

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 02/11/2018.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**DIVERSIDADE DE FUNGOS DE SOLOS ANTÁRTICOS E PROSPECÇÃO DE
ENZIMAS LIGNINOLÍTICAS**

LIA COSTA PINTO WENTZEL

Orientadora: Profa. Dra. Lara Durães Sette

Co-orientador: Prof. Dr. André Rodrigues

Rio Claro – SP

2017

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**DIVERSIDADE DE FUNGOS DE SOLOS ANTÁRTICOS E PROSPECÇÃO
DE ENZIMAS LIGNINOLÍTICAS**

LIA COSTA PINTO WENTZEL

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada)

Orientadora: Profa. Dra. Lara Durães Sette

Co-orientador: Prof. Dr. André Rodrigues

Rio Claro – SP

2017

589.2 Wentzel, Lia Costa Pinto
W481d Diversidade de fungos de solos antárticos e prospecção de
 enzimas ligninolíticas / Lia Costa Pinto Wentzel - Rio Claro,
 2017
 138 f. : il., figs., tabs., quadros

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
 Instituto de Biociências de Rio Claro
 Orientador: Lara Durães Sette
 Coorientador: André Rodrigues

 1. Fungos. 2. Microbiologia polar. 3. Antártica. 4. Fungos
 adaptados ao frio. 5. Lacase. I. Título.

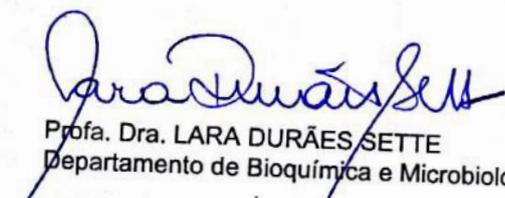
Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

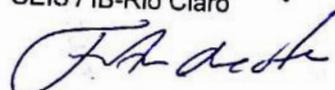
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Diversidade de fungos de solos antárticos e prospecção de enzimas ligninolíticas

AUTORA: LIA COSTA PINTO WENTZEL
ORIENTADORA: LARA DURÃES SETTE
COORIENTADOR: ANDRE RODRIGUES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (MICROBIOLOGIA APLICADA), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. LARA DURÃES SETTE
Departamento de Bioquímica e Microbiologia / IB Rio Claro


Prof. Dr. FERNANDO CARLOS PAGNOCCA
CEIS / IB-Rio Claro


Prof. Dr. FERNANDO DINI ANDREOTE
Departamento de Ciência do Solo / ESALQ

Rio Claro, 02 de maio de 2017

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Dra. Lara Sette, por me acolher em Rio Claro, por todos os ensinamentos, confiança e entendimento, e por sua amizade! Muito obrigada por ter me possibilitado conhecer e contribuir com o conhecimento da biodiversidade deste lugar fascinante chamado Antártica.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. André Rodrigues, por todos os ensinamentos e proveitosas discussões.

Aos amigos do LAMAI, Davi, Fábio, Gabi, Igor, Ju, Lídia, Marina, Pedro e Vivi, por todo o companheirismo, e por tornarem a árdua rotina laboratorial mais leve e divertida.

Aos amigos do LAMAB, em Goiânia, em especial Ariana, Bruno, Marcus e Renan, pelo incentivo desde o final da graduação para entrar no mestrado e pela amizade, mesmo à distância.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fapesp e ao CNPq pelo financiamento dos projetos aos quais meu trabalho está vinculado.

Ao Programa Antártico Brasileiro, por viabilizar o presente projeto, oferecendo toda a logística, através da Aeronáutica e Marinha brasileiras, para o acesso à Antártica.

À Lídia, pela amizade e pelo acolhimento em sua casa no início do mestrado.

Aos amigos do LESF, Irina, Lorena e Quimi, pelas conversas e risadas.

Ao amigo Fábio, por toda a ajuda nas análises de solo e pelo companheirismo desde o início do mestrado.

Ao amigo Quimi, por seu contagiante entusiasmo com os fungos, e pelos valiosos ensinamentos sobre filogenia.

À minha amiga querida Juliana Santos, por todas as aventuras antárticas compartilhadas, por toda a ajuda nos momentos difíceis e por todos os cafezinhos juntas.

Às aminhas amigas Isis, Mariel e Ana Cláudia, por sempre me apoiarem, mesmo distantes.

Ao meu amado namorado Marcos, por todo o apoio, companheirismo, paciência e amor.

À minha família, especialmente aos meus pais Nelson e Lígia e à minha irmã Sarah, por todo o amor, por sempre acreditarem em mim, e por todo o apoio, dedicação e compreensão.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O estudo de ambientes extremos, como o antártico, pode resultar na descoberta de novos micro-organismos e novos produtos naturais de origem microbiana, visto que ainda pouco se sabe sobre a diversidade e os recursos genéticos presentes nesses locais. Estudos anteriores de prospecção microbiana antártica têm demonstrado que estes organismos representam um nicho potencial de descoberta de novas enzimas, as quais podem apresentar propriedades de interesse em diversos setores de importância sócio-econômica. Nesse contexto, este projeto teve como objetivos avaliar as comunidades de fungos presentes em diferentes amostras de solos antárticos e solos associados às raízes de *Colobanthus quitensis* e *Deschampsia antarctica*, as duas únicas plantas vasculares que ocorrem na Antártica marítima, bem como selecionar novos recursos genéticos produtores de enzimas ligninolíticas. Foram obtidos das seis amostras estudadas, 891 isolados de fungos nas duas temperaturas de incubação utilizadas (5°C e 15 °C), sendo 141 provenientes de solos e 750 provenientes de solos associados às raízes das duas plantas. Do total, 399 foram leveduras e 492 foram fungos filamentosos. O maior número de isolados foi obtido a partir de uma amostra de solo associado à raiz de *C. quitensis*. Do total de micro-organismos, 35 apresentaram potencial para a produção de lacase, e 3 apresentaram atividade enzimática $\geq 1 \text{ U L}^{-1}$ para a enzima lignina peroxidase. Os resultados revelaram a presença de 39 diferentes taxa, com representantes dos filos Ascomycota, Basidiomycota e "Zygomycota", sendo os gêneros mais frequentes *Pseudogymnoascus* e *Leucosporidium*. As amostras de solo associado às raízes das duas plantas apresentaram alta riqueza de espécies e alta diversidade em comparação com as amostras de solo, e a diversidade beta da região estudada foi alta, dado que diferentes locais apresentaram um menor compartilhamento de espécies. A composição das comunidades microbianas foi fortemente influenciada por seus locais de coleta. Fatores como a textura do solo e teor de carbono parecem ter influência na composição das comunidades. A temperatura foi um fator significativo na composição das comunidades microbianas, com um maior número de isolados e de diferentes taxa obtidos a 15 °C e a presença de cobertura vegetal no solo pareceu influenciar na diversidade observada. O presente projeto permitiu a ampliação do conhecimento da diversidade de fungos que habitam o ecossistema antártico, bem como possibilitou a obtenção de fungos provavelmente desconhecidos pela ciência (novas espécies e/ou gêneros), além de ter propiciado o isolamento de fungos produtores de enzimas ligninolíticas a baixas temperaturas.

ABSTRACT

The study of extreme environments, such as the Antarctic, is a potential source for the discovery of new microorganisms and new natural products, since little is known yet about the diversity and the genetic resources present in these sites. Previous studies related to microbial prospecting of antarctic fungi have been showing that these organisms represent a potential niche for the discovery of new enzymes, which can present properties of interest in several important social-economic sectors. In this context, the aim of this work was to evaluate the fungi communities from different soil and root-associated soil samples of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica*, the only two species of vascular plants to occur in the maritime Antarctica, as well as to select new genetic resources capable of producing ligninolytic enzymes. From the six samples studied, it was obtained 891 isolates on both employed isolation temperatures (5°C and 15 °C), where 141 came from soil and 750 came from root-associated soil. Three hundred and ninety-nine of the total were yeasts and 492 were filamentous fungi. The highest number of isolates obtained was from a root-associated soil sample of *C. quitensis*. From all isolates, 35 showed laccase production potential, and 3 presented enzymatic activity $\geq 1 \text{ U L}^{-1}$ for the enzyme lignin peroxidase. It was obtained 39 different taxa with representatives of the phyla Ascomycota, Basidiomycota and "Zygomycota", where the most frequent genera were *Pseudogymnoascus* and *Leucosporidium*. The root-associated soil samples showed high species richness and diversity in comparison to the soil samples, and the beta diversity of the studied region was high, given that different sites showed less species sharing. The microbial communities' composition was strongly influenced by their sampling locations, and factors like soil texture and carbon content seemed to influence this composition. Temperature was significant regarding microbial communities' composition, with a high number of isolates and different taxa obtained at 15 °C, and the presence of vegetation cover in soil seemed to influence on the observed diversity. The present study allowed to broaden the knowledge on the diversity of fungi that inhabit the antarctic ecosystem, made possible the acquisition of fungi probably unknown by science (new species and/or new genera), as well as made possible the isolation of ligninolytic enzymes producing fungi at low temperatures.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos de coleta das amostras de solo e solo associado às raízes de <i>C. quitensis</i> e <i>D. antarctica</i> durante a fase IV da OPERANTAR XXXIII.....	33
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos dos 6 solos estudados (valores em mg L ⁻¹) (CDB Al e Fe: quantidades de Al e Fe extraídas pelo método CDB; Ox. Al e Fe: quantidades de Al e Fe extraídas pelo método do oxalato de amônia; Piro Al e Fe: quantidades de Al e Fe extraídas pelo método do pirofosfato; TC: teor de carbono total).	45
Tabela 3 - Parâmetros químicos (quantidade de metais) dos 6 solos estudados (valores em mg L ⁻¹).	45
Tabela 4 - Textura e classificação dos 6 solos analisados.....	45
Tabela 5 - Identificação dos taxa e sua distribuição nas amostras	48
Tabela 6 - Índices de diversidade alfa e riqueza (S) observada para os diferentes solos estudados	53
Tabela 7 - Índice de diversidade beta (Bray-Curtis) observado para os diferentes solos estudados	54
Tabela 8. - Isolados com potencial para produção de lacase verificado através do teste de placa com guaiacol. Temperatura de isolamento a 15 °C, exceto os marcados com * (5 °C).....	55
Tabela 9 - Média das duplicatas de cada isolado das atividades enzimáticas para lignina peroxidase e lacase (após 7 dias de cultivo a 15°C e 150 rpm)	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e limites da região antártica (FPA, Frente Polar Antártica). ..	19
Figura 2 - Ilhas Shetland do Sul, com ilha Rei George à direita.	20
Figura 3 - Ilha Rei George, com Área Antártica Especialmente Gerenciada em destaque.....	21
Figura 4 - Plantas vasculares da Antártica: <i>Deschampsia antarctica</i> (A) e <i>Colobanthus quitensis</i> (B).	23
Figura 5 - Estrutura de uma molécula de lignina e suas moléculas precursoras (álcoois p-cumarílico, coniferílico e sinapílico.....	26
Figura 6 - Atividade dependente da temperatura. Atividade de enzimas psicrófilicas (pontos vazios e linhas azuis) e mesófilicas (pontos cheios) verificada em diferentes temperaturas ilustra uma das principais propriedades das enzimas adaptadas a baixas temperaturas: a alta atividade específica a baixas temperaturas.	28
Figura 7 - Locais de coleta das amostras durante a fase IV da OPERANTAR XXXIII (verão 2015). Os pontos 1, 2 e 3 representam os locais de coleta. 1-Punta Plaza, 2-Yellow Point e 3-Punta Hennequin.....	34
Figura 8 - Exemplos de alguns dos diferentes perfis genéticos obtidos.....	46
Figura 9 - Análise de correspondência entre a abundância de espécies em relação aos locais de coleta. Os pontos azuis representam os taxa isolados e os quadrados coloridos representam as seis amostras de solos e solos associados às raízes de <i>C. quitensis</i> e <i>D. antarctica</i>	50
Figura 10 - Relação entre composição taxonômica das amostras e parâmetros físico-químicos dos solos analisados por escalonamento multidimensional não-métrico. Note o valor de <i>stress</i> no canto inferior direito do gráfico	51
Figura 11 - Inferência da similaridade entre as amostras estudadas	53
Figura 12 - Isolados com potencial atividade de lacase (presença de coloração marrom escura sob e ao redor do micélio).....	55

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Número de isolados (N) por meio de cultura, temperatura, diluição e indutor para a produção de enzimas ligninolíticas. L (levedura), F (fungo filamentoso), T (temperatura), Dil (diluição), BC (bagaço de cana), PA (palha de arroz).	80
Apêndice B - Número de isolados (N) por meio de cultura, temperatura, diluição e indutor para a produção de enzimas ligninolíticas. L (levedura), F (fungo filamentoso), T (temperatura), Dil (diluição), BC (bagaço de cana), PA (palha de arroz).	81
Apêndice C - Número de isolados (N) por meio de cultura, temperatura, diluição e indutor para a produção de enzimas ligninolíticas. L (levedura), F (fungo filamentoso), T (temperatura), Dil (diluição), BC (bagaço de cana), PA (palha de arroz).	82
Apêndice D - Número de isolados (N) por meio de cultura, temperatura, diluição e indutor para a produção de enzimas ligninolíticas. L (levedura), F (fungo filamentoso), T (temperatura), Dil (diluição), BC (bagaço de cana), PA (palha de arroz).	83
Apêndice E - Número de isolados (N) por meio de cultura, temperatura, diluição e indutor para a produção de enzimas ligninolíticas. L (levedura), F (fungo filamentoso), T (temperatura), Dil (diluição), BC (bagaço de cana), PA (palha de arroz).	84
Apêndice F - Número de isolados (N) por meio de cultura, temperatura, diluição e indutor para a produção de enzimas ligninolíticas. L (levedura), F (fungo filamentoso), T (temperatura), Dil (diluição), BC (bagaço de cana), PA (palha de arroz).	85
Apêndice G – Exemplos de alguns dos morfotipos obtidos de MA2% a 15 °C.	86
Apêndice H - Morfotipos de MA2% a 15 °C, seus locais de origem, meios de isolamento e identificação molecular.....	87
Apêndice I - Morfotipos de PDA a 15 °C, seus locais de origem, meios de isolamento e identificação molecular	94
Apêndice J - Morfotipos de MA2% a 5 °C, seus locais de origem, meios de isolamento e identificação molecular.....	96

Apêndice K - Morfotipos de PDA a 5 °C, seus locais de origem, meios de isolamento e identificação molecular.....	100
Apêndice L - Perfis genéticos das leveduras estudadas, seus locais de origem e sua identificação molecular.....	101
Apêndice M - Identificação molecular dos micro-organismos isolados no trabalho e sua similaridade com sequências depositadas no banco de dados (GenBank).....	111
Apêndice N - Árvore filogenética inferida para o fungo ANI1, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (68 - Código de extração de DNA do fungo ANI1).....	116
Apêndice O - Árvore filogenética inferida para os fungos ANI2 e ANI3, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (65 e 54 - Códigos de extração de DNA do fungo ANI2; M30P – Código de extração do DNA do fungo ANI3).....	117
Apêndice P - Árvore filogenética inferida para o fungo ANI4, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M6M, M5M, 50 - Códigos de extração de DNA do fungo ANI4).....	118
Apêndice Q - Árvore filogenética inferida para o fungo ANI5, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M10M, M29M - Códigos de extração de DNA do fungo ANI5).....	119
Apêndice R - Árvore filogenética inferida para a levedura ANI6, baseada em suas sequências da região D1/D2, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (410 - Código de extração de DNA da levedura ANI6).....	120
Apêndice S - Árvore filogenética inferida para os fungos <i>Antarctomyces</i> sp. e <i>Thelebolus</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M2M, M16P, M1M, 35 - Códigos de extração de DNA do fungo <i>Antarctomyces</i> sp.; M44M – Código de extração de DNA do fungo <i>Thelebolus</i> sp.).....	121

Apêndice T - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Cadophora luteo-olivacea</i> , baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M61M - Código de extração de DNA do fungo <i>Cadophora luteo-olivacea</i>).	122
Apêndice U - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Cladosporium</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M14M, M15M, 93 - Códigos de extração de DNA do fungo <i>Cladosporium</i> sp.).	123
Apêndice V - Árvore filogenética inferida para os fungos <i>Cosmospora</i> sp.1, sp.2 e sp.3, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M9M, 23, 21, 19, 20 - Códigos de extração de DNA do fungo <i>Cosmospora</i> sp.1; 66 - Código de extração de DNA do fungo <i>Cosmospora</i> sp.2; 22 - Código de extração de DNA do fungo <i>Cosmospora</i> sp.3).	124
Apêndice W - Árvore filogenética inferida para os fungos <i>Fusarium avenaceum</i> species complex e <i>Fusarium oxysporum</i> species complex, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (12, 52, 9, 84, 53, 25, 18, 17, 15, 14, M2P, M25P, M17P, M59M - Códigos de extração de DNA do fungo <i>Fusarium avenaceum</i> species complex; 33 – Código de extração de DNA do fungo <i>Fusarium oxysporum</i> species complex).	125
Apêndice X - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Laetinaevia carneoflavida</i> , baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (89 – Código de extração de DNA do fungo <i>Laetinaevia carneoflavida</i>).	126
Apêndice Y - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Leptosphaeria</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M15P – Código de extração de DNA do fungo <i>Leptosphaeria</i> sp.).	127
Apêndice Z - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Microdochium lycopodium</i> , baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (51, 45, 44, M46M, M1P – Códigos de extração de DNA do fungo <i>Microdochium lycopodium</i>).	128

Apêndice AA - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Oidiodendron</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (96, M60M – Códigos de extração de DNA do fungo <i>Oidiodendron</i> sp.).....	129
Apêndice AB - Árvore filogenética inferida para o <i>Pochonia</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (79 – Código de extração de DNA do fungo <i>Pochonia</i> sp.).....	130
Apêndice AC - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Pseudogymnoascus</i> sp.1, sp.2, sp.3, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M7P – Código de extração de DNA do fungo <i>Pseudogymnoascus</i> sp.1; M21M – Código de extração de DNA do fungo <i>Pseudogymnoascus</i> sp.2; 11, 36, M31P, M41M, M11M, M45M – Códigos de extração de DNA do fungo <i>Pseudogymnoascus</i> sp.3).....	131
Apêndice AD - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Purpureocillium lilacinum</i> , baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (80, 34 – Códigos de extração de DNA do fungo <i>Purpureocillium lilacinum</i>).	132
Apêndice AE - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Trichoderma</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (M14 – Código de extração de DNA do fungo <i>Trichoderma</i> sp.).....	133
Apêndice AF - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Varicosporium</i> sp., baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (91, 55, M49M, M52M, M65M – Códigos de extração de DNA do fungo <i>Varicosporium</i> sp.).....	134
Apêndice AG - Árvore filogenética inferida para o fungo <i>Mortierella</i> sp.1 e sp.2, baseada em suas sequências da região ITS, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (72, 8, 71, 4, 7, 6, M13M, M8P – Códigos de extração de DNA do fungo <i>Mortierella</i> sp.1; 32 – Código de extração de DNA do fungo <i>Mortierella</i> sp.2).	135
Apêndice AH - Árvore filogenética inferida para as leveduras <i>Naganishia</i> sp., <i>Goffeauzyma gastrica</i> e <i>G. gilvescens</i> , baseada em suas sequências da região	

D1/D2, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (12, 39, 148, 138, 101 –Códigos de extração de DNA da levedura <i>Naganishia</i> sp.; 325, 308 – Códigos de extração de DNA da levedura <i>G. gastrica</i> ; 4, 401, 251, 94, 7, 61, 327 – Códigos de extração de DNA da levedura <i>G. gilvescens</i>).....	136
Apêndice AI - Árvore filogenética inferida para as leveduras <i>Leucosporidium</i> sp., <i>Leucosporidium fragarium</i> e <i>Cystobasidium laryngis</i> , baseada em suas sequências da região D1/D2, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (346, 366, 350, 277, 315, 265, 303, 328, 306 –Códigos de extração de DNA da levedura <i>Leucosporidium</i> sp.; 150, 51, 17 – Códigos de extração de DNA da levedura <i>L. fragarium</i> ; 137, 13, 157, 199, 22, 71, 14 – Códigos de extração de DNA da levedura <i>C. laryngis</i>).	137
Apêndice AJ - Árvore filogenética inferida para a levedura <i>Mrakia</i> sp., baseada em suas sequências da região D1/D2, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (279, 382, 387, 409, 6 - Códigos de extração de DNA da levedura <i>Mrakia</i> sp.).....	138
Apêndice AK - Árvore filogenética inferida para as leveduras <i>Holtermanniella wattica</i> , <i>H. festucosa</i> e <i>Vishniacozyma victoriae</i> , baseada em suas sequências da região D1/D2, utilizando o método de Neighbour Joining, o modelo de substituição Kimura – 2 parâmetros e 1000 replicatas. (331, 363, 36, 311, 257, 239, 198, 162, 107, 222, 195, 235 - Códigos de extração de DNA da levedura <i>H. wattica</i> ; 362, 5 – Códigos de extração de DNA da levedura <i>H. festucosa</i> ; 336, 37 – Códigos de extração de DNA da levedura <i>V. victoriae</i>).....	139

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 A região antártica	18
2.2 Fungos de ambiente antártico	21
2.3 Aplicação biotecnológica de micro-organismos da Antártica	25
2.4 Ligninases	25
2.5 Enzimas adaptadas ao frio	27
2.6 O solo como ambiente para a vida microbiana	29
3 OBJETIVOS.....	32
3.1 Objetivos específicos	32
3.1.1 Avaliação da diversidade de fungos filamentosos e leveduras.....	32
3.1.2 Obtenção de micro-organismos com potencial biotecnológico.....	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 Avaliação da diversidade de fungos filamentosos e leveduras	33
4.1.1 Isolamento de micro-organismos de solos antárticos	33
4.1.2 Caracterização físico-química das amostras de solos.....	35
4.1.3 Extração de DNA.....	37
4.1.4 Fingerprinting genético – microssatélite (MSP-PCR).....	38
4.1.5 Sequenciamento de marcadores taxonômicos do DNA ribossomal	39
4.1.6 Correlação da composição taxonômica com a caracterização físico-química das amostras de solos.....	40
4.1.7 Análise da diversidade alfa e beta das amostras.....	40
4.2 Obtenção de micro-organismos com potencial biotecnológico	41
4.2.1 Triagem qualitativa de fungos produtores de ligninases	41
4.2.2 Triagem quantitativa de fungos produtores de ligninases.....	41
5 RESULTADOS	44
5.1 Avaliação da diversidade de fungos filamentosos e leveduras	44
5.1.1 Isolamento de micro-organismos de solos antárticos	44
5.1.2 Caracterização físico-química das amostras de solos.....	44
5.1.3 Sequenciamento de DNA ribossomal	46

5.1.4	Correlação da composição taxonômica com a caracterização físico-química das amostras de solos	50
5.1.5	Análise da diversidade alfa e beta das amostras.....	53
5.2	Obtenção de micro-organismos com potencial biotecnológico	54
5.2.1	Triagem qualitativa de fungos produtores de ligninases	54
5.2.2	Triagem quantitativa de fungos produtores de ligninases.....	55
6	DISCUSSÃO.....	57
6.1	Isolamento de micro-organismos de solos antárticos.....	57
6.2	Fungos filamentosos e leveduras em solos da Antártica	58
6.3	Obtenção de micro-organismos com potencial biotecnológico.....	66
7	CONCLUSÕES.....	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
	APÊNDICES	80

1 INTRODUÇÃO

A Antártica é o mais inalterado e o mais extremo dos continentes, e como tal, abriga uma biodiversidade adaptada e diversificada. Os micro-organismos geralmente compreendem a maioria da biomassa e da biodiversidade em ecossistemas antárticos aquáticos e terrestres, particularmente em condições climáticas mais extremas, sob as quais organismos superiores não conseguem sobreviver (COWAN et al., 2010).

Nos últimos anos tem crescido o interesse por fungos do ambiente antártico, principalmente por pouco se conhecer sobre sua diversidade, o que torna possível a busca por novas espécies, e pelo potencial biotecnológico que os mesmos apresentam. Os fungos que habitam o ecossistema antártico representam um reservatório potencial de descoberta de novas enzimas, justamente por apresentarem adaptações fisiológicas ao ambiente extremo em que vivem, as quais podem apresentar propriedades de interesse em diversos setores de importância sócio-econômica.

A península Antártica é uma das regiões que registra o maior aumento de temperatura na terra, em consequência do aquecimento global, com um aumento de 0,56°C por década desde 1950 (ROYLES et al., 2013). Esse aumento de temperatura pode provocar perturbações nos ecossistemas antárticos, podendo levar à perda de micro-organismos endêmicos e à mudanças na biodiversidade. Dessa maneira, faz-se necessário conhecer tanto quanto possível a diversidade de micro-organismos nesse ambiente, para prever o impacto das mudanças climáticas globais.

O presente projeto está associado aos projetos Fapesp 2013/19486-0 coordenado pela Profa. Dra. Lara Sette (UNESP/Rio Claro) e PROANTAR CNPq 407816/2013-5 coordenado pela Prof. Vivian Pellizari (IO/USP) e objetivou a avaliação da diversidade de fungos filamentosos e leveduras presentes nos diferentes solos estudados, bem como a seleção de novos recursos microbianos antárticos produtores de ligninases.

Cabe destacar que a presente proposta de projeto se encaixa no Programa 2 “Biocomplexidade dos ecossistemas Antárticos, suas conexões com a América do Sul e as mudanças climáticas” proposto no documento “Ciência Antártica para o

Brasil - plano de ação 2013-2022” elaborado pelo Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CONAPA) do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). O plano de ação traz como missão “Desenvolver programa de pesquisa em excelência sobre a região antártica e suas conexões com o oceano Atlântico e a América do Sul, contribuindo para assegurar a permanência do Brasil como membro consultivo do tratado da Antártica”. Para tanto, cinco programas de pesquisa foram propostos visando investigar questões científicas de relevância regional e/ou global e que interagem entre si. O atendimento aos objetivos desses programas poderá levar ao aprimoramento da qualidade da produção intelectual relacionada aos estudos brasileiros da Antártica, adquirindo no processo um maior protagonismo nos fóruns antárticos internacionais, em especial no SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research).

7 CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para o isolamento dos fungos de solos antárticos foi satisfatória, sendo possível recuperar um alto número de isolados das amostras estudadas. A temperatura de isolamento na qual foi possível recuperar o maior número de isolados foi a de 15°C, e o maior número de isolados obtidos foi de fungos filamentosos. O isolamento seletivo resultou na obtenção de 35 isolados com potencial para a produção de lacase. Dentre esses, 3 isolados apresentaram atividade enzimática para a enzima LiP, com valores iguais e/ou maiores que 1 U.L¹.

Os 667 isolados estudados foram separados em 39 diferentes taxa, e os gêneros mais frequentes foram *Pseudogymnoascus* e *Leucosporidium*. As amostras de solo associado às raízes das duas plantas apresentaram alta riqueza de espécies e alta diversidade em comparação com as amostras de solo. A diversidade beta da região foi considerável, dado que diferentes locais apresentaram um menor compartilhamento de espécies.

As análises multivariadas mostraram um claro padrão de agrupamento da composição taxonômica das comunidades dos solos com relação aos seus locais de coleta, sendo a textura dos solos e seus teores de carbono possíveis fatores chave na determinação dessas comunidades. Outro fator que pareceu ser determinante para a diversidade fúngica nos solos amostrados foi o fator rizosfera. Surpreendentemente, não houve diferença significativa entre as comunidades microbianas em relação ao tipo de planta, indicando que parecem ser as condições locais e o tipo de solo que influenciam na composição da comunidade. Houve diferença significativa das comunidades de micro-organismos em relação à sua temperatura de isolamento, no entanto, este fator não apresentou uma grande relevância para explicar a diferença observada.

No presente trabalho foram isoladas possíveis novas espécies e novos gêneros de fungos, que poderão ser descritos em estudos futuros, aumentando o conhecimento sobre a diversidade de fungos antárticos, além de permitir a exploração de novos compostos de interesse que estes fungos podem produzir.

Visto que o ambiente antártico é uma rica fonte de recursos genéticos, a coleção de fungos obtida no presente trabalho poderá ser utilizada em estudos futuros para a obtenção de compostos com possível aplicação biotecnológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. M. G. C. F. Yeast community survey in the Tagus estuary. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 53, n. 2, p. 295-303, 2005.
- ANDREW, D. R.; FITAK, R. R.; MUNGUÍA-VEGA, A.; RACOLTA, A.; MARTINSON, V. G.; DONTSOVA, K. Abiotic factors shape microbial diversity in Sonoran Desert soils. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 78, n. 21, p. 7527-7537, 2012.
- ANTARCTIC TREATY SECRETARIAT. **Parties**, 2011. Disponível em <www.ats.aq/devAS/ats_parties.aspx?lang=e>. Acesso em: 28 de março de 2017.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. Micorrizas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 441-455, 1991.
- ARENZ, B.E., HELD, B.H., JURGENS, J.A., FARRELL, R.L., BLANCHETTE, R.A. Fungal diversity in soils and historic wood from the Ross Sea Region of Antarctica. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 10, p. 3057–3064, 2006.
- ARENZ, B. E.; BLANCHETTE, R. A. Distribution and abundance of soil fungi in Antarctica at sites on the Peninsula, Ross Sea Region and McMurdo Dry Valleys. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 43, p. 308-315, 2011.
- ARORA, D. S.; GILL, P. K. Comparison of two assay procedures for lignin peroxidase. **Enzyme and Microbial Technology**, Nova Iorque, v. 28, n. 7-8, p. 602-605 2001.
- BANDONI, R. J. Terrestrial occurrence of some aquatic hyphomycetes. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 50, n. 11, p. 2283-2288, 1972.
- BARAL, H. O.; RĂMĂ, T. Morphological update on *Calycina marina* (Pezizellaceae, Helotiales, Letiomyces), a new combination for *Laetinaevia marina*. **Botanica Marina**, Hamburgo, v. 58, n. 6, p. 523-534, 2015.
- BARATO, M. B. **Fungos derivados da Antártica: biodiversidade e produção de enzimas lignocelulósicas a baixas e médias temperaturas**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2014.
- BARRIENTOS-DÍAZ, L.; GIDEKEL, M.; GUTIÉRREZ-MORAGA, A. Characterization of rhizospheric bacteria isolated from *Deschampsia antarctica* Desv. **World Journal of Microbial Biotechnology**, Kanpur, v. 24, p. 2289-2296, 2008.
- BAUBLIS, J. A.; WHARTON JR., R. A.; VOLZ, P- A. Diversity of micro-fungi in an Antarctic dry valley. **Journal of Basic Microbiology**, Weinheim, v. 31, n. 1, p. 3-12, 1991.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa:, SBCS, 2006. 85p.
- BERRÍOS, G.; CABRERA, G.; GIDEKEL, M.; GUTIÉRREZ-MORAGA, A. Characterization of a novel Antarctic plant growth-promoting bacterial strain and its interaction with Antarctic hair grass (*Deschampsia antarctica* Desv). **Polar Biology**, Järfälla, v. 36, n. 3, p. 349-362, 2013.
- BLANCHETTE, R. A.; HELD, B. W.; ARENZ, B. E.; JURGENS, J. A.; BALTES, N. J.; DUNCAN, S. M.; FARRELL, R. L. An Antarctic hot spot for fungi at Shackleton’s historic hut on Cape Royds. **Microbial Ecology**, Nova Iorque, v. 60, n. 1, p. 29-38, 2010.

- BÖLTER, M.; BEYER, L.; STONEHOUSE, B. Antarctic Coastal Landscapes: Characteristics, Ecology and Research. In: BEYER, L.; BÖLTER, M. **Geocology of Antarctic Ice-free coastal landscapes**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 154-194.
- BRIDGE, P. D.; SPONER, B. M. Non-lichenized Antarctic Fungi: transient visitors or members of a cryptic ecosystem? **Fungal Ecology**, Londres, v. 5, n. 4, p. 381-394, 2012.
- BRITISH ANTARCTIC SURVEY. **The Antarctic Treaty**, 2015. Disponível em <<http://www.antarctica.ac.uk>>. Acesso em 28 de março de 2017.
- BRUNATI, M.; ROJAS, J. L.; SPONGA, F.; CICILIATO, I.; LOSI, D.; GÖTTLICH, E.; DE HOOG, S.; GENILLOUD, O.; MARINELLI, F. Diversity and pharmaceutical screening of fungi from benthic mats of Antarctic lakes. **Marine Genomics**, Amsterdã, v. 2, n. 1, p. 43-50, 2009.
- BUSWELL, J. K., CAI, Y. J.; CHANG, S.T. Effect of nutrient nitrogen on manganese peroxidase and lacase production by *Lentinula (Lentinus) edodes*. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdã, v.128, n. 1, p.81-87, 1995.
- BUTTIGIEG, P. L.; RAMETTE, A. A guide to statistical analysis in microbial ecology: a community-focused, living review of multivariate data analyses. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 90, n. 3, p. 543–550, 2014.
- BUTINAR, L.; SPENCER-MARTINS, I.; GUNDE-CIMERMAN, N. Yeasts in high Arctic glaciers: the discovery of a new habitat for eukaryotic microorganisms. **Antonie van Leeuwenhoek**, Amsterdã, v. 91, n. 3, p. 277-289, 2007.
- BUZZINI, P.; BRANDA, E.; GORETTI, M.; TURCHETTI, B. Psychrophilic yeasts from worldwide glacial habitats: diversity, adaptation strategies and biotechnological potential. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 82, n. 2, p. 217-241, 2012.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física dos Solos do Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim Técnico n° 106**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77 p.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221 p.
- CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A. A rizosfera e seus efeitos na comunidade microbiana e na nutrição de plantas. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S. S. (Eds.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007.
- CARRASCO, M.; ROZAS, J. M.; BARAHONA, S.; ALCAÍÑO, J.; CIFUENTES, V.; BAEZA, M. Diversity and extracellular enzymatic activities of yeasts isolated from King George Island, the sub-Antarctic region. **BMC Microbiology**, Londres, v, 12, n. 251, 2012.
- CAVICCHIOLI, R.; SIDDIQUI, K. S.; ANDREWS, D.; SOWERS, K. R. Low-temperature extremophiles and their applications. **Current Opinion in Biotechnology**, Londres, v. 13, n. 3, p. 253-261, 2002.
- CHAO, A.; CHAZDON, R. L.; COLWELL, R. K.; SHEN, T-J. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. **Ecology Letters**, Oxford, v. 8: 148-159, 2005.
- CLARKE, A. Evolution, Adaptation And Diversity: Global Ecology In An Antarctic Context. In: HUISKES, A. H. L.; GIESKES, W. W. C.; ROZEMA, J.; SCHORNO, R. M. L.; VAN DER VIES, S. M.; WOLFF, W. J. (Eds.). **Antarctic Biology in a Global Context**, Leiden: Backhuys Publishers, 2003.p. 3-17, 2003.
- COLLINS, T.; ROULLING, F.; PIETTE, F.; MARX, J. C.; FELLER, G.; GERDAY, C.; D'AMICO, S. Fundamentals of cold-adapted enzymes. In: MARGESIN, R.; SCHINNER, F.; MARX, J. C.; GERDAY,

C. (Eds.). **Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology**. Berlím: Springer Verlag, 2008. p. 211-227.

COLWELL, R. K. **Estimate S: Statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 9. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>, 2013.

CONNELL, L.; REDMAN, R.; CRAIG, S.; RODRIGUEZ, R. Distribution and abundance of fungi in the soils of Taylor Valley, Antarctica. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 10, p. 3083-3094, 2006.

CONNELL, L.; REDMAN, R.; CRAIG, S.; SCORZETTI, G.; ISZARD, M.; RODRIGUEZ, R. Diversity of soil yeasts isolated from South Victoria Land, Antarctica. **Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 56, n. 3, p. 448-459, 2008.

CONVEY, P.; CHOWN, S. L.; CLARKE, A.; BARNES, D. K. A.; BOKHORST, S.; CUMMINGS, V.; DUCKLOW, H. W.; FRATI, F.; GREEN, T. G. A.; GORDON, S.; GRIFFITHS, H. J.; HOWARD-WILLIAMS, C.; HUISKES, A. H. L.; LAYBOURN-PARRY, J.; LYONS, W. B.; MCMINN, A.; MORLEY, S. A.; PECK, L. S.; QUESADA, A.; ROBINSON, S. A.; SCHIAPARELLI, S.; WALL, D. H. The spatial structure of Antarctic biodiversity. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 84, n. 2, p. 203-244, 2014.

COOK, R. J.; THOMASHOW, L. S.; WELLER, D. M.; FUJIMOTO, D.; MAZZOLA, M.; BANGERA, G.; KIM, D. S. Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 92, p. 4197-4201, 1995.

COWAN, D. A.; KHAN, N.; POINTING, S.; CARY, S. C. Diverse hypolithic refuge communities in the McMurdo Dry Valleys. **Antarctic Science**, Oxford, v. 22, n. 6, p. 714-720, 2010.

COWAN, D. A.; MAKHALANYANE, T. P.; DENNIS, P. G.; HOPKINS, D. W. Microbial ecology and biogeochemistry of continental antarctic soils. **Frontiers in Microbiology**, Lausana, v. 5, n. 154, p. 1-10, 2014.

DEEGENAARS, M. L.; WATSON, K. Heat-shock response in psychrophilic and psychrotrophic yeast from Antarctica. **Extremophiles**, Tóquio, v. 2, n. 1, p. 41-49, 1998.

DE GARCÍA, V.; COELHO, M. A.; MAIA, T. M.; ROSA, L. H.; VAZ, A. M.; ROSA, C. A.; SAMPAIO, J. P.; GONÇALVES, P.; VAN BROOCK, M.; LIBKIND, D. Sex in the cold: taxonomic reorganization of psychrotolerant yeasts in the order Leucosporidiales. **FEMS Yeast Research**, Amsterdã, v. 15, n. 4, p. 1-12 (fov019), 2015.

DE MENEZES, G. C. A.; GODINHO, V. M.; PORTO, B. A.; GONÇALVES, V. N.; ROSA, L. H. *Antarctomyces pellizariae* sp. nov., a new, endemic, blue, snow resident psychrophilic ascomycete fungus from Antarctica. **Extremophiles**, Tóquio, v. 21, n. 2, p. 259-269, 2017.

DENNIS, P. G.; MILLER, A. J.; HIRSCH, P. R. Are root exudates more important than other sources of rhizodeposits in structuring rhizosphere bacterial communities? **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 72, n. 3, p. 313-327, 2010.

DENNIS, P. G.; RUSHTON, S. P.; NEWSHAM, K. K.; LAUDUCINA, V. A.; ORD, V. J.; DANIELL, T. J.; O'DONNELL, A. G.; HOPKINS, D. W. Soil fungal community composition does not alter along a latitudinal gradient through the maritime and sub-Antarctic. **Fungal Ecology**, Londres, v. 5, n. 4, p. 403-408, 2012.

DE RIDDER-DUINE, A. S.; KOWALCHUK, G. A.; GUNNEWIEK, P. J. A. K.; SMANT, W.; VAN VEEN, J. A.; DE BOER, W. Rhizosphere bacterial community composition in natural stands of *Carex arenaria* (sand sedge) is determined by bulk soil community composition. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 37, n. 2, p. 349-357, 2005.

DEL FRATE, G.; CARETTA, G. Fungi isolated from Antarctic material. **Polar Biology**, Järfälla, v. 11, n. 1, p. 1-7, 1990.

- DENNIS, P. G.; RUSHTON, S. P.; NEWSHAM, K. K.; LAUDUCINA, V. A.; ORD, V. J.; DANIELL, T. J.; O'DONNELL, A. G.; HOPKINS, A. G. Soil fungal community does not alter along a latitudinal gradient through the maritime and sub-Antarctic. **Fungal Ecology**, Londres, v. 5, n. 4, p. 403-408, 2012.
- DI MENNA, M. E. Yeasts from Antarctica. **Journal of General Microbiology**, Londres, v. 23, 295-300. 1960.
- DING, Z.; LI, L.; CHE, Q.; LI, D.; GU, Q.; ZHU, T. Richness and bioactivity of culturable soil fungi from the Fildes Peninsula, Antarctica. **Extremophiles**, Tóquio, v. 20, n. 4, p. 425-435, 2016.
- DUARTE, A. W. F.; DAYO-OWOYEMI, I.; NOBRE, F.S.; PAGNOCCA, F. C.; CHAUD, L. S. C.; PESSOA JR, A.; FELIPE, M. G. A.; SETTE, L. D.; Taxonomic assessment and enzymes production by yeasts isolated from marine and terrestrial Antarctic samples. **Extremophiles**, Tóquio, v. 17, n. 6, p. 1023-1035, 2013.
- DUARTE, A. W. F.; PASSARINI, M. R. Z.; DELFORNO, T. P.; PELLIZZARI, F. M.; CIPRO, C. V. Z.; MONTONE, R. C.; PETRY, M. V.; PUTZKE, J.; ROSA, L. H.; SETTE, L. D. Yeasts from macroalgae and lichens that inhabit the South Shetland Islands, Antarctica. **Environmental Microbiology Reports**, Sussex do Oeste, v. 8, n. 5, p. 874-885, 2016.
- DUNCAN, S. M.; MINASAKI, R.; FARRELL, R. L.; THWAITES, J. M.; HELD, B. W.; ARENZ, B. E.; JURGENS, J. A.; BLANCHETTE, R. A. Screening fungi isolated from historic *Discovery* Hut on Ross Island, Antarctica for cellulose degradation. **Antarctic Science**, Oxford, v. 20, n. 5, p. 463-470, 2008.
- FELLER, G. Psychrophilic enzymes: from folding to function and biotechnology. **Scientifica**, Nova Iorque, v. 2013, p. 1-28, 2013.
- FELLER, G.; GERDAY, C. Psychrophilic enzymes: hot topics in cold adaptation. **Nature Reviews Microbiology**, Londres, v.1, p. 200-208, 2003.
- FURBINO, L. E.; GODINHO, V. M.; SANTIAGO, I. F.; PELLIZZARI, F. M.; ALVES, T. M. A.; ZANI, C. L.; JUNIOR, P. A. S.; ROMANHA, A. J.; CARVALHO, A. G. O.; GIL, L. H. V. G.; ROSA, C. A.; MINNIS, A. M.; ROSA, L. H. Diversity patterns, ecology and biological activities of fungal communities associated with the endemic macroalgae across the Antarctic Peninsula. **Microbial Ecology**, Nova Iorque, v. 67, p. 775-787, 2014.
- GAMUNDÍ, I. J.; SPINEDI, H. A. Ascomycotina from Antarctica. **Mycotaxon**, Ithaca, v. 33, 467-482, 1988.
- GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. J.; WHITE, T. J. (Eds.). **PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications**. Nova Iorque: Academic Press, 1990. 482p.
- GERARDO, N. M.; MUELLER, U. G.; PRICE, S. L.; CURRIE, C. R. Exploiting a mutualism: parasite specialization on cultivars within the fungus-growing ant symbiosis. **Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences**, Edimburgo, v. 271 n. 1550, p. 1791-1798, 2004.
- GERDAY, C., AITTALEB, M., BENTAHIR, M., CHESSA, J., CLAVERIE, P., COLLINS, T., D'AMICO, S., DUMONT, J., GARSOUX, G., GEORLETTE, D., HOYOUX, A., LONHIENNE, T., MEUWIS, M., FELLER, G. Cold adapted Enzymes: from fundamentals to biotechnology. **Trends in Biotechnology**, Amsterdã, v. 18, n. 3, p. 103-107, 2000.
- GERDAY, C.; AITTALEB, M.; ARPIGNY, J. L.; BAISE, E.; CHESSA, J. P.; GARSOUX, G.; PETRESCU, I.; FELLER, G. Psychrophilic enzymes: a thermodynamic challenge. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure and Molecular Enzymology**, Amsterdã, v. 1342, n. 3, 119-131, 1997.
- GLYNOU, K.; ALI, T.; BUCH, A. K.; KIA, S. H.; PLOCH, S.; XIA, X.; ÇELIK, A.; THINES, M.; MACIÁ-VICENTE, J. G. The local environment determines the assembly of root endophytic fungi at a continental scale. **Environmental microbiology**, Washington, v. 18, n. 8, p. 2418-2434, 2016.

- GODINHO, V. M.; FURBINO, L. E.; SANTIAGO, I. F.; PELLIZZARI, F. M.; YOKOYA, N. S.; PUPO, D.; ALVES, T. M. A.; JUNIOR, P. A. S.; ROMANHA, A. J.; ZANI, C. L.; CANTRELL, C. L.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Diversity and bioprospecting of fungal communities associated with endemic and cold-adapted macroalgae in Antarctica. **The ISME Journal**, Londres, v. 7, n. 7, p. 1434-1451, 2013.
- GODINHO, V. M.; GONÇALVES, V. N.; SANTIAGO, I. F.; FIGUEREDO, H. M.; VITORELI, G. A.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARBOSA, E. C.; OLIVEIRA, J. G.; ALVES, T. M. A.; ZANI, C. L.; JUNIOR, P. A. S.; MURTA, S. M. F.; ROMANHA, A. J.; KROON, E. G.; CANTRELL, C. L.; WEDGE, D. E.; DUKE, S. O.; ALI, A.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Diversity and bioprospection of fungal community present in oligotrophic soil of continental Antarctica. **Extremophiles**, Tóquio, v. 19, n. 3, p. 585-596, 2015.
- GONÇALVES, V. N.; CARVALHO, C. R.; JOHANN, S.; MENDES, G.; ALVES, T. M. A.; ZANI, C. L.; JUNIOR, P. A. S.; MURTA, S. M. F.; ROMANHA, A. J.; CANTRELL, C. L.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Antibacterial, antifungal and antiprotozoal activities of fungal communities present in different substrates from Antarctica. **Polar Biology**, Järfälla, v. 38, n. 8, p. 1143-1152, 2015.
- GONÇALVES, V. N.; VAZ, A. B. M.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Diversity and distribution of fungal communities in lakes of Antarctica. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 82, n. 2, p. 459-471, 2012.
- HAICHAR, F. E. Z.; MAROL, C.; BERGE, O.; RANGEL-CASTRO, J. I.; PROSSER, J. I.; BALESSENT, J.; HEULIN, T.; ACHOUAK, W. Plant host habitat and root exudates shape soil bacterial community structure. **The ISME Journal**, Londres, v. 2, n. 12, p. 1221-1230, 2008.
- HALDAR, S.; SENGUPTA, S. Plant-microbe cross-talk in the rhizosphere: insight and biotechnological potential. **The Open Microbiology Journal**, Bussum, v. 9, p. 1-7, 2015.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, Columbia, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.
- HARTMANN, A.; SCHMID, M.; VAN TUINEN, D.; BERG, G. Plant-driven selection of microbes. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 321, n. 1, p. 235-257, 2009.
- HAYES, M. A. The *Geomyces* Fungi: ecology and distribution. **BioScience**, Washington, v. 62, n. 9, p. 819-823, 2012.
- HEIN, B. Revision der Gattung *Laetinaevia* Nannf. (Ascomycetes) und Neuordnung der Naevioideae. **Willdenowia**, Berlin, v. 9, p. 5-136, 1976.
- HENRÍQUEZ, M.; VERGARA, K.; NORAMBUENA, J.; BEIZA, A.; MAZA, F.; UBILLA, P.; ARAYA, I.; CHÁVEZ, R.; SAN MARTÍN, A.; DARIAS, J.; DARIAS, M. J.; VACA, I. Diversity of cultivable fungi associated with Antarctic marine sponges and screening for their antimicrobial, antitumoral and antioxidant potential. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 30, n. 1, p. 65-76, 2014.
- HUSTON, A. L. Biotechnological aspects of cold-adapted enzymes. In: MARGESIN, R.; SCHINNER, F.; MARX, J. C.; GERDAY, C. (Eds.). **Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology**. Berlin, Springer Verlag, 2008. p. 347-363.
- INFORSATO, F.J. **Fungos de sedimentos marinhos da Antártica: diversidade e prospecção de enzimas**. 2017. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2017.
- JONES, D. L.; NGUYEN, C.; FINLAY, R. D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 321, n. 1, p. 5-33, 2009.

JOSEPH, B., RAMTEKE, P.W., THOMAS, G., SHRIVASTAVA, N. Standard review cold-active microbial lipases: a versatile tool for industrial applications. **Biotechnology and Molecular Biology Review**, Lagos, v. 2, n. 2, p. 39-48, 2007.

JUMPPONEN, A.; NEWSHAM, K. K.; NEISES, D. J. Filamentous ascomycetes inhabiting the rhizoid environment of the liverwort *Cephaloziella varians* in Antarctica are assessed by direct PCR and cloning. **Mycologia**, Nova lorque, v. 95, n. 3, 457-466, 2003.

KEREKES, R.; NAGY, G. Membrane lipid composition of a mesophilic and psychrophilic yeast. **Acta Alimentaria**, Budapeste, v. 9 p. 93-98, 1980.

KIMURA, M. A simple model for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. **Journal of Molecular Evolution**, Nova lorque, v. 16, n. 2, p. 111-120, 1980.

KOH, H. Y.; LEE, J. H.; HAN, S. J.; PARK, H.; LEE, S. G. Effect of the Antifreeze Protein from the Arctic Yeast *Leucosporidium* sp. AY30 on Cryopreservation of the Marine Diatom *Phaeodactylum tricornutum*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 175, n. 2, 677-686, 2015.

KUREK, E.; KORNIŁŁOWICZ-KOWALSKA, T.; SŁOMKA, A.; MELKE, J. Characteristics of soil filamentous fungi communities isolated from various micro-relief forms in the high Arctic tundra (Bellsund region, Spitsbergen). **Polish Polar Research**, Varsóvia, v. 28, n. 1, p. 57-73, 2007.

KURTZMAN, C. P.; ROBNETT, C. J. Identification and phylogeny of ascomycetous yeasts from analysis of nuclear large subunit (26S) ribosomal DNA partial sequences. **Antonie van Leeuwenhoek**, Amsterdã, v. 73, n. 4, p. 331-371, 1998.

LIU, X. Z.; WANG, Q. M.; GÖKER, M.; GROENEWALD, M.; KACHALKIN, A. V.; LUMBSCH, H. T.; MILLANES, A. M.; WEDIN, M.; YURKOV, A. M.; BOEKHOUT, T.; BAI, F. Y. Towards an integrated phylogenetic classification of the *Tremellomycetes*. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 81, p. 85-147, 2015.

LOPERENA, L.; SORIA, V.; VARELA, H.; LUPO, S.; BERGALLI, A.; GUIGOU, M.; PELLEGRINO, A.; BERNARDO, A.; CALVIÑO, A.; RIVAS, F.; BATISTA, S. Extracellular enzymes produced by microorganisms isolated from maritime Antarctica. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 28, n. 5, p. 2249-2256, 2012.

LUDLEY, K. E.; ROBINSON, C. H. 'Decomposer' Basidiomycota in Arctic and Antarctic ecosystems. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 40, n. 1, p. 11-29, 2008.

MACIEL, M. J. M.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, H. C. T. Industrial and biotechnological applications of ligninolytic enzymes of the basidiomycota: A review. **Electronic Journal of Biotechnology**, Valparaiso, v. 13, n. 6, p.1-13, 2010.

MARÍA, P.D., CARBONI-OERLEMANS, C., TUIN, B., BARGEMAN, G., MEER, A., GEMERT, R. Biotechnological applications of *Candida antarctica* lipase A: State-of-the-art. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, Amsterdã, v. 37, n. 1-6, p. 36-46, 2005.

MCRAE, C. F.; HOCKING, A. D.; SEPPELT, R. D. *Penicillium* species from terrestrial habitats in the Windmill Islands, East Antarctica, including a new species, *Penicillium antarcticum*. **Polar Biology**, Järfälla, v. 21, n. 2, p. 97-111, 1999.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdã, v. 37, n. 5, p. 634-663, 2013.

MEYER, W.; MITCHELL, T. G.; FREEDMAN, E. Z.; VILGALYS, R. Hybridization probes for conventional DNA fingerprinting used as single primers in the polymerase chain reaction to distinguish strains of *Cryptococcus neoformans*. **Journal of Clinical Microbiology**, Washington, v. 31, n. 9, 2274-2280, 1993.

MOKHTARNEJAD, L.; ARZANLOU, M.; BABAI-AHARI, A.; DI MAURO, S.; ONOFRI, A.; BUZZINI, P.; TURCHETTI, B. Characterization of basidiomycetous yeasts in hypersaline soils of the Urmia Lake National Park, Iran. **Extremophiles**, Tóquio, v. 20, n. 6, p. 915-928, 2016.

MÖLLER C.; DREYFUSS M.M. Microfungi from Antarctic lichens, mosses and vascular plants. **Mycologia**, Nova Iorque, n. 88, p. 922-933. 1996.

MÖLLER, E. M.; BAHNWEIG, G.; SANDERMANN, H.; GEIGER, H. H. A simple and efficient protocol for isolation of high molecular weight DNA from filamentous fungi, fruit bodies, and infected plant tissues. **Nucleic Acids Research**, Oxford, v. 20, n. 22, p. 6115-6116, 1992.

NETO, J. A. **Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistema de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica**. 2001. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

NOBRE, F.S. **Atividade lipolítica e biodiversidade de fungos filamentosos derivados da Antártica**, 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NONAKA, K.; OMURA, S.; MASUMA, R. KAIFUCHI, S.; MASUMA, R. Three new *Pochonia* taxa (Clavicipitaceae) from soils in Japan. **Mycologia**, Nova Iorque, v. 105, n. 5, 1202-1218, 2013.

ONOFRI, S.; SELBMANN, L.; ZUCCONI, L.; PAGANO, S. Antarctic microfungi as models for exobiology. **Planetary and Space Science**, Elmsford, v. 52, n. 1-3, p. 229-237, 2004.

OZERSKAYA, S.; KOCHKINA; IVANUSHKINA, N.; GILICHINSKY, D. A. Fungi in permafrost. In: MARGESIN, R. (Ed.). **Permafrost Soils**. Berlim: Springer-Verlag, 2009. pp. 85-95. (Soil Biology, v. 16).

PANNU, J. S.; KAPOOR, R. K.; Microbial laccases: a mini-review on their production, purification and applications. **International Journal of Pharmaceutical Archive**, Mandsaur, v. 3, n. 12, p. 528-536, 2014.

PARFITT, R. L.; CHILDS, C. W. Estimation of forms of Fe and Al: a review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 26, n. 1, 121-144, 1988.

PEAT, H. J.; CLARKE, A.; CONVEY, P. Diversity and biogeography of the Antarctic flora. **Journal of Biogeography**, Oxford, v.34, n. 1, p. 132-146, 2007.

PETIT, J. R.; ALEKHINA, I.; BULAT, S. Lake Vostok, Antarctica: Exploring a subglacial lake and searching for life in an extreme environment. In: GARGAUD, M. et al. **Lectures in Astrobiology**. Vol. 1. Nova Iorque: Springer, 2005. p. 227-288. (Advances in Astrobiology and Biogeophysics).

PHILIPPOT, L.; RAAIJMAKERS, J. M.; LEMANCEAU, P.; VAN DER PUTTEN, W. H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. **Nature Reviews: Microbiology**, Londres, v. 11, p. 789-799, 2013.

POINTING, S. B., CHAN, Y., LACAP, D. C., LAU, M. C., JURGENS, J. A., FARRELL, R. L. Highly specialized microbial diversity in hyper-arid polar desert. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 106, n. 47, p. 19964–19969, 2009.

PULSCHEN, A. A.; RODRIGUES, F.; DUARTE, R. T. D.; ARAUJO, G. G.; SANTIAGO, I. F.; PAULINO-LIMA, I. G.; ROSA, C. A.; KATO, M. J.; PELLIZARI, V. H.; GALANTE, D. UV-resistant yeasts isolated from a high-volcanic area on the Atacama Desert as eukaryotic models for astrobiology. **MicrobiologyOpen**, Sussex do Oeste, v. 4, n. 4, p. 574-588, 2015.

- RAAIJMAKERS, J. M.; PAULITZ, C. T.; STEINBERG, C.; ALABOUVETTE, C.; MOENNE-LOCCOZ, Y. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 321, n. 1, p. 341-361, 2009.
- RAGUÉNÈS, G., CHRISTEN, R., GUEZENNEC, J., PIGNET, P., BARBIER, G. *Vibrio diabolicus* sp. nov., a new polysaccharide-secreting organism isolated from a deep-sea hydrothermal vent polychaete annelid, *Alvinella pompejana*. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Londres, v. 47, n. 4, p. 989-995, 1997.
- RAY, M.K., SHIVAJI, S., SHYAMAIA-RAO, N., BHARGAVA, P.M. Yeast strains from the Schirmacher Oasis Antarctica. **Polar Biology**, Järfälla, v. 9, n. 5, p. 305-309, 1989.
- REYNOLDS, H. T.; BARTON, H. A. Comparison of the white-nose syndrome agent *Pseudogymnoascus destructans* to cave-dwelling relatives suggests reduced saprotrophic enzyme activity. **PLOS ONE**, São Francisco, v. 9, n. 1, p. e86437, 2014.
- ROSA, L. H.; VAZ, A. B. M.; CALIGIORNE, R. B.; CAMPOLINA, S.; ROSA, C. A. Endophytic fungi associated with the Antarctic grass *Deschampsia antarctica* Desv. (Poaceae). **Polar Biology**, Järfälla, v. 32, n. 2, p.161-167, 2009.
- ROSA, L. H.; VIEIRA, M. L. A.; SANTIAGO, I. F.; ROSA, C. A. Endophytic fungi community associated with the dicotyledonous plant *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. (Caryophyllaceae) in Antarctica. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 73, n. 1, p. 178-189, 2010.
- ROYLES, J.; AMESBURY, M. J.; CONVEY, P.; GRIFFITHS, H.; HODGSON, D. A.; LENG, M. J.; CHARMAN, D. J. Plants and soil microbes respond to recent warming on the Antarctic Peninsula. **Current Biology**, Londres, v. 23, n. 17, p. 1702-1706, 2013.
- RUISI, S., BARRECA, D.; SELBMANN, L.; ZUCCONI, L.; ONOFRI, S. Fungi in Antarctica. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, Amsterdã, v. 6, 127–141, 2007.
- SAMPAIO, J. P. *Leucosporidium* Fell, Statzell, I. L. HUNTER-PHAFF (1969). In: KURTZMAN, C.P., FELL, J.; BOEKHOUT (Eds.). **The Yeasts: a taxonomic study**. 5 ed. Amsterdã: Elsevier, 2011. p. 1485–1494. (v. 3, parte vb).
- SAMPAIO, J. P.; GADANHO, M.; SANTOS, S.; DUARTE, F. L.; PAIS, C.; FONSECA, A.; FELL, J. W. Polyphasic taxonomy of the basidiomycetous yeast genus *Rhodosporidium*: *Rhodosporidium kratochvilovae* and related anamorphic species. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 51, p. 687-697, 2001.
- SANTIAGO, I. F.; ALVES, T. M. A.; RABELLO, A.; SALES-JUNIOR, P. A.; ROMANHA, A. J.; ZANI, C. L.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Leishmanicidal and antitumoral activities of endophytic fungi associated with the Antarctic angiosperms *Deschampsia antarctica* Desv. and *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. **Extremophiles**, Tóquio, v. 16, n.1, p. 95-103, 2012.
- SANTIAGO, I. F.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Endophytic symbiont yeasts associated with the Antarctic angiosperms *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis*. **Polar Biology**, Järfälla, v. 40, n. 1, p. 177-183, 2017.
- SANTIAGO, I. F.; SOARES, M. A.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Lichensphere: a protected natural microhabitat of the non-lichenised fungal communities living in extreme environments of Antarctica. **Extremophiles**, Tóquio, v.19, n. 6: 1087-1097, 2015.
- SANTOS-GONZALEZ, J. C.; NALLANCHAKRAVARTHULA, S.; ALSTRÖM, S.; FINLAY, R. D. Soil, but not cultivar, shapes the structure of arbuscular mycorrhizal fungal assemblages associated with strawberry. **Microbial Ecology**, Nova Iorque, v. 62, n. 1, p. 25-35, 2011.
- SCHUUR, E. A. G.; BOCKHEIM, J.; CANADELL, J. G.; EUSKIRCHEN, E.; FIELD, C. B.; GORYACHKIN, S. V.; HAGEMANN, S.; KUHR, P.; LAFLEUR, P. M.; LEE, H.; MAZHITOVA, G.; NELSON, F. E.; RINKE, A.; ROMANOVSKY, V. E.; SHIKLOMANOV, N.; TARNOCAL, C.; VENEVSKY,

S.; VOGEL, J. G.; ZIMOV, S. A. Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the global carbon cycle. **BioScience**, Washington, v. 58, n. 8, p. 701-714, 2008.

SCIENTIFIC COMMITTEE ON ANTARCTIC RESEARCH. Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty, with annexes. **Polar Record**, Cambridge, v. 29, n. 170, p. 256-275, SCAR Bulletin 110, 1993.

SESSITSCH, A.; WEILHARTER, A.; GERZABEK, M. H.; KIRCHMANN, H.; KANDELER, H. Microbial Population Structures in Soil Particle Size Fractions of a Long-Term Fertilizer Field Experiment. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 67, n. 9, 4215-4224, 2001.

SETTE, L.D.; OLIVEIRA, V.M.; RODRIGUES, M.F.A. Microbial lignocellulolytic enzymes: industrial applications and future perspectives. **Microbiology Australia**, Melbourne, v. 29: 18-20, 2008.

SHARMA, J.R. Mycological studies at Antarctica. Seventeenth Indian Expedition to Antarctica, **Scientific Report 2000**, Department of Ocean Development, Technical Publication 15, 165-168, 2000.

SICILIANO, S. D.; PALMER, A. S.; WINSLEY, T.; LAMB, E.; BISSETT, A.; BROWN, M. V.; VAN DORST, J.; JI, M.; FERRARI, B. C.; GROGAN, P.; CHU, H.; SNAPE, I. Soil fertility is associated with fungal and bacterial richness, whereas pH is associated with community in polar soil microbial communities. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 78, p. 10-20, 2014.

SIMÕES, J. C. O ambiente antártico: domínio de extremos. In: SIMÕES, J. C. (Ed.). **Antártica e as mudanças globais, um desafio para a humanidade**. São Paulo: Blucher, 2011, p. 15-27. (Série Sustentabilidade).

SIMÕES, J. C.; ARIGONY-NETO, J.; BREMER, U. F. O uso de mapas antárticos em publicações. **Pesquisa Antártica Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 191-197, 2004.

SINGH, S. M., PUJA, G. BHAT, D. J. Psychrophilic fungi from Schirmacher Oasis, East Antarctica. **Current Science**, Bangalore, v. 90, n. 10, p. 1388-1392, 2006.

SØRENSEN, J. The rhizosphere as a habitat for soil microorganisms. In: ELSAS, J. D. V.; TREVORS, J. T.; WELLINGTON, E. M. H. **Modern Soil Microbiology**. Vol. 56. Nova Iorque: Marcel Dekker Incorporated, 1997. p. 21-45.

SOUZA, L. A. B.; FILHO, G. N. S.; OLIVEIRA, V. L. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na absorção de fósforo e na promoção do crescimento de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 4, p. 349-355, 2004.

TEIXEIRA, L. C. R. S.; PEIXOTO, R. S.; CURY, J. C.; SUL, W. J.; PELLIZARI, V. H.; TIEDJE, J.; ROSADO, A. S. Bacterial diversity in rhizosphere soil from antarctic vascular plants of Admiralty Bay, maritime Antarctica. **The ISME Journal**, Londres, v. 4, 989-1001, 2010.

TEIXEIRA, L. C. R. S.; YEARGEAU, E.; BALIEIRO, F. C.; PICCOLO, M. C.; PEIXOTO, R. S.; GREER, C. W.; ROSADO, A. S. Plant and bird presence strongly influences the microbial communities in soils of Admiralty Bay, maritime Antarctica. **PLOS ONE**, São Francisco, v. 8, n. 6, e66109, 2013.

THOMAS-HALL, S. R.; TURCHETTI, B.; BUZZINI, P.; BRANDA, E.; BOEKHOUT, T.; THEELEN, B.; WATSON, K. Cold-adapted yeasts from Antarctica and the Italian Alps – description of three novel species: *Mrakia robertii* sp. nov., *Mrakia blollopis* sp. nov. and *Mrakiella niccombsii* sp. nov. **Extremophiles**, Tóquio, v. 14, n. 1, p. 47-59, 2010.

TOSI, S.; CASADO, B.; GERDOL, R.; CARETTA, G. Fungi isolated from Antarctic mosses. **Polar Biology**, Järfälla, v. 25, n. 4, p. 262-268, 2002.

TSUJI, M.; UETAKE, J.; TANABE, Y. Changes in the fungal community of Austre Broggerbreen deglaciation area, Ny-Alesund, Svalbard, High Arctic. **Mycoscience**, Tóquio, v. 57, n. 6, p. 448-451, 2016.

TURCHETTI, B.; BUZZINI, P.; GORETTI, M.; BRANDA, E.; DIOLAIUTI, G.; D'AGATA, C.; SMIRAGLIA, C.; VAUGHAN-MARTINI, A. Psychrophilic yeasts in glacial environments of Alpine glaciers. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 63, n. 1, p. 73-83, 2008.

TURCHETTI, B.; GORETTI, M.; BRANDA, E.; DIOLAIUTI, G.; D'AGATA, C.; SMIRAGLIA, C.; ONOFRI, A.; BUZZINI, P. Influence of abiotic variables on culturable yeast diversity in two distinct Alpine glaciers. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 86, n. 2, p. 327-340, 2013.

TURKIEWICZ, M., PAZGIER, M., DONACHIE, S.P., KALINOWSKA, H. Invertase and glucosidase production by the endemic Antarctic marine yeast *Leucosporidium antarcticum*. **Polish Polar Research**, Varsóvia, v. 26, n. 2, p. 125-136, 2005.

UPSON, R.; NEWSHAM, K. K.; BRIDGE, P. D.; PEARCE, D. A.; READ, D. J. Taxonomic affinities of dark septate root endophytes of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica*, the two native Antarctic vascular plant species. **Fungal Ecology**, Londres, v. 2, n. 4, p. 184-196, 2009.

URAMOTO, K., WALDER, J. M. M., ZUCCHI, R. A. Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 1: 033-039, 2005.

VACA, I.; FAÚNDEZ, C.; MAZA, F.; PAILLAVIL, B.; HERNÁNDEZ, V.; ACOSTA, F.; LEVICÁN, G.; MARTÍNEZ, C.; CHÁVEZ, R. Cultivable psychrotolerant yeasts associated with Antarctic marine sponges. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 29, n. 1, p. 183-189, 2013.

VAZ, A. B. M.; ROSA, L.H.; VIEIRA, M. L. A.; DE GARCIA, V.; BRANDÃO, L. R.; TEIXEIRA, L. C. R. S.; MOLINÉ, M.; LIBKIND, D.; VAN BROOCK, M.; ROSA, C. A. The diversity, extracellular enzymatic activities and photoprotective compounds of yeasts isolated in Antarctica. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 937-947, 2011.

VENDRAME, P. R. S.; EBERHARDT, D. N.; BRITO, O. R.; MARCHÃO, R. L.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. Formas de ferro e alumínio e suas relações com textura, mineralogia e carbono orgânico em Latossolos do Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, 1657-1666, 2011.

VERMA, A. K., RAGHUKUMAR, C., VERMA, P., SHOUCHE, Y. S., NAIK, C. G. Four marine-derived fungi for bioremediation of raw textile mill effluents. **Biodegradation**, Dordrecht, v. 21, n. 2, p. 217-233, 2010.

VIANNA, M. V. **Fungos de solos da Antártica: prospecção de L-asparaginase e protease e caracterização taxonômica**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Microbiologia Aplicada) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2016.

VICTORIA, F. C.; ALBUQUERQUE, M. P.; PEREIRA, A. B.; SIMAS, F. N. B.; SPIELMANN, A. A.; SCHAEFER, C. E. G. R. Characterization and mapping of plant communities at Hennequin Point, King George Island, Antarctica. **Polar Research**, Järfälla, v. 32, p. 19261, 2013.

VINCENT, W. F. Evolutionary origins of Antarctic microbiota: invasion, selection and endemism. **Antarctic Science**, Oxford, v. 12, n. 3, p. 374-385, 2000.

VISHNIAC, H. S. Biodiversity of yeasts and filamentous microfungi in terrestrial Antarctic ecosystems. **Biodiversity and Conservation**, Londres, v. 5, n. 11, p. 1365-1378, 1996.

VISWANATH, B.; RAJESH, B.; JANARDHAN, A.; KUMAR, A. P.; NARASIMHA, G. Fungal laccases and their applications in bioremediation. **Enzyme Research**, Nova Iorque, v. 2014, p. 1-21, 2014.

WARIISHI, H., VALLI, K.; GOLD, M.H. Manganese (II) oxidation by manganese peroxidase from the basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 267, n. 33, p. 23688–23695, 1992.

WOLTER, R. C. D. **Prognóstico da toxidez de ferro em arroz irrigado por alagamento através da análise de solo pelo método oxalato de amônio**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

WUCZKOWSKI, M.; PASSOTH, V.; TURCHETTI, B.; ANDERSSON, A. C.; OLSTORPE, M.; LAITILA, A.; THEELEN, B.; VAN BROOCK, M.; BUZZINI, P.; PRILLINGER, H.; STERFLINGER, K.; SCHNÜRER, J.; BOEKHOUT, T.; LIBKIND, D. Description of *Holtermanniella* gen. nov., including *Holtermanniella takashimae* sp. nov. and four new combinations, and proposal of the order Holtermanniales to accommodate tremellomycetous yeasts of the *Holtermannia* clade. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 61, 680-689, 2011.

WYNN-WILLIAMS DD. Antarctic microbial diversity: the basis of polar ecosystem processes. **Biodiversity and Conservation**, Londres, v. 5, n. 11, p. 1271–1293, 1996.

YAO, H. Y.; WU, F. Z. Soil microbial community structure in cucumber rhizosphere of different resistance cultivars to fusarium wilt. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 72, n. 3, p. 456-463, 2010.

YERGEAU, E.; BOKHORST, S.; HUISKES, A. H. L.; BOSCHKER, H. T. S.; AERTS, R.; KOWALCHUK, G. A. Size and structure of bacterial, fungal and nematode communities along an Antarctic environmental gradient. **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdã, v. 59, n. 2, p. 436-451, 2007.

ZHANG, T.; WANG, N. F.; ZHANG, Y. Q.; LIU, H. Y.; YU, L. Y. Diversity and Distribution of Aquatic Fungal Communities in the Ny-Ålesund Region, Svalbard (High Arctic). **Microbial Ecology**, Nova Iorque, v. 71, n. 3, 543-554, 2016.

ZHANG, P.; ZHENG, J.; PAN, G.; ZHANG, X.; LI, L.; TIPPKÖTTER, R. Changes in microbial community structure and function within particle size fractions of a paddy soil under different long-term fertilization treatments from the Tai Lake region, China. **Colloids and Surface B: Biointerfaces**, Amsterdã, v. 58, n. 2, p. 264-270, 2007.

ZHANG, Y. H.; ZHUANG, W. Y. Phylogenetic relationships of some members in the genus *Hymenoscyphus* (Ascomycetes, Helotiales). **Nova Hedwigia**, Berlim, v. 78, n. 3-4, p. 475-484, 2004.