



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOLOGIA DE FUNGOS**

**DIVERSIDADE DE MUCORALES (MUCOROMYCOTINA) EM BREJOS DE ALTITUDE
DE PERNAMBUCO**

RECIFE Abril/2021

ANA LÚCIA SABINO DE MELO ALVES

**DIVERSIDADE DE MUCORALES (MUCOROMYCOTINA) EM BREJOS DE
ALTITUDE DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia de Fungos, do Departamento de Micologia, Centro de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Biologia de Fungos.

Área de Concentração: Taxonomia e Ecologia de Fungos

Aluno: Ana Lúcia Sabino de Melo Alves

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago (UFPE)

Co-orientadores: Profa. Dra. Cristina Maria de Souza-Motta (UFPE)

Dr. Carlos Alberto Fragoso de Souza

RECIFE Abril /2021

de

Alves, Ana Lúcia Sabino de Melo

Diversidade de Mucorales (Mucoromycotina) em brejos de altitude Pernambuco /
Ana Lúcia Sabino de Melo Alves. – 2021.

125 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago.

Coorientadora: Profa. Dra. Cristina Maria de Souza-Motta.

Coorientador: Dr. Carlos Alberto Fragoso de Souza.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de
Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia de Fungos
Recife, 2021.

Inclui referências e apêndices.

1. Fungos. 2. Ecologia. 3. Taxonomia. I. Santiago, André Luiz Cabral
Monteiro de Azevedo (orientador). II. Souza-Motta, Cristina Maria
de (coorientadora). III. Souza, Carlos Alberto Fragoso de
(coorientador). IV. Título.

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2022-194

ANA LÚCIA SABINO DE MELO ALVES

**DIVERSIDADE DE MUCORALES (MUCOROMYCOTINA) EM BREJOS DE ALTITUDE
DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biologia
de Fungos, da Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para a obtenção do título de doutor
em Biologia de Fungos

Data da defesa: 30 / 04 / 2021

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Prof. Dr. André Luiz C. M. de Azevedo Santiago (UFPE) – Membro titular interno

Profa. Dra. Cristina Maria de Souza – Motta (UFPE) – Membro titular interno

Profo. Dro. Roger Fagner Ribeiro Melo (UFPE) – Membro titular interno

Dr. Diogo Xavier Lima (UFPE) – Membro titular externo

Dr. Diogo Paes da Costa (UFRPE-UAG) – Membro titular externo

MEMBROS SUPLENTE

Profa. Dra. Neiva Tinti de Oliveira (UFPE) – Membro suplente interno

Dro. Rafael José Vilela de Oliveira (UFPE) – Membro suplente externo

Dedico

Ao meu filho, Rafael de Melo Alves, por ser a razão e inspiração que me ajudaram, mesmo em meio às dificuldades encontradas, a ter forças para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a oportunidade de alcançar esse degrau, e por ter colocado a sua mão sobre mim, sobre cada etapa desse processo, mesmo que em alguns momentos eu tenha me angustiado, me atrasado, ou não tenha correspondido a algumas expectativas.

Ao meu orientador, André Luiz C. M de A. Santiago, por ter verdadeiramente desempenhado o papel de professor, ensinando-me a arte da taxonomia.

Aos “zigomicetólogos” Catarina Lima, Thalline Raphaella, Joana D’Arc, Leslie Waren, Diogo Xavier e Mateus Cruz, que me incentivaram, ajudaram e me apoiaram nesses anos de convivência.

À minha irmã e querida amiga, Rejane Maria, pela amizade, partilha de vida, incentivo, ajuda e presença marcante nesses anos de pós-graduação.

Ao Rafael Oliveira pela constata ajuda nas análises moleculares da minha tese.

Ao Carlos Fragoso, querido amigo incentivador e co-orientador que, desde o início, foi um verdadeiro professor, me mostrando esse mundo lindo dos fungos mucoráceos.

Ao meu esposo, Joséilton Farias Alves, pelo companheirismo, cumplicidade, ajuda nas coletas e partilha de vida e dos cuidados a nosso filho, Rafael, nos momentos em que precisei me ausentar.

Ao meu querido amigo Valdemar (Dema), pela condução nas coletas, pelo incentivo, por não medir esforços em cada viagem, e pelo carisma que me propiciou conhecer pessoas que abriram as portas nos locais de pesquisa.

Ao Aarão Netto, proprietário da Reserva Floresta do Jussará e Brejo do Benedito, pela liberação das áreas para as coletas realizadas e pelo apoio nas coletas.

Ao Vando, funcionário da Reserva Florestas do Jussará e Brejo do Benedito, em Gravatá, pela disponibilidade, boa vontade e por vários momentos de partilha e alegria. Ao Edilson e sua família, moradores do brejo da Serra do Jardim, em Agrestina, pela disponibilidade e acolhida durante os meses de coleta.

Ao Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), aqui representado pela Dra. Luciana Sartori Gurgel, pelo apoio logístico para as expedições de coleta.

À minha sogra, Iolanda Maria Farias, pelo apoio, cuidado e por estar sempre presente nos momentos de luta e alegria, me incentivando a não desistir e a fazer sempre o certo.

Aos meus pais, Maria Lúcia Sabino da Silva Melo e Antônio Pereira de Melo, pelo amor a mim devotado e em cada fase dos meus estudos, por todo sacrifício realizado para que eu não deixasse de estudar.

Às minhas irmãs, Maria Alexandra e Adriana por estarem e serem sempre presentes na minha vida, me trazendo alegria e fé Naquele que me deu a vida, e ao meu cunhado e irmão, Diogo Gomes por me incentivar e ser um sinal de Deus em minha vida.

Ao meu filho, Rafael de Melo Alves, um presente que recebi no início do doutorado e que cresceu e se desenvolveu juntamente com esta tese, me mostrando que Deus sempre tem o melhor para nós e que nunca devo desistir.

À Comunidade Católica Obra Preciosa, da qual sou membro e missionária, na pessoa do fundador Erivaldo Santos, por me conduzir a ser Em Jesus Tudo para Todos, a ser sempre sinal de Deus em qualquer lugar que eu esteja.

RESUMO

Os brejos de altitude são enclaves de florestas úmidas circundados por áreas de caatinga que exibem uma biota distinta da Mata Atlântica e da Amazônia, sendo considerados refúgios para espécies de micro-organismos, incluindo os fungos. Até o presente, 34 espécies de fungos da ordem Mucorales foram reportadas em solo de brejos de altitude nordestinos, o que provavelmente não reflete a real riqueza desse grupo de fungos nessas áreas. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivos: conhecer a frequência de ocorrência e a abundância relativa das espécies de Mucorales no solo dos três brejos de altitude do semiárido de Pernambuco; conhecer e comparar a riqueza, diversidade, equitabilidade e a composição de espécies de Mucorales entre os solos dos brejos de altitude inventariados; avaliar se a temperatura e a pluviosidade influenciam na distribuição das espécies dos Mucorales no solo dos brejos de altitude estudados; descrever e ilustrar espécies novas, raras e primeiras ocorrências para o Brasil, bem como para a região Nordeste do país; contribuir com a preservação *ex situ* (no Herbário URM, na Micoteca URM e no GenBank) da diversidade e do patrimônio genético dos fungos zigospóricos. Foram realizadas oito coletas de solo, nos brejos da Serra do Jardim, Serra do Vento e do Benedito, localizados nas cidades de Agrestina, Belo Jardim e Gravatá, respectivamente. Para o isolamento dos fungos mucoráceos, cinco miligramas de solo foram inoculados no meio de cultura ágar germén de trigo, adicionado de cloranfenicol, previamente contido em placas de Petri, em triplicata. Foram isolados 29 táxons de Mucorales distribuídos entre *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. *Cunninghamella bertholletiae* foi o taxon mais frequente e abundante nos solos dos brejos, seguido por *Gongronella* sp. 1 e *Absidia cornuta*. A equitabilidade, diversidade e riqueza de Mucorales nos solos inventariados foram estatisticamente superiores no brejo da Serra do Benedito, em relação aos outros dois brejos, mas não diferiram entre os brejos das Serras do Jardim e do vento. Com relação à composição de espécies, as comunidades dos três brejos foram similares, sendo essa semelhança mais pronunciada entre os brejos das Serras do Jardim e do Vento, sendo a temperatura e umidade fatores que influenciam diretamente na distribuição das espécies nos brejos estudados. *Absidia* sp. 1 e *Gongronella* sp. 1 são novas espécies, enquanto *Gongronella* sp. 2 é uma provável nova espécie. *Backusella gigacellularis* e *Mucor minutus* estão sendo registrados pela primeira vez para o Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Ecologia; Fungos zigospóricos; Mucoromycota; Taxonomia.

