv. collected near the research stations of Brazil (Antarctic Station Comandante Ferraz - EACF) and Poland (Arctowski), located in Admiralty Bay, King George Island, South Shetland archipelago, Antarctica. They were collected samples of rhizospheric soil and roots of *Deschampsia antarctica* Desv. close to EACF and Arctowski Stations. In the laboratory, they were performed analyses of chemical characterization of the soil, density and diversity of AMFs species and mycorrhizal colonization of the roots of *Deschampsia antarctica* Desv. In total, we observed fifteen spores of AMFs that were recovered from the area of EACF Station. No spores were found in the soil samples collected in the area of Arctowski Station. The mycorrhizal colonization of *D. Antarctica* roots was 40% for the samples collected in the area of EACF Station and 24% for the samples collected in the area of Arctowski Station. In total, two species of AMFs were identified, distributed in two genera: one species belonging to the genus *Acaulospora*, which was possible to identify in species level (*Acaulospora mellea*) and one species of the genus *Glomus* classified as *Glomus* sp1. The area of EACF Station presented phosphorus concentration of 178.57 mg dm<sup>-3</sup>. The area of Arctowski Station contained almost five time more phosphorus (897.83 mg dm<sup>-3</sup>). The low mycorrhizal colonization and lack of AMFs spores at Arctowski Station is probably mainly due to the high concentration of phosphorus in this area. The diversity of AMFs in the evaluated region is probably limited by the low temperature, low plant diversity and high levels of P present in the soil.

**KEYWORDS:** Phosphorus levels, low temperatures, mycorrhizal colonization, low plant diversity.

## 1. Introdução

Os microrganismos vivem nos mais diversos habitats terrestres, podendo ser encontrados em ambientes extremos como as regiões congeladas da Antártica e até mesmo em fontes de água fervente (TORTORA, 2000). Os fungos compreendem um grupo de microrganismos que desempenham papéis fundamentais nos ciclos biogeoquímicos, contribuindo para muitos processos ecológicos, principalmente em ecossistemas como o solo (JEFFRIES et al., 2003). Os fungos são heterotróficos e, por isso, necessitam de fontes externas de carbono como fonte de energia e para a síntese de componentes celulares (FINLAY, 2008). Algumas espécies de fungos realizam simbioses com vários grupos de organismos para garantir sua sobrevivência (TORTORA, 2000).

Entre as diversas simbioses fúngicas destaca-se a simbiose entre fungos micorrízicos e as raízes das plantas vasculares. Há relatos de que esta associação iniciou há mais de 400 milhões de anos com o surgimento das primeiras plantas terrestres, permitindo a co-evolução de ambos os parceiros (INVAM, 2017). Registros fósseis evidenciam a associação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) à *C. cornifer* em solos da Antártica no período Triássico a, aproximadamente, 88 milhões de anos (SCHWENDEMANN et al., 2009; HARPER et al., 2015). Os fungos micorrízicos arbusculares pertencem ao Filo Glomeromycota e se distribuem em 4 ordens, 13 famílias e 19 gêneros com aproximadamente 251 espécies (Schüßler, 2002). Esses organismos se associam às raízes das plantas e colonizam mais de 80% das espécies vegetais terrestres, tornando algumas espécies de plantas dependentes dessa relação para o seu desenvolvimento (SMITH & READ, 2008).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) formam a simbiose mais difundida entre as espécies vegetais (NICOLSON, 1967; GERDEMANN, 1975; CHRISTIE & NICOLSON, 1983). Eles colonizam quase todos os gêneros das Gimnospermas e Angiospermas, além de alguns representantes de Briófitas e Pteridófitas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Esses organismos se associam ao interior das raízes e transportam água e nutrientes de baixa mobilidade no solo para a planta hospedeira (FINLAY, 2008). O fósforo é o principal elemento obtido pelas plantas através da simbiose com os fungos micorrízicos arbusculares, principalmente quando esta associação ocorre em solos de baixa fertilidade (JEFFRIES et al., 2003). Em troca, os FMAs obtêm das raízes das plantas fotoassimilados para completar seu ciclo de vida (SMITH & READ, 2008).

Os FMAs também são fundamentais na formação e manutenção de agregados do solo através da produção de uma glicoproteína, a glomalina, que funciona como um agente de ligação das partículas do solo, auxiliando na concentração de carbono nesse ambiente e otimizando a ligação solo-planta (WILSON, 2009). Para Cabral et al. (2015), os fungos micorrízicos têm o potencial de absorver metais presentes em solos contaminados e estocá-los em estruturas de armazenamento, reduzindo a transferência desse elemento tóxico para a planta, sendo um importante biorremediador de áreas contaminadas. Eles também protegem a planta hospedeira contra patógenos (JEFFRIES et al., 2003). Desse modo, os FMAs contribuem para o estabelecimento e sobrevivência das espécies vegetais sob diversas condições de estresses ambientais (SMITH & READ, 2008).

A composição e dinâmica das comunidades de micorrizas têm um forte impacto sobre a estrutura e diversidade das comunidades vegetais tanto em ecossistemas naturais quanto manejados (JEFFRIES et al., 2003). Segundo Hiiesalu et al. (2014), a maior riqueza de espécies de fungos micorrízicos pode promover uma maior riqueza de comunidades vegetais. No entanto, ambientes de altas latitudes se caracterizam por apresentarem fatores ambientais extremos que impõem uma pressão seletiva sobre as plantas e, conseqüentemente, uma redução nas simbioses (NEWSHAM et al., 2009).

Ambientes de latitudes altas como o continente Antártico apresentam clima extremamente frio, sendo o solo coberto por gelo e neve durante vários meses do ano (NEWSHAM et al., 2009). Além disso, os solos de ambientes extremos são pobres em nutrientes, limitando o desenvolvimento vegetal (DUC et al., 2009). O continente antártico corresponde à maior reserva de gelo do planeta. Cerca de 95% do continente é coberto por gelo (BRASIL, 2017). Embora as condições ambientais sejam extremas à sobrevivência, o continente abriga duas espécies de plantas nativas vasculares de angiospermas, uma Caryophyllacea, a *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl., e uma Poecaeae, a *Deschampsia antarctica* Desv. (Gonçalves et al., 2008).

Há muito tempo já se sabe que os fungos micorrízicos arbusculares ocorrem em todos os continentes (TINKER, 1975; CHRISTIE & NICOLSON, 1983). Entretanto, estudos sobre a ocorrência desses microrganismos na região da Antártica Marítima são escassos. Alguns trabalhos já relataram a ocorrência de FMAs em algumas regiões do continente (CHRISTIE & NICOLSON, 1983; SMITH & NEWTON, 1986; CABELLO et al. 1994; DEMARS & BOERNER, 1995; UPSON et al., 2008; NEWSHAM et al., 2009; BARBOSA et al., 2017 – artigo aceito para publicação). Entretanto, as pesquisas

sobre tais microrganismos ainda são escassas em todo o continente Antártico, incluindo a região da Ilha Rei George e demais ilhas do arquipélago Shetland do Sul, onde já existem relatos sobre a presença dos FMAs em simbiose com *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis* (CHRISTIE & NICOLSON, 1983; SMITH & NEWTON, 1986; CABELLO, 1994; DEMARS & BOERNER, 1995; UPSON, 2008; BARBOSA et al., 2017 – artigo aceito para publicação). Portanto, considerando as importantes funções que os FMAs exercem, o conhecimento da ocorrência e diversidade de tais microrganismos pode ajudar no monitoramento do Continente Antártico, principalmente em relação à ação antrópica e ao aumento da temperatura na região.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a ocorrência e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em raízes e solo rizosférico de *Deschampsia antarctica* Desv. coletados nas estações de pesquisa do Brasil (Estação Antártica Comandante Ferraz - EACF) e da Polônia (Arctowski), localizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, arquipélago Shetland do Sul, Antártica.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar a porcentagem de colonização micorrízica em raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. coletadas nas áreas de estudo.

Determinar a densidade de esporos e riqueza de espécies de FMAs em solo rizosférico das áreas estudadas.

## **3. Hipóteses**

1) As plantas de *Deschampsia antarctica* Desv. das áreas próximas à EACF e à Estação Arctowski apresentam simbiose com FMAs.

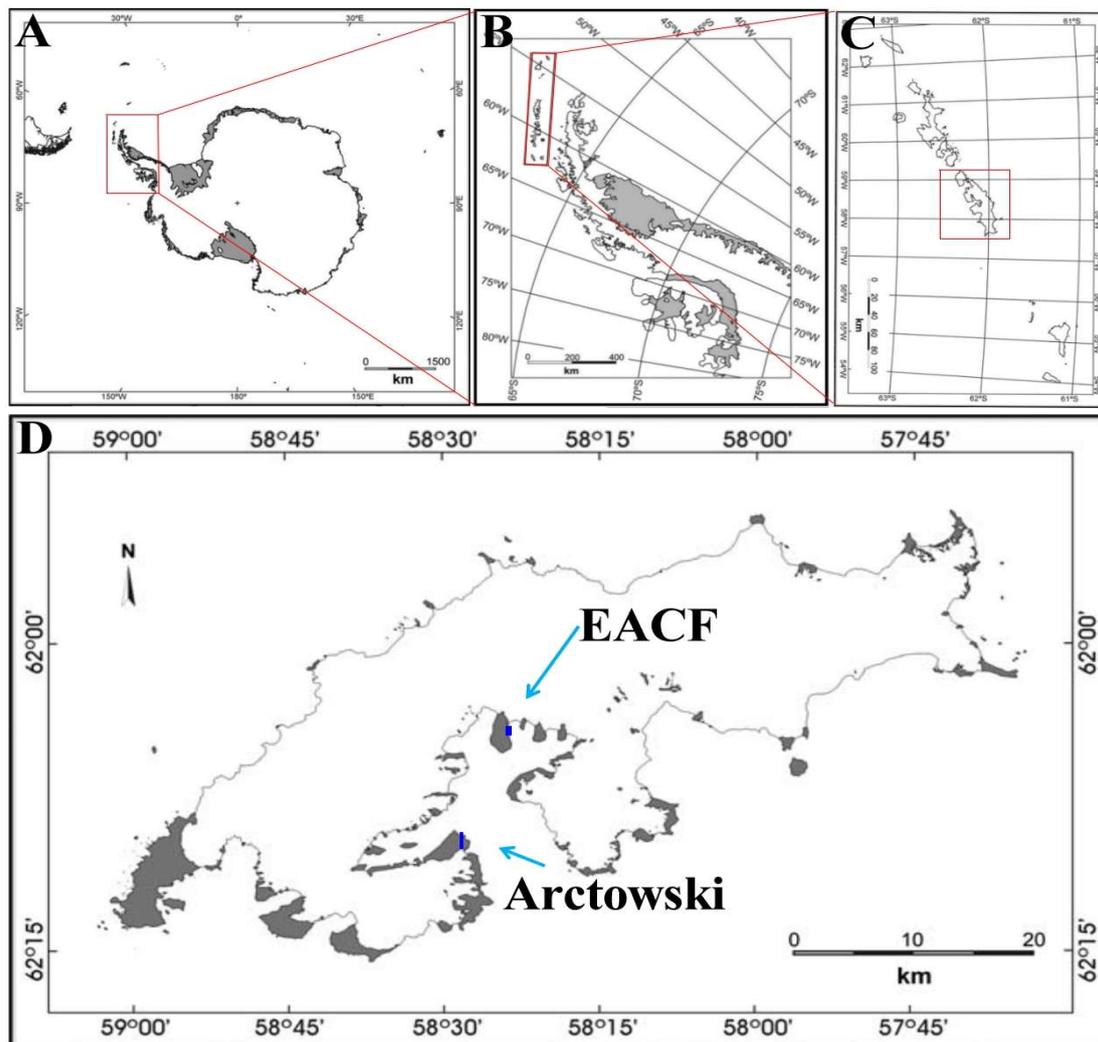
2) As comunidades de FMAs das áreas próximas à EACF e à Estação Arctowski apresentam baixa diversidade.

3) Existe variação de colonização e de diversidade de FMAs entre os pontos amostrais da área próxima à EACF, entre os pontos amostrais da área próxima à Estação Arctowski e entre estas áreas as áreas.

## 4. Metodologia

### 4.1 Área de estudo

As amostras utilizadas no estudo se concentraram em dois locais da Baía do Almirantado, na ilha Rei George, arquipélago das ilhas Shetland do Sul: 1) Península Keller, em uma área próxima à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF); 2) em uma área próxima à Estação Polonesa Henryk Arctowski (Figura 1).



**Figura 1:** Localização das duas áreas onde foram coletadas as amostras de raízes e solo rizosférico de *Deschampsia antarctica* Desv.: A) Continente Antártico com a Península Antártica em destaque; B) Península Antártica com o Arquipélago Shetland do Sul em destaque; C) Arquipélago Shetland do Sul com a Ilha Rei George em destaque; D) Ilha Rei George com indicação da localização aproximada das Estações Antárticas do Brasil (EACF) e da Polônia (Arctowski) e os transectos de coletas de amostras adjacentes (retângulos azuis). Figura adaptada utilizando-se os mapas de Simões et al. (2004).

## 4.2 Amostragem

As coletas das amostras de raízes e solo rizosférico de *Deschampsia antarctica* Desv. foram realizadas durante a XXXIV OPERANTAR, em janeiro de 2016, ao longo de dois transectos localizados em áreas próximas às estações antárticas do Brasil (62°05'06''S; 58°23'29''O) e da Polônia (62°09'41''S; 58°28'10''O), como mostrado na Figura 1. Ao longo de tais transectos foram coletadas amostras em pontos com distância de cerca de 30 metros entre si, sendo que em cada ponto de coleta foram coletadas três amostras de solo rizosférico e raízes de *Deschampsia antarctica* Desv., perpendicular ao transecto, formando uma amostra composta de 200 g de solo, representando três repetições. A Tabela 1 mostra a coordenada geográfica de cada ponto de coleta nos dois transectos.

**Tabela 1:** Coordenadas geográficas de cada ponto amostral de solo rizosférico e raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. na região da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, Antártica.

	Amostra	Coordenadas	Altitude
EACF	P1	58°23'30''W, 62°53'48''S	0m
	P2	58°23'41''W, 62°4'46''S	0m
	P3	58°23'41''W, 62°4'41''S	7m
	P4	58°23'43''W, 62°4'39''S	20m
	P5	58°23'27''W, 62°4'59''S	0m
	P6	58°23'27''W, 62°4'58''S	0m
	P7	58°23'29''W, 62°4'57''S	0m
	P8	58°23'29''W, 62°4'58''S	0m
Arctowski	P1	58°27'55''W, 62°09'42''S	0m
	P2	58°27'58''W, 62°09'44''S	8m
	P3	58°27'59''W, 62°09'45''S	7m
	P4	58°28'04''W, 62°09'46''S	14m
	P5	58°27'07''W, 62°09'49''S	42m

As amostras foram acondicionadas separadamente em tubos de polipropileno tipo Falcon de 50mL esterilizados. Os tubos contendo as raízes foram preenchidos com

etanol 70% e os tubos contendo o solo foram acondicionados, transportados até o Brasil e estocados no laboratório sob refrigeração (4°C) até o momento das análises.

#### **4.3 Extração dos esporos do solo e caracterização taxonômica**

Uma quantidade de 50 ml de solo de cada amostra foi destinada à extração de esporos, realizada pelo método de peneiramento úmido, conforme Gerdemann & Nicolson (1963) e adaptada por Jenkin (1964). O solo foi lavado por 5 vezes, sendo em seguida peneirado utilizando-se peneiras de malhas de 0,71, 0,105 e 0,053mm. O solo retido na peneira de 0,053mm foi centrifugado em água a 3.000 rpm por três minutos. Após, a água foi descartada, deixando apenas o solo que foi decantado, sendo este homogeneizado em 50 ml de solução de sacarose 50% e centrifugado por 2 min a 2.000 rpm. Após, o sobrenadante foi drenado em peneira de 0,044 mm, lavado para eliminar o excesso de sacarose e transferido para uma placa de Petri contendo raias para a contagem de esporos.

Os esporos foram contados com o auxílio de um microscópio estereoscópico com aumento de 40× e separados para preparo de lâminas para microscopia. Para as determinações qualitativas (identificação) os esporos foram fixados com PVL (Polivinil-álcool) em lâminas e observados em microscópio estereoscópico. A identificação das espécies foi definida baseando-se em características morfológicas dos esporos (cor, tamanho e número de paredes) conforme Schüßler & Walker (2010) e Redecker et al. (2013).

#### **4.4 Determinação da taxa de colonização micorrízica**

Uma porção de 0,5g de cada amostra de raiz foi submetida ao processo de coloração, que se constituiu em uma etapa de descoloração através de imersão em solução clareadora de hidróxido de potássio (KOH) a 10%. Após, as raízes foram aquecidas em banho-maria a 90°C por 40min, sendo, em seguida, lavadas em água destilada e colocadas em ácido clorídrico (HCl) 2% durante 30 minutos. Finalmente, as raízes foram coradas em solução de lactoglicerol com azul de tripano a 0,05%, conforme Koske & Gemma (1989). A porcentagem de colonização micorrízica de segmentos de raízes de 5cm de comprimento de cada amostra foi determinada em estereoscópio (lupa) com aumento de 40×, através do método de placa quadriculada, no

qual 100 pontos de interseção foram analisados (PHILLIPS & HAYMAN, 1970; GIOVANNETTI & MOSSE, 1980).

#### 4.5 Análise química do solo

O solo coletado em cada ponto amostral foi reunido em uma amostra composta para cada área, totalizando duas alíquotas de 100 g de solo. Essas alíquotas foram destinadas à análise química de rotina (pH, C, P, K, Ca, Mg e Al) realizada no Departamento de Ciência do Solo da UFLA, de acordo com metodologia de análises de rotina (CLAESSEN et al., 1997).

### 5. Resultados

Nas duas áreas estudadas a densidade de esporos de FMAs recuperados foi extremamente baixa, sendo 15 esporos na área próxima à EACF e nenhum esporo na área próxima à Estação Arctowski. Na área próxima à EACF encontrou-se *Acaulospora mellea* com uma abundância de seis esporos e *Glomus sp1* com abundância de oito esporos (Tabela 1). A descrição morfológica dos FMAs recuperados encontra-se no Anexo 1.

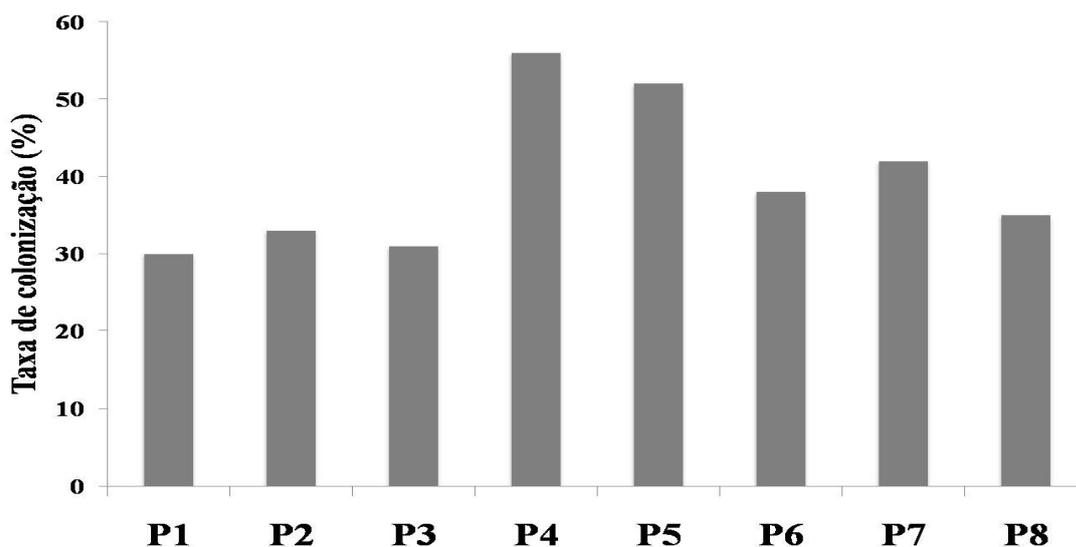
**Tabela 1.** Gêneros e respectivas espécies identificadas na área próxima à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF).

Gênero	Espécie	Nº de esporos
<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora mellea</i>	5
<i>Glomus</i>	<i>Glomus sp 1</i>	1
<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora mellea</i>	1

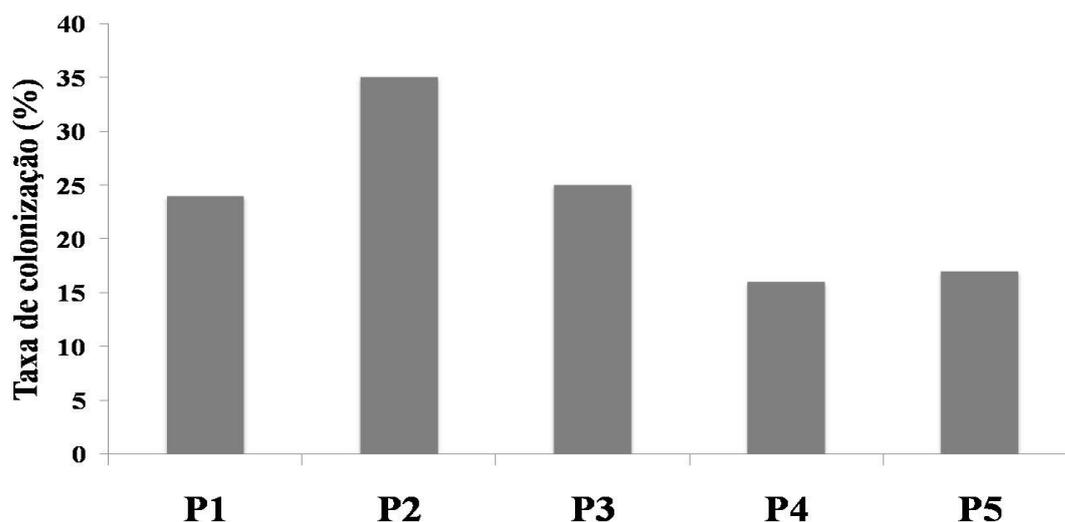
Todas as amostras de raízes de *D. antarctica* Desv. apresentaram colonização por FMAs, inclusive as raízes da área próxima à Estação Arctowski, que não apresentou esporos no solo rizosférico (imagens no Anexo 3).

As raízes de *D. antarctica* Desv. da área próxima à EACF apresentaram média de colonização micorrízica de 40% (Figura 2), enquanto que as raízes da área próxima à

Estação Arctowski apresentaram média de colonização micorrízica de 24% (Figura 3). As raízes de *D. antarctica* Desv. dos pontos amostrais P1 e P3 da área próxima à EACF, que continham presença de esporos de FMAs no solo rizosférico, apresentaram porcentagem de colonização micorrízica de 30% e 31%, respectivamente, sendo essas porcentagens as mais baixas em relação aos demais pontos amostrais da área próxima à EACF (Figura 2).



**Figura 2:** Taxa de colonização micorrízica em raízes de *D. antarctica* dos pontos amostrais da área próxima à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF).



**Figura 3:** Taxa de colonização micorrízica em raízes de *D. antarctica* dos pontos amostrais da área próxima à Estação Arctowski.

A análise química do solo revelou alta concentração de P no solo das áreas estudadas, especialmente na área próxima à Estação Arctowski, que possui concentração de P cinco vezes maior do que o solo da área próxima à EACF (Tabela 2). O pH em ambas as áreas é ácido (Tabela 2).

**Tabela 2:** Caracterização química das amostras de solo coletadas nas áreas próximas às EACF e à Estação Arctowski.

	<b>pH</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
		----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
EACF	5,4	170,00	178,57	112,63	14,52	2,04
Arctowski	4,4	288,00	897,83	6,92	10,87	9,55
	<b>m</b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>t</b>	<b>M.O.</b>	
	<b>%</b>	----- Cmolc dm <sup>-3</sup> -----			<b>dag Kg<sup>-1</sup></b>	
EACF	1,61	9,20	0,30	18,64	0,86	
Arctowski	42,37	1,60	4,00	9,44	2,11	

\* Para determinação das características químicas foram utilizados: KCl e CaCl<sub>2</sub> relação: 1/2,5 (pH em água), Extrator Mehlich1 (K e P), Extrator SMP (H+Al), Extrator KCl mol L<sup>-1</sup> (Ca, Mg, Al).

## 6. Discussão

Os dados obtidos evidenciam o impacto da condição extrema na diversidade e composição da comunidade de FMAs associados a raízes de *Deschampsia antarctica* Desv. na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima. Os resultados corroboram com os estudos anteriores que evidenciaram a presença de FMAs na Antártica (CHRISTIE & NICOLSON, 1983; SMITH & NEWTON, 1986; CABELLO, 1994; DEMARS & BOERNER, 1995; UPSON, 2008).

Os resultados do presente estudo indicam que a diversidade biológica de micorrizas arbusculares é estruturada por fatores bióticos e abióticos que limitam o estabelecimento e sobrevivência de tais microrganismos.

Em estudo recente realizado por Barbosa et al. (2017 – trabalho aceito para publicação) foi identificada a presença das espécies *Acaulospora mellea* e três espécies do gênero *Glomus* na área próxima à EACF, corroborando com os resultados

encontrados nesse estudo. Assim como em Barbosa et al. (2017 - trabalho aceito para publicação), no presente estudo foram detectados indivíduos da espécie *Acaulospora mellea* (Anexo 1), bem como indivíduos da espécie *Glomus sp3* (Anexo 2).

As espécies do gênero *Glomus* identificadas neste estudo apresentavam sinais de parasitas, impossibilitando a classificação de um dos esporos, já que o mesmo se encontrava em estágio avançado de degradação, apresentando colonização por esporos de outra espécie de fungo, conforme pode ser visto no Anexo 2. Além disso, as amostras apresentavam esporos de endófitos septados escuros (DSE – dark septate endophytes), um fungo amplamente distribuído pelas regiões polares que estabelece simbiose com as espécies vegetais em proporções maiores que micorrizas arbusculares (NEWSHAM, 2009), talvez atuando como um competidor às micorrizas arbusculares. Foi observada também a presença de nematóides e ácaros, corroborando os relatos de Barbosa et al. (2017 – trabalho aceito para publicação).

A ocorrência e densidade de FMAs dependem da planta hospedeira, do fungo e dos fatores edafoclimáticos (STADDON et al., 2003). O presente estudo identificou uma baixa diversidade de esporos de micorrizas arbusculares e colonização micorrízica em raízes de *D. antarctica* Desv. Esse resultado pode ser explicado pelos parâmetros químicos do solo. Segundo Collins & Foster (2009) as micorrizas arbusculares são dependentes dos níveis de nutrientes no solo, especialmente os níveis de P, havendo um favorecimento na ocorrência de FMAs em solos com teores de P menores que 40 mg dm<sup>-3</sup>. Tais microrganismos geralmente são suprimidos pela alta concentração de P presente no solo, que pode inibir ou limitar completamente o estabelecimento da simbiose (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

A concentração de P encontrado solo próximo à EACF (178,57 mg dm<sup>-3</sup>) corrobora com os resultados de Cury et al. (2015), que encontraram em solos próximos à EACF variações de concentrações de P de 179 a 195 mg dm<sup>-3</sup>. O solo da área próxima à Estação Arctowski apresentou uma concentração de P cinco vezes maior (897,83 mg dm<sup>-3</sup>) do que o solo da área próxima à EACF (Tabela 2). Uma possível explicação para a maior concentração de P na área próxima à Estação Arctowisk é a proximidade de uma pinguineira (colônia de pinguins). Nessas áreas os pinguins depositam grandes quantidades de matéria orgânica, que é incorporada à matriz mineral do solo, contribuindo também para o fornecimento de P (PEREIRA et al., 2013) e Mg nos ecossistemas antárticos (BOY et al. 2016). Neste sentido, podemos constatar que, além da maior quantidade de P, a área próxima à Estação Arctowski apresentou também

maior quantidade de matéria orgânica (2,5 vezes mais) em relação à área próxima à EACF (Tabela 2).

Quando o solo possui altos níveis de P a colonização micorrízica é diminuída porque as espécies vegetais adquirem o suprimento de P necessário ao seu desenvolvimento. Nesses casos, as espécies vegetais criam mecanismos para reduzir o desenvolvimento de FMAs nas raízes, buscando reduzir o custo energético com estabelecimento da simbiose (SMITH & READ, 1997). Além disso, os níveis de matéria orgânica no solo podem reduzir a ocorrência de algumas espécies do gênero *Acaulospora* (SAGGIN-JÚNIOR & SIQUEIRA, 1996; BENEDETTI et al., 2005). Os altos níveis de P e constante deposição de matéria orgânica na área próxima à Estação Arctowski podem explicar a ausência de propágulos de FMAs e baixa colonização micorrízica em raízes de *D. antarctica* Desv.

De uma maneira geral, os solos antárticos são ácidos (TOKARSKI, 1987). Os resultados do presente estudo mostram pH de 5,4 na área próxima à EACF e 4,4 na área próxima à Estação Arctowski. O pH pode ajudar a definir a diversidade de espécies de FMAs em solos. Segundo Moreira & Siqueira (2006), algumas espécies de micorrizas arbusculares se propagam apenas em solos de pH acima de 5. No entanto, espécies dos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* suportam grandes variações de pH do solo (SAGGIN-JÚNIOR & SIQUEIRA, 1996), sendo espécies com maior tolerância a perturbações ambientais e, por essa razão, possuindo uma ampla distribuição geográfica (ASSIS et al., 2014). Isso explica o fato de *Acaulospora* e *Glomus* ocorrerem em um ambiente tão limitante à sobrevivência como os solos da Antártica Marítima.

A baixa diversidade de espécies vegetais também impõe limitações às comunidades de FMAs (NEWSHAM et al., 2009). Padrões de diversidade microbiana do solo são frequentemente explicados pela "hipótese da diversidade vegetal", que propõe que a maior diversidade de plantas aumenta a variabilidade microclimática e a complexidade do habitat da rizosfera (HIIESALU et al., 2014). O continente abriga apenas duas espécies de plantas nativas vasculares de angiospermas, uma Caryophyllacea, a *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. e uma Poceae, a *Deschampsia antarctica* Desv. (Gonçalves et al., 2008), influenciando as comunidades de FMAs.

A média de porcentagem de colonização micorrízica em raízes de *D. Antarctica* Desv. para a área próxima à EACF foi de 40% (Figura 2), enquanto que para a área próxima à Estação Arctowski foi de 24% (Figura 3). Barbosa et al. (2017 - trabalho

aceito para publicação) encontraram uma média de colonização micorrízica de 8,8% para a região próxima à EACF, avaliando amostras coletadas em 2015 no mesmo transecto onde foram coletadas as amostras avaliadas no presente trabalho. Christie & Nicolson (1983) não observaram associações micorrízicas em raízes de *D. Antarctica* Desv. na região da Antártica Marítima. Entretanto, Smith & Newton (1986), demonstraram colonização micorrízica de até 25% em raízes de *D. Antarctica* Desv. em áreas subantárticas. Upson et al. (2008) observou uma baixa frequência de estruturas de FMAs, em torno de 10%, em raízes de *D. antarctica* Desv. e *C. quitensis* (Kunth) Bartl. nas Ilhas Shetland do Sul e constatou que há uma redução da colonização micorrízica em raízes de *D. antarctica* Desv. em maiores latitudes. De Mars & Boerner (1995), em seus trabalhos com raízes de *D. antarctica* Desv. na área da Estação Palmer (paralelo 65°S), não observaram colonização nas raízes e não encontraram esporos de FMAs no solo.

Os elevados níveis de P presente no solo associados à baixa diversidade vegetal e condições climáticas extremas são fatores que estruturam as comunidades de FMAs nas áreas avaliadas. O presente trabalho contribui para que se possa conhecer melhor a diversidade de FMAs e os fatores que limitam sua sobrevivência na Antártica Marítima. Estudos com este enfoque são escassos, apesar de terem sido iniciados na década de 1980. Segundo Chown (2015) a maior parte da diversidade terrestre da Antártica se concentra na microbiota.

Dados climáticos apontam que a temperatura na região da Antártica Marítima está aumentando (SCHOFIELD et al., 2010; ZUCHUAN LI et al., 2016). Newsham et al. (2015) acredita que a diversidade de fungos do solo está aumentando à medida que a temperatura aumenta na Antártica Marítima. Além disso, atualmente o continente contém em torno de 200 espécies não nativas introduzidas por ação antrópica (FRENOT et al., 2005; HUGHES & CONVEY, 2012; HUGHES et al., 2015). Portanto, é importante a continuidade dos estudos sobre a ocorrência de micorrizas arbusculares em regiões do Continente Antártico na tentativa de elucidar a diversidade de FMAs, sua função ecológica e contribuição para o desenvolvimento de *Deschampsia antarctica* Desv., buscando identificar se o aumento na temperatura de tais regiões afetará a diversidade de FMAs, bem como a presença de espécies vegetais introduzidas.

## 7. Conclusões

A diversidade de FMAs é limitada pela baixa temperatura, baixa diversidade vegetal e altos níveis de P no solo.

A área próxima à EACF apresentou condições edáficas mais propícias à ocorrência de FMAs no solo rizosférico de *D. antarctica* Desv.

A área próxima à Estação Arctowski apresentou condições edáficas mais limitantes à ocorrência de FMAs no solo rizosférico de *D. antarctica* Desv.

Todas as amostras de raízes apresentaram colonização por micorriza, em porcentagem variável.

## 8. Referencial bibliográfico

- Assis, P. C. R.; Júnior, O. J. S.; Paulino, H. B.; Stürmer, S. L.; Siqueira, J. O.; Carneiro, M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. *Brazilian Journal of Soil Science*, v. 38, p. 1703-1711, 2014.
- Benedetti, T.; Antonioli, Z. I.; Giracca, E. M. N.; Steffen, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. *Rev. Cien. Agrovet.*, v.4, n.1, p.44-51, 2005.
- Boy, J.; Godoy, R.; Shibistova, O.; Boy, D.; McCulloch, R.; de la Fuente, A. A.; Morales, M. A.; Mikutta, R.; Guggenberger, G. Successional patterns along soil development gradients formed by glacier retreat in the Maritime Antarctic, King George Island. *Chilean Journal of Natural History*, v. 89, n. 6, p. 1-17, 2016.
- Brasil. Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Marinha do Brasil. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/secirm/portugues/proantar.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.
- Cabello, M.; Gaspar, L.; Pollero. *Glomus antarcticum* sp. nov., a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus from Antarctica. *Mycotaxon*, v.51, p.123–128, 1994.
- Cabral, L.; Soares, C. R. F. S.; Giachini, A. J.; Siqueira, J. O. Arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of contaminated areas by trace elements: mechanisms and major benefits of their applications. *World J Microbiol Biotechnol*, v.11, p.1-10, 2015.
- Collins, C. D.; Foster, B. L. Community-level consequences of mycorrhizae depend on phosphorus availability. *Ecology*, v.90, n. 9, p. 2567-2576, 2009.
- Chown, S. L.; Clarke, A.; Fraser, C. I.; Cary, S. C.; Moon, K. L.; McGeoch, M. A. 2015. The changing form of Antarctic biodiversity. *Nature*, v. 522, p. 431- 438, 2015.
- Christie, P.; Nicolson, T. H. Are mycorrhizas absent from the Antarctic? *Trans. Br. Mycol. Soc.*, v.80, n.3, p.557-560, 1983.
- Claessen, M. E. C.; Barreto, W. O.; De Paula, J. L.; Duarte, M. N. Manual de métodos de análise de solo. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 2<sup>a</sup>.ed, 212p, 1997.
- Cury, J. C.; Jurelevicius, D. A.; Villela, H. D.M. ; Jesus, H. E.; Peixoto, R. S.; Schaefer, Carlos E.G. R.; Bicego, Marcia C.; Seldin, L.; Rosado, A. S. Microbial diversity and hydrocarbon depletion in low and high diesel-polluted soil samples from Keller Peninsula, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, v. 27, p. 263-273, 2015.
- DeMars, B. G.; Boerner, R. E. J. Mycorrhizal status of *Deschampsia antarctica* in the Palmer Station area, Antarctica. *Mycol*, v.87, p. 451-453, 1995.

Duc, L.; Noll, M.; Meier, B. E.; Bürgmann, H.; Zeyer, J. High diversity of diazotrophs in the forefield of a receding alpine glacier. *Microb.Ecol.*, v.57, p.179-190, 2009.

Finlay, R. D. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*, v. 59, n.5, p. 1115–1126, 2008.

Frenot Y.; Chown, S. L.;Whinam, J.; Selkirk, P. M.; Convey, P.;Skotnicki, M.; Bergstrom, D. M. Biological invasions in the Antarctic: extent, impacts and implications. *Biol. Rev.*, v. 80, p. 45–72, 2005.

Gerdemann, J. W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In the development and function of roots. London Academic Press, p.575-591, 1975.

Gerdemann, J. W.; Nicolson, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Myco.Soc.*, v. 46, n2, p.235-244, 1963.

Giovannetti, N.; Mosse, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol.*, v. 84, p. 489-500, 1980.

Gonçalves, P. N.; Neves, C. P.;Tonin, A.; Pereira, A. B. Morfologiadosgrãos de pólen de angiospermas modernas da Ilha King George, Ilhas Shetland do Sul, Península Antártica. *Goea - J Geosci.*, v.4, p. 24-31, 2008.

Harper C. J, Taylor T. E. M, Krings M, Tayl, E. L. Arbuscular mycorrhizal fungi in a voltzialean conifer from the Triassic of Antarctica. *Rev.Palaeobot.Palynoly*, v. 215, p.76-84, 2015.

Hiiesalu, I.; Partel, M.; Davison, J.; Gerhold, P.; Metsis, M.; Moora, M.; Opik, M.; Vasar, M.; Zobel, M.; Wilson, S. D. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi: associations with grassland plant richness and biomass. *New Phytologist*, v.203, p.233–244, 2014.

Hughes, K. A.; Convey, P. Determining the native/non-native status of newly discovered terrestrial and freshwater species in Antarctica e Current knowledge, methodology and management action. *Journal of Environmental Management*, v. 93, p.52-66, 2012.

Hughes, K. A.; Pertierra, L. R.; Montenegro, M. A. M.; Convey, P. Biological invasions in terrestrial Antarctica: what is the current status and can we respond? *Biodivers. Conserv.*, v.24,p. 1031–1055, 2015.

INVAM – International cultur ecolletion of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Available in: <<http://invam.caf.wvu.edu>>. Acess in: 06/02/2017.

Jeffries, P.; Gianinazzi, S.; Perotto, S.; Turnau, K.; Barea, J. M.The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fertil. Soils*, v. 37, p.1–16, 2003.

Jenkin, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Rep.*, v. 48, p. 683-692, 1964.

Koske R.; Gemma J. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Res.*, v. 92, p. 486-488, 1989.

Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Editora UFLA, Lavras, MG, 2ª edição, 744 p, 2006.

Newsham, K. K.; Hopkins, D. W., Carvalhais, L. C., Fretwell, P. T., Rushton, A. G. O'Donnell, Dennis, P. G. Relationship between soil fungal diversity and temperature in the maritime Antarctic. *Nature climate change*, v. 2806, p. 1-6, 2015.

Newsham, K. K.; Upson, R.; Read, D. J. Mycorrhizas and dark septate root endophytes in polar regions. *Fungal Ecol.*, v.2, p.10-20, 2009.

Nicolson, T. H. Vesicular-arbuscularmycorrhiza – a universal plantsymbiosis. *Science Progress, Oxford*, v.55, p.561-581, 1967.

Oehl, F.; Silva, G. A.; Goto, B. T.; Sieverding, E. Glomeromycota: three new genera and glomoid species reorganized. *Mycotaxon*, v. 116, p. 75-120, 2011.

Parniske M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Rev Microbiol.*, v.6, p. 763-775, 2008.

Pereira, T. T. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Ker, J. C.; Almeida, C. C.; Almeida, I. C. C.; Pereira, A. B. Genesis, mineralogy and ecological significance of ornithogenic soils from a semi-desert polar landscape at Hope Bay, Antarctic Peninsula. *Elsevier*, v. 209, n. 210, p.98-109, 2013.

Phillips, J. M.; Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, v. 55, p. 158-161, 1970.

Redecker D. A.; Schüßler, H. Stockinger, S.; Stürmer J.; Morton C.; W. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). *Mycorrhiza*, p. 515-531, 2013.

Saggin-Junior, O. J.; Siqueira. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: Siqueira, J. O. (ed) *Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas*. Universidade Federal de Lavras, MG, Lavras, p. 203-254, 1996.

Schofield, O.; Ducklow, H. W.; Martinson, D. G.; Meredith, M. P.; Moline, M. A. How do polar marine ecosystems respond to rapid climate change? *Science*, v. 328, p. 1520-1522, 2010.

Schüßler A. Molecular phylogeny, taxonomy, and evolution of *Geosiphon pyriformis* and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil*, v.244, p. 75-83, 2002.

Schüßler A.; Walker C. *The Glomeromycota: a species list with new families*. Electronic copy, 2010. Available in <<http://www.amf-phylogeny.com>>. Access in: 05/ 10/2016.

Schwendemann A. B., Taylor T. N., Taylor E. L., Krings B. M. I., Dotzler B. N. *Combresomyces cornifer* from the Triassic of Antarctica: Evolutionary stasis in the Peronosporomycetes. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, v.154, p.1-5, 2009.

Simões, J. C.; Arigony Neto, J.; Bremer, U. F. O uso de mapas antárticos em publicações. *Pesq. Antart. Brasil*, v. 4, p. 191-197, 2004.

Smith, S. E.; Read, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, p.787, 2008.

Smith, S. E.; Read, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, 506p, 1997.

Smith, V. R.; Newton, I. P. Vesicular-arbuscular mycorrhizas at a sub-antarctic island. *Soil. Biol. Biochem.*, v.18, n.5, p.547-549, 1986.

Staddon, P. L.; Thompson, K.; Jakobsen, I.; Grime, J. P.; Askew, A. P.; Fitter, A. H. Mycorrhizal fungi abundance as affected by long-term climatic manipulations in the field. *Global Change Biology*, v. 9, n. 2, p. 186-194, 2003.

Tinker, P. B. H. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on higher plants. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, v.29, p. 325-349, 1975.

Tokarski, A. K. Report on geological investigations on King George Islands, South Shetland Islands in 1986. *Studia Geologica Polonica*, v. 93: p.123-130, 1987.

Tortora, G. J.; Funke, B.; Case, C. L. *Microbiologia*. Artmed editora, Porto Alegre, RS, 6ª edição, 827 p, 2000.

Upton, R.; Newsham, K. K.; Read, D. J. Root-fungal associations of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica* in the maritime and subAntarctic. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, v.40, p.592–599, 2008.

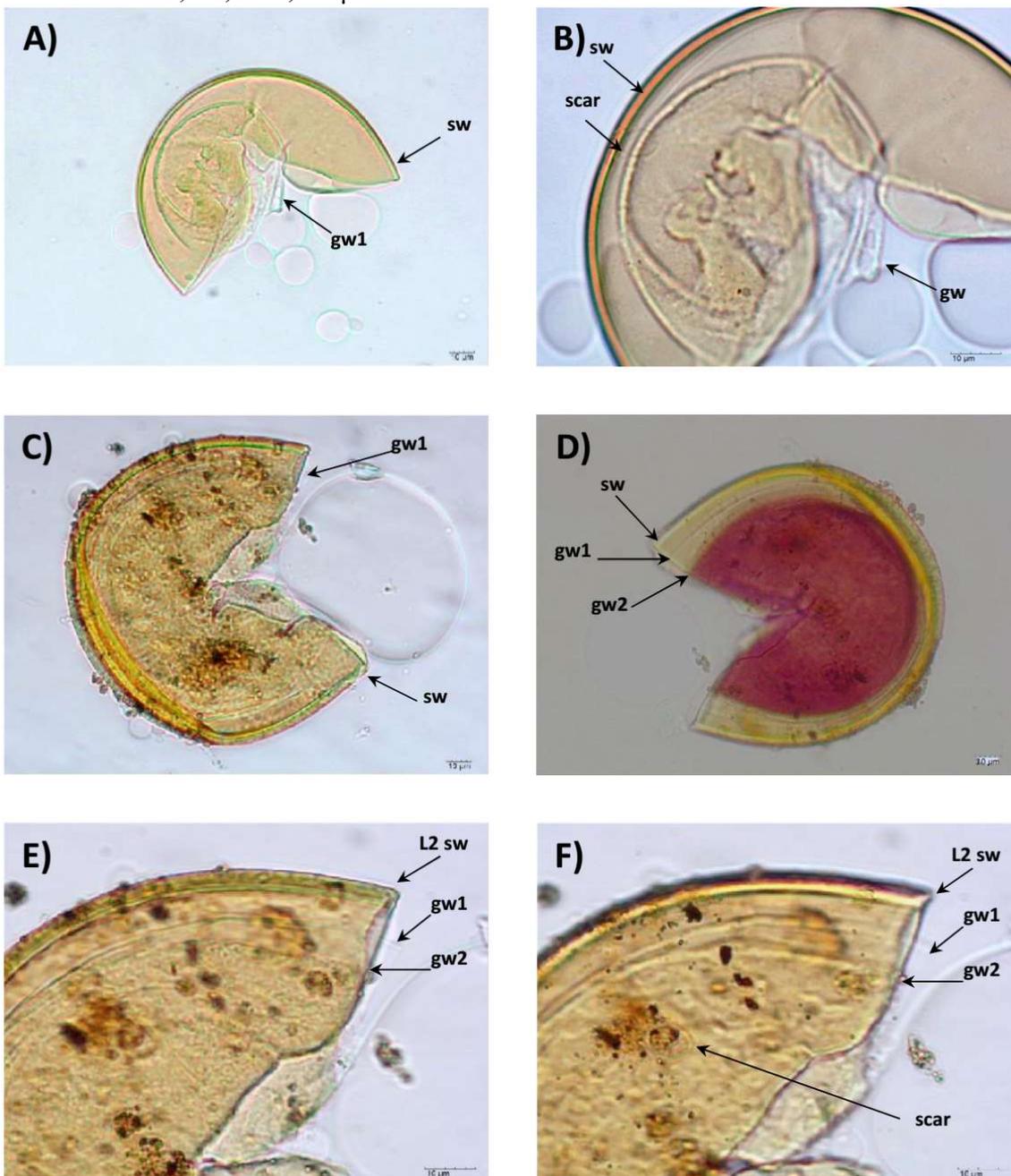
Wilson, G. W. T.; Rice, C. W.; Rillig, M. C.; Springer, A.; Hartnett, D. C. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. *Ecology Letters*, v.12, p. 452–461, 2009.

Xiong, F. S.; Ruhland, C. T.; Day, T. A. Photosynthetic temperature response of the Antarctic vascular plants *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia Antarctica*. *PHYSIOLOGIA PLANTARUM*, v.106, p.276 – 286, 1999.

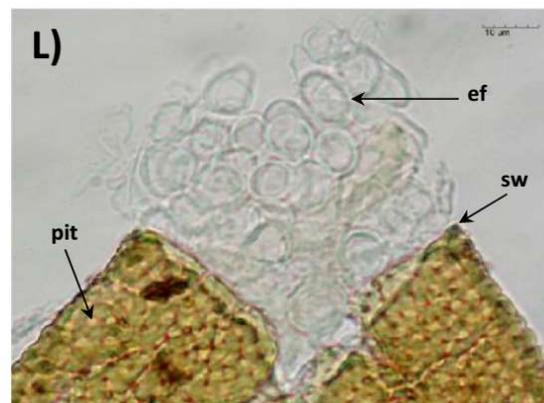
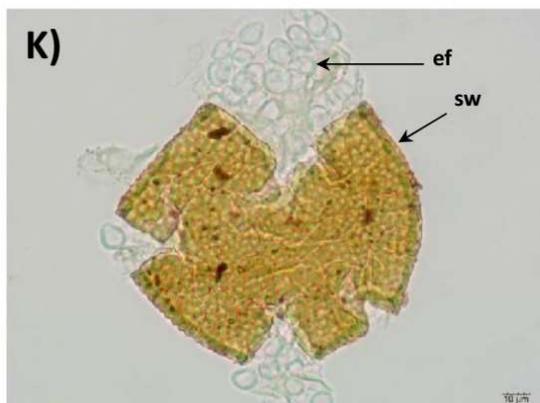
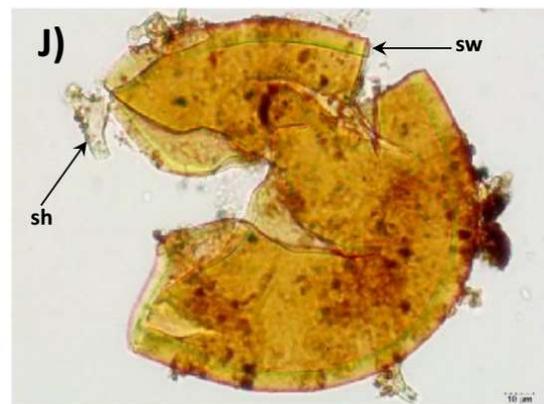
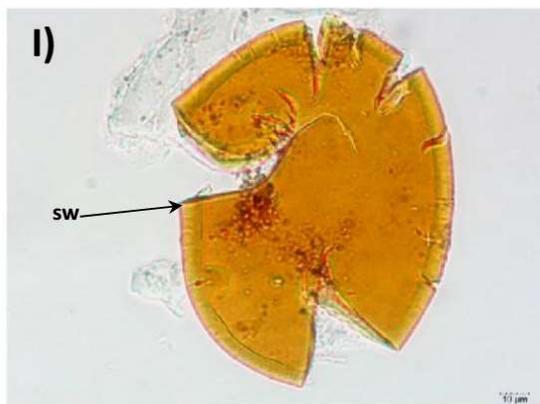
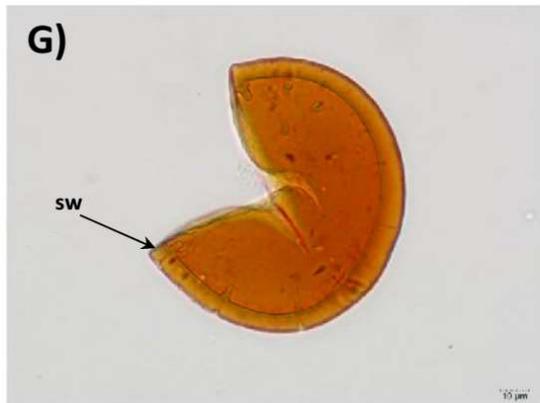
Zuchuan Li, Z.; Cassar, N.; Huang, K.; Ducklow, H.; Schofield, O. Interannual variability in net community production at the Western Antarctic Peninsula region (1997–2014). *Journal of geophysical research: oceans*, v. 121, p. 4748-4762, 2016.

## Anexos

**Anexo 1.** Esporos de espécies de fungos micorrízicos do gênero *Acaulospora* identificadas na área próxima à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Esporos e estruturas subcelulares de *Acaulospora* cf. *mellea*: parede do esporo (sw) amarela, com espessura entre 2 a 4,7  $\mu\text{m}$ ; duas paredes germinativas - parede germinativa 1 (gw1) com 0,6  $\mu\text{m}$  de espessura e parede germinativa 2 (gw2) apresentando reação dextrinóide de coloração púrpura com o reagente de Melzer; Cicatrizes (scar) com dimensões de 5,2-7,6 e 6,7-9  $\mu\text{m}$ .



**Anexo 2.** Esporos de espécies de fungos micorrízicos do gênero *Glomus* identificadas na área próxima à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Esporos e estruturas subcelulares de *Glomus sp.1* (G-J) e esporo de fungo micorrízico arbuscular degradado (K-L). *Glomus sp. 1* apresenta modo de formação glomóide, hifa suspensora (sh) e parede do esporo (sw) marrom alaranjada, com espessura entre 5,6 e 8,3  $\mu\text{m}$ . Esporo de fungo micorrízico arbuscular degradado com possíveis esporos de outra espécie de fungo (ef) em seu interior. Apresenta parede do esporo (sw) com ornamentação de pits (pit) na superfície.



**Anexo 3.** Colonização micorrízica em raízes de *Deschampsia antarctica* Desv.