ABSTRACT

Upland forests are moist-forest enclaves surrounded by the Caatinga areas that exhibit a distinct biota from the Atlantic Forest and the Amazon Rainforest, that are refuge for the microorganisms species, including the fungi species. So far, 34 fungi species from the Mucorales order are reported to be in the soils of the northeastern upland forests, which probably do not reflect the real richness of this fungi in these areas. Therefore, the aims of this work were: to know the frequency of occurrence and the relative abundance of the Mucorales species in the soils of the three upland forests from the semiarid region of Pernambuco; to know and compare the richness, diversity, equitability and the composition of Mucorales species among the inventoried soils of upland forests; to evaluate if the temperature and rainfall impact the distribution of Mucorales species in the mentioned studied soil of upland forests; to describe and illustrate new, rare species and first occurrence in Brazil, as well as for the Northeast region of the country; to contribute with the preservation of ex situ (in the Herbário URM, Micoteca URM and GenBank) of the diversity and genetic patrimony of zygosporic fungi. Eight collections of soil were done in the upland forests of Serra do Jardim, Serra do Vento and Serra do Benedito, located in the cities of Agrestina, Belo Jardim and Gravatá, respectively. For the mucoraceous isolation, five milligrams of soil were inoculated in wheat germ agar culture medium, plus chloramphenicol, contained into Petri dishes, in triplicate. Twenty-nine taxa of Mucorales were isolated, being distributed among *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* and *Syncephalastrum*. *Cunninghamella bertholletiae* was the most frequent and abundant taxon in the upland areas, followed by *Gongronella* sp. 1 and *Absidia cornuta*. The equitability, diversity and riches of Mucorales in the inventoried soils were, statistically, higher in the Serra do Benedito compared to the other two upland forests, but they did not differ from the Serras do Jardim and Serras do Vento uplands. Concerning the species composition, the three upland communities were similar, and this similarity was more apparent between the Serras do Jardim and Serras do Vento uplands, with the temperature and moisture being influencing factors which, directly, influenced the distribution of species in the analysed upland areas. *Absidia* sp. 1 and *Gongronella* sp. 1 are new species. *Backusella gigacellularis* and *Mucor minutus* are being registered for the first time in Northeast Brazil.

Keywords: Ecology; Zygosporic fungi; Mucoromycota; Taxonomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspecto do brejo da Serra do Jardim, Agrestina-PE.....	42
Figura 2 - Aspecto do Brejo da Serra do Vento, Belo Jardim-PE.	43
Figura 3 - Aspecto do Brejo da Serra do Benedito, Gravatá-PE.	44
Figura 4 - Pluviosidade média mensal (mm) nos municípios Agrestina, Belo Jardim e Gravatá- PE, durante o período de coletas de solo.	46
Figura 5 - Porcentagem dos gêneros, em relação ao número de espécies, de Mucorales presentes nos solos dos Brejos da Serra do Jardim, Serra do Vento e Serra do Benedito, PE.	51
Figura 6 - Abundância relativa das espécies de Mucorales em relação total de espécimes dessa mesma ordem, ao longo de oito coletas em três regiões de brejo situadas no estado de Pernambuco: brejo Serra do Benedito - Gravatá (BSB); brejo Serra do Jardim - Agrestina (BSJ); e brejo Serra do Vento – Belo Jardim (BSV)	56
Figura 7 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jacknife 1 de Mucorales no solo do Brejo da Serra do Jardim, PE.....	58
Figura 8 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jacknife 1 de Mucorales no solo do Brejo da Serra do Vento, PE.....	58
Figura 9 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jacknife 1 de Mucorales no solo do Brejo da Serra do Benedito, PE.....	59
Figura 10 - Dendograma de Similaridade de Bray-Curtis entre os brejos da Serra do Jardim (BSJ), do Vento (BSV) e Benedito (BSB).....	60
Figura 11 - Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) com base na matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis explicando modelo de dispersão das espécies de fungos em três regiões de brejo situadas no estado de Pernambuco: brejo Serra do Benedito - Gravatá (BSB); brejo Serra do Jardim - Agrestina (BSJ); e brejo Serra do Vento – Belo Jardim (BSV). O número no interior dos círculos representa a ordem da coleta.	61
Figura 12 - Dendrograma de similaridade Euclidiana entre as espécies fúngicas. O agrupamento foi feito com base no método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), baseado na ocorrência das espécies sob diferentes condições de coleta e localização.	62
Figura 13 - <i>Absidia</i> sp. A. Esporangióforo simples com esporângio. B. Esporangióforo simples com columela e projeção na columela. C. Esporangióforos longo e curtos surgindo do estolão com columelas. D. Esporangióforo com ramificação simples e columelas. E. Esporangióforos surgindo do estolão. F. Esporangióforo simples com um inchaço. G. Rizóides. H. Esporangiosporos.	65

Figura 14 - Árvore filogenética de *Absidia* sp. CSM55 TL498 e espécies relacionadas com base na análise de máxima verossimilhança (ML) para LSU rDNA. Valores de bootstrap para máxima verossimilhança igual ou superior a 70% e probabilidades posteriores Bayesianas posteriores (BYPP) iguais ou superiores a 0.90 são mostrados nos ramos. Os valores de bootstrap inferiores a 0.9 e 70% são marcados com “*” e ausentes são marcados com “-”. As cepas do tipo, isótipo e neótipo são marcadas com “T”, “IT” e “NT”, respectivamente. A cepa do estudo atual é mostrada em azul e negrito. *Cunninghamella phaeospora* CBS 692.68 e *Cunninghamella vesiculosa* CBS 989.96 foram usados como grupos externos.....66

Figura 15 - *Gongronella* sp. 1. A. Esporangióforo não ramificado com esporângio. B. Esporangióforo não ramificado com columela. C. Esporóforo com ramificação simples. D. Esporangiosporos.67

Figura 16 - Árvore filogenética (ITS rDNA) de *Gongronella* sp. 1 e espécies relacionadas com base na análise de verossimilhança. Os valores de suporte $\geq 70\%$ mostrados nos nós são das análises máxima verossimilhança e de bayesiana, respectivamente. Valores de suporte inferiores a 0,95 e 70% estão marcados com “*”. As barras indicam o número de substituições por posição. Sequências obtidas nesse estudo estão marcadas em azul. *Saksenaea vasiformis* CBS 133.90 está sendo usada como grupo externo.68

Figura 17- *Backusella gigacellularis* (URM 7894). A. Esporangióforo não ramificado com esporângio. B. Esporangióforo não ramificado com columela e colar. C. Esporóforo simpodialmente ramificado contendo apenas esporangiólos. D. Esporangiosporos. E. Células gigantes.....70

Figura 18 - *Mucor minutus* (URM 8362). A. Esporangióforo com esporângio. B. Esporângio com columela e esporangiosporos. C. Esporangióforo com columela. D, E, F. Esporangióforo ramificado. G. Esporangiosporos..... 72

Figura 19 - Árvore filogenética (ITS rDNA) de *Mucor minutus* e espécies relacionadas. Os valores de suporte são para análise de verossimilhança. *Mucor amphibiorum* foi usado como grupo externo. A sequência obtida nesse estudo está em negrito..... 73

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Número de unidades formadoras de colônias por grama de solo e riqueza de espécies de Mucorales isolados de solos dos Brejos da Serra do Jardim (BSJ), Serra do Vento (BSV) e Serra do Benedito (BSB) – PE..... 53
- Tabela 2** - Frequência de ocorrência (FO) e abundância relativa (AR) dos Mucorales (considerando todas UFCs de fungos que cresceram em meio de cultura), nos solos dos brejos da Serra do Jardim, do Vento e do Benedito – PE.55
- Tabela 3** - Riqueza (S), índice de diversidade de Shannon Wiener (H') e equitabilidade de Pielou's dos Mucorales no solo dos brejos das Serras do Jardim (BSJ), do Vento (BSV) e do Benedito (BSB). Os valores seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p = 0.05$)..... 57
- Tabela 4** - Riquezas observada (Sobs) e estimada pelos estimadores Chao 1 e Jackknife 1 das comunidades de Mucorales nos brejos da Serra do Jardim (BSJ), Serra do Vento (BSV) e Serra do Benedito (BSB).57
- Tabela 5** - Análise de similaridade de Bray-Curtis da composição dos Mucorales dos solos dos brejos da Serra do Jardim, Serra do Vento e Serra do Benedito, PE..... 59
- Tabela 6** - Principais índices de Alpha diversidade por coleta individual.....63
- Tabela 7** - Alpha, Beta e Gamma diversidade calculados por localidade e coleta. Regiões: brejo Serra do Benedito - Gravatá (BSB); brejo Serra do Jardim - Agrestina (BSJ); e brejo Serra do Vento – Belo Jardim (BSV)..... 64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Geral.....	17
1.1.2 Específico.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS FUNGOS ZIGOSPÓRICOS... ..	19
2.2 MUCOROMYCOTA Doweld.....	22
2.3 MUCORALES Schröter.....	24
2.3.1 <i>Absidia</i> Tiegh.....	26
2.3.2 <i>Backusella</i> Hesselt. & J.J. Ellis.....	28
2.3.3 <i>Cunninghamella</i> Matr.....	29
2.3.4 <i>Gongronella</i> Ribaldi.....	31
2.3.5 <i>Mucor</i> Fresen.....	33
2.3.6 <i>Rhizopus</i> Ehrenb.....	34
2.3.7 <i>Syncephalastrum</i> J. Schröt.....	36
2.4 O SEMIÁRIDO.....	37
2.5 BREJOS DE ALTITUDE.....	38
2.6 MUCORALES ISOLADOS EM BREJOS DE ALTITUDE DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO.....	40
3 MATERIAS E MÉTODOS.....	42
3.1 ÁREAS DE ESTUDO.....	42
3.1.1 Brejo da Serra do Jardim.....	42
3.1.2 Brejo da Serra do Vento.....	43
3.1.3 Brejo da Serra do Benedito.....	44
3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	45
3.3 COLETAS DE SOLO.....	46
3.4 ISOLAMENTO, PURIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS TÁXONS DE MUCORALES.....	46
3.5 CRESCIMENTO, DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES NOVAS, PRIMEIRAS OCORRÊNCIAS PARA O NORDESTE DO BRASIL E DADOS DE DISTRIBUIÇÃO.....	47
3.6 EXTRAÇÃO DE DNA, AMPLIFICAÇÃO, SEQUENCIAMENTO DAS REGIÕES ITS	

E LSU DO rDNA E ANÁLISE FILOGENÉTICA.....	48
LISTA DE TABELAS	
3.7 ANÁLISES FILOGENÉTICAS.....	48
3.8 INCORPORAÇÃO DOS ESPÉCIMES ISOLADOS À COLEÇÃO DE CULTURAS MICOTECA-URM, DE LÂMINAS NO HERBÁRIO URM E DAS SEQUÊNCIAS ITS E LSU DO rDNA NO GENBANK.....	49
3.9 AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES DE MUCORALES	49
3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	50
4 RESULTADOS.....	51
4.1 MUCORALES DE SOLO DOS BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO.....	51
4.2 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA, DIVERSIDADE, ABUNDÂNCIA RELATIVA, ESTIMADORES DE RIQUEZA E ÍNDICES DE SIMILARIDADE DOS MUCORALES EM SOLO DOS BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO.....	54
4.3 TAXONOMIA	64
4.3.1 <i>Absidia</i> sp. 1 A.L.S.M Alves, T.R.L Cordeiro & A.L. Santiago, sp. nov. 64	
4.3.2 <i>Gongronella</i> sp. 1 A.L.S.M Alves, L.W.S Freitas & A.L. Santiago, sp. nov. 67	
4.3.3 <i>Backusella gigacellularis</i> J.I. de Souza, Pires-Zottarelli e Harakava, Mycol. Progr. 13: 976 (2015).....	69
4.3.4 <i>Mucor minutus</i> (Baijal & B.S. Mehrotra) Schipper, Stud. Mycol. 10: 24 (1975)	71
5 DISCUSSÃO.....	74
5.1 TAXONOMIA	81
5.1.1. <i>Absidia</i> sp	81
5.1.2 <i>Gongronella</i> sp. 1.....	82
5.1.3 <i>Backusella gigacellularis</i>	82
5.1.4 <i>Mucor minutus</i>	83
6 CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS.	86

APÊNDICE A - First occurrence of <i>Backusella gigacellularis</i> (Mucorales, Mucoromycota) in a fragment of an Upland Forest within the semi-arid region of northeastern Brazil (Rodríguez 72, 2021: 1- 5).....	104
---	------------

APÊNDICE B - <i>Mucor minutus</i> (Mucorales, Mucoromycota): a rare species isolated for the first time in Northeastern Brazil. Artigo aceito na Check List.	109
--	------------

1 INTRODUÇÃO

O filo Mucoromycota Doweld abriga espécies de fungos pertencentes ao tradicional filo Zygomycota Moreau, desconsiderado por ser polifilético (HIBBETT et al., 2007, SAPATAFORA et al., 2016). Esse filo está inserido no subreino Mucoromycota e compreende o subfilo Mucoromycotina Benny que abrange as classes Mucoromycetes Doweld, Endogonomycetes Doweld e Umbelopsidomycetes (Tedersoo et al., 2018). Mucorales Fr., uma dentre as três ordens de Mucoromycetes, abriga espécies cosmopolitas e, assim como o observado em grande parte dos táxons de Mucoromycota, que produzem esporos de origem sexuada, com parede espessa, denominados zigosporos. Embora a maioria dos táxons dessa ordem seja terrestre, alguns podem estar associados a hospedeiros aquáticos (VOIGT, 2012).

A ordem Mucorales é a maior em número de espécies dentro de Mucoromycota, com aproximadamente, 306 espécies descritas (Wijayawardene et al., 2020). Em geral, o micélio dos táxons de Mucorales exibe um aspecto cottonoso, sendo constituído por hifas bem desenvolvidas, cenocíticas e hialinas (DESIRÒ et al., 2017), embora septos verdadeiros delimitando estruturas de reprodução ou irregularmente espaçados, em micélios, envelhecidos sejam comuns (SANTIAGO et al., 2013). Estando presentes nos mais variados habitats, as espécies de Mucorales são em maioria sapróbias, podendo ser isoladas de diferentes substratos, como solo, água, frutas, grãos estocados, esterco, plantas e animais, incluindo humanos imunocomprometidos (ALVAREZ et al., 2011; DE SOUZA et al., 2016), embora o solo seja o reservatório primário para essas espécies.

A microbiota edáfica contempla espécies de diferentes grupos de microorganismos, dentre eles, os fungos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). As populações de fungos presentes neste substrato desempenham um papel importante nos processos ecológicos globais, já que várias espécies desses organismos são decompositoras da matéria orgânica (MUMMEY et al., 2010). Dentre os fungos presentes no solo, destacam-se os pertencentes à ordem Mucorales, cuja maioria das espécies são decompositoras primárias e pioneiras nos processos de colonização e sucessão ecológica nesse micro-habitat (RICHARDSON, 2009). Espécies dessa ordem têm sido reportadas no solo dos domínios brasileiros Mata Atlântica, Cerrado

e Caatinga, com nenhum relato conhecido para o pantanal e para os Pampas (FLORA DO BRASIL, 2020).

O semiárido brasileiro exibe elevados graus de endemismo biodiversidade, exibindo fitofisionomias heterogêneas ao longo de seu território, que inclui os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, sudeste do Piauí, oeste de Alagoas e Sergipe, regiões Norte e Central da Bahia e uma faixa que inclui Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco (MMA, 2011). Em geral, os ecossistemas do semi-árido brasileiro se caracterizam pelas temperaturas médias anuais elevadas e baixas precipitação e umidade relativa. O solo das áreas semiáridas é predominantemente argiloso, formado em um microambiente ácido, pela influência climática e por processos de lixiviação, sendo denominado de vertissolo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Inseridos no semiárido brasileiro, encontram-se os brejos de altitude, definidos como “ilhas” de florestas úmidas circundadas pela Caatinga (ANDRADE-LIMA 1982). Esses brejos são também conhecidos como brejos nordestinos, os quais exibem uma biota distinta da Mata Atlântica e da Amazônia (CAVALCANTI & TABARELLI, 2004), sendo considerados refúgios para várias espécies (ANDRADE-LIMA 1982) e, além de protegerem mananciais hídricos, dão suporte para a estrutura sócio-econômica da região semi-árida (VASCONCELOSSOBRINHO 1971). Em Pernambuco, existem 23 brejos de altitude, com área florestal de 4.850,00 Km², estando 12 desses situados na mesorregião agreste nos municípios de Agrestina, Belo Jardim, Bezerros, Brejo da Madre de Deus, Buíque, Camocim de São Félix, Caruaru, Gravatá, Pesqueira e Taquaritinga do Norte (RODRIGUES et al., 2008). Infelizmente, tem sido cada vez mais perceptível a degradação dos brejos de altitude, principalmente pelo fato de que boa parte dessas áreas têm sido destinadas à agricultura, caça e coleta seletiva de plantas e animais, com as consequentes perda de diversidade biológica e a escassez de recursos naturais (PORTO et al., 2004).

Mesmo com o considerável aumento de pesquisas sobre a diversidade de fungos no Nordeste do Brasil, os trabalhos direcionados ao conhecimento da diversidade dos Mucorales nos brejos de altitude de Pernambuco ainda encontram-se em fase inicial e, até o presente, apenas 34 espécies dessa ordem foram reportadas no solo desse ecossistema, incluindo onze espécies novas (SANTIAGO et al., 2014; ARIYAWANSA et al., 2015; Li et al., 2016; HYDE et al., 2016; TIBPROMMA et al., 2017; LIMA et al., 2018; DE SOUZA et al.,

2018; CROUS et al., 2018; CROUS et al., 2019; LIMA et al., 2020) e três primeiras ocorrências para o Brasil (SANTIAGO; MAIA, 2010; ALVES et al., 2017; Lima et al., 2020), o que provavelmente não reflete a real riqueza desse grupo de fungos nesses ambientes. Além disso, não existem dados ecológicos na literatura sobre a estrutura das comunidades de Mucorales. Dessa forma, além de contribuir com a ampliação do conhecimento da ocorrência desses fungos nos brejos nordestinos, os quais devem ser preservados em coleções de culturas para posteriores estudos biotecnológicos e filogenéticos, esse trabalho pretende responder às seguintes questões: os brejos de altitude Pernambuco abrigam elevadas diversidade e riqueza de espécies de Mucorales, incluindo espécies novas, novas ocorrências para o Brasil ou para os brejos pernambucanos? Existem variações na riqueza, diversidade e ecomposição de espécies de Mucorales entre três diferentes brejos de Pernambuco inventariados? A temperatura e umidade influenciam na riqueza, diversidade e composição de espécies de Mucorales nos brejos estudados? Quais espécies de Mucorales são mais frequentes e abundantes no solo dos brejos inventariados?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Conhecer as comunidades de Mucorales do solo nos brejos de altitude da Serra do Vento, do Benedito e do Jardim, localizados no semiárido Pernambuco.

1.2.2 Específicos

- Conhecer a frequência de ocorrência e a abundância relativa das espécies de Mucorales no solo dos três brejos de altitude do semiárido de Pernambuco;
- Conhecer e comparar a riqueza, diversidade, equitabilidade e a composição de espécies de Mucorales entre os solos dos brejos de altitude inventariados;

- Entender como a temperatura e a pluviosidade influenciam na distribuição das espécies dos Mucorales no solo dos brejos de altitude estudados;
- Descrever e ilustrar espécies novas, raras e primeiras ocorrências para o Brasil, bem como para a região Nordeste do país.
- Contribuir com a preservação *ex situ* (no Herbário URM, na Micoteca URM e no GenBank) da diversidade e do patrimônio genético dos fungos zigospóricos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS FUNGOS ZIGOSPÓRICOS

A classificação dos informalmente denominados “fungos zigospóricos”, que anteriormente eram conhecidos como membros de Zygomycota Moreau, filo proposto por Moreau, em 1954, sempre foi contraditória, visto que o filo Zygomycota nunca foi validado, pela carência, à época, da descrição do mesmo em latim, em concordância com o Código de Nomenclatura Botânica (no presente Código de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas). Os fungos tradicionalmente inseridos no filo Zygomycota (criado por Moreau, 1954) foram classificados ao longo de tempo, em diferentes categorias taxonômicas por diversos autores (DRECHSLER, 1938; HESSELTINE, 1955; BENJAMIN; HESSELTINE, 1957; BENJAMIN, 1960; ALEXOPOULOS, 1962; BENNY; BENJAMIN; KIRK, 1992; ALEXOPOULOS; MIMS; BLACKWELL, 1996; KOVACS; SUNDBERG, 1999; HOFFMAN; VOIGT, 2009). As classes Zygomycetes G. Winter e Trichomycetes Alexop., compostas por fungos basais (BENNY, 2001; BENNY et al., 2001), foram discutidas por Alexopoulos (1962, 1996). A primeira, abrigava as ordens Dimargaritales R.K. Benj., Endogonales Jacz. & P.A. Jacz., Entomophthorales G. Winter, Glomales Morton & Benny, Kickxellales Kreisel ex R.K. Benj., Mucorales Fr. e Zoopagales Bessey ex R.K. Benj., enquanto Trichomycetes abrangia as ordens Harpellales Lichtw. & Manier, Asellariales Manier ex Manier & Lichtw., Amoebidiales L. Léger & Duboscq e Eccriniales L. Léger & Duboscq. Esse sistema de classificação passou pela primeira grande mudança quando foi verificado que os fungos da ordem Amoebidiales eram protozoários, fazendo com que essa ordem fosse desconsiderada (BENNY; O'DONNELL, 2000; BENNY; HUMBER; MORTON, 2001). O mesmo ocorreu com Eccriniales que também abrangia protozoários (CAFARO, 2005). Com base em características morfológicas, ecológicas e genéticas, Schüßler *et al.* (2001) elevaram a ordem Glomales à categoria de filo (Glomeromycota C. Walker & Schüßler).

O'Donnell *et al.* (2001) realizaram uma análise filogenética, com base nos genes ribossomais 18S (SSU), 28S (LSU) e no fator de alongação da actina (EF1 α), envolvendo 13 famílias, 54 gêneros e 63 espécies de Mucorales, reportando polifilia em larga escala para essa ordem. Posteriormente, James *et al.* (2006) sugeriram a polifilia de Zygomycota, com base em análises dos

marcadores 18S, 28S e 5.8S (rDNA), fator de elongação 1- α (EF1- α), e as subunidades RPB1 e RPB2 da RNA polimerase. O mesmo foi verificado por Chang *et al.* (2015), quando utilizaram análises filogenômicas em um estudo de evolução dos fungos.

Em um estudo filogenético envolvendo representantes de todos os grupos de fungos, Hibbett *et al.* (2007) inseriram os fungos zigospóricos dentro de subfilos com sede incerta, ou seja, não relacionados a nenhum filo:

Kickxellomycotina Benny (ordens Kickxellales, Dimargaritales, Harpellales e Assellariales), Zoopagomycotina Benny (Zoopagales), Entomophthoromycotina (Entomophthorales) e Mucoromycotina Benny (Mucorales, Endogonales e Mortierellales).

Posteriormente, a ordem Mortierellales Cavel.-Sm., que estava inserida no subfilo Mucoromycotina, foi elevada à categoria taxonômica de subfilo, Mortierellomycotina Kerst. Hoffm., K. Voigt & P.M. Kirk (HOFFMANN; VOIGT; KIRK, 2011) e, posteriormente, o subfilo Entomophthoromycotina foi elevado para o filo Entomophthoromycota Humber (HUMBER, 2012).

Análises filogenéticas de um conjunto de dados em escala genômica, realizadas por Spatafora (2016), trouxeram novidades na classificação dos fungos zigospóricos, tendo sido propostos dois filios: Zoopagomycota Gryganskyi, M.E. Smith, Stajich & Spatafora e Mucoromycota Doweld. O primeiro representa uma linhagem basal e que abriga espécies que formam associações com insetos, artrópodes, nematódeos, rotíferos e outros fungos, sejam patógenos, comensais, ou mutualistas, formado pelos subfilos: Entomophthoromycotina Humber, Kickxellomycotina e Zoopagomycotina. Mucoromycota forma o clado mais derivado dos fungos zigospóricos e consiste, principalmente, de fungos relacionados às plantas (simbiontes, decompositores e patógenos), com raras interações ecológicas com animais (ex: causadores de infecções em pacientes imunocomprometidos). Esse Filo compreendia os subfilos: Glomeromycotina Spatafora & Stajich, Mortierellomycotina e Mucoromycotina.

Tedersoo *et al.* (2018), com base em filogramas baseados em regiões do rRNA, genes codificadores de proteínas, bem como no tempo de divergência dos diferentes grupos de fungos, propuseram relevantes alterações, principalmente nas categorias de filo e classe dos fungos zigospóricos, introduzindo subreinos para permitir a comunicação de filios relacionados. Dessa forma, os fungos

zigospóricos foram classificados (aqui apresentados até a categoria de classe) da seguinte forma:

1. Subreino Basidiobolomyceta Tedersoo et al.

1.1. Filo Basidiobolomycota Doweld

1.1.1. Subfilo Basidiobolomycotina Tedersoo et al.

1.1.1.1. Classe Basidiobolomycetes Doweld

2. Subreino Zoopagomyceta Tedersoo et al.

2.1. Filo Entomophthoromycota Humber emend Tedersoo et al.

2.1.1. Subfilo Entomophthoromycotina Humber

2.1.1.1. Classe Entomophthoromycetes Humber

2.1.1.2. Classe Neozygitomycetes Humber

2.2. Filo Kickxellomycota Tedersoo et al.

2.2.1. Subfilo Kickxellomycotina Benny

2.2.1.1. Classe Kickxellomycetes Tedersoo et al.

2.2.1.2. Classe Barbatosporomycetes Tedersoo et al.

2.2.1.3. Classe Dimargaritomycetes Tedersoo et al.

2.2.1.4. Classe Harpellomycetes Tedersoo et al.

2.2.1.5. Classe Ramicandelaberomycetes Tedersoo et al.

2.3. Filo Zoopagomycota M.E. Smith, Spatafora & Stajich

2.3.1. Subfilo Zoopagomycotina Benny

3. Subreino Mucoromyceta Tedersoo et al.

3.1. Filo Mucoromycota Doweld

3.1.1. Subfilo Mucoromycotina Benny

3.1.1.1. Classe Mucoromycetes Doweld

3.1.1.2. Classe Endogonomycetes Doweld 3.1.1.3 Classe Umbelopsidomycetes Doweld

3.2. Filo Mortierellomycota Tedersoo et al.

3.2.1. Subfilo Mortierellomycotina Kerst. Hoffm., K. Voigt & P.M.

Kirk

3.3. Filo Calcarisporiellomycota Tedersoo et al.

3.3.1. Subfilo Calcarisporiellomycotina Tedersoo et al.

3.3.1.1. Classe Calcarisporiellomycetes Tedersoo et al.

3.4. Filo Glomeromycota C. Walker & A. Schüßler

3.4.1. Subfilo Glomeromycotina Spatafora & Stajich

3.4.1.1. Classe Glomeromycetes Caval.-Sm., emend. Oehl, G.A.

Silva, B.T. Goto & Sieverd.

3.4.1.2. Classe Archaeosporomycetes Sieverd., G.A. Silva, B.T.

Goto & Oehl

3.4.1.3. Classe Paraglomeromycetes Oehl, G.A. Silva, B.T. Goto & Sieverd.

O filo Calcarisporiellomycota representa linhagens geneticamente próximas às do filo Mucoromycota (HIROSE et al., 2012; YAMAMOTO et al., 2015) e Mortierellomycota (JIANG et al., 2011; TEDERSOO et al., 2017).

Mortierellomycotina foi elevada à categoria de Filo (Mortierellomycota) devido à consistentes diferenças filogenéticas e morfológicas entre esse filo e Mucoromycota (JAMES et al., 2006; SEKIMOTO et al., 2011; SPATAFORA et al., 2016; TEDERSOO et al., 2017). A classificação aceita Glomeromycota no ranque de filo, como inicialmente proposto por Schüßler et al. (2001). Embora análises do rRNA tenham sugerido que Mucoromycota seja parafilético, em relação a Dikarya, genes codificadores de proteínas (incluindo RPB1) fornecem forte suporte para a monofilia desse sub-reino como um grupo irmão de Dikarya (CHANG et al. 2015; SPATAFORA et al. 2016).

2.2 MUCOROMYCOTA Doweld

Como citado no item anterior, Mucoromycota abriga espécies do antigo filo Zygomycota Moreau (HIBBETT et al., 2007), desde que estudos moleculares filogenéticos sugeriram o polifiletismo do filo Zygomycota (JAMES 2006, LU et al. 2009, CHANG et al. 2015). As espécies de Mucoromycota estão distribuídas nas ordens Endogonales Moreau ex R. K. Benj, Mucorales e Umbelopsidales Spatafora & Stajich (Tedersoo et al. 2018; Wijayawardene et al., 2020). Espécies de Mucorales são em maioria sapróbias, caracterizadas pela formação de micélio bem desenvolvido e cenocítico, contendo septos apenas na base das estruturas de reprodução ou septos espaçados de forma irregular, em colônias envelhecidas. A reprodução assexuada ocorre comumente pela produção de esporos em esporângios, esporângios

(esporangiosporos) e merosporângios (merosporos). Em algumas espécies, a formação de clamidosporos, artrosporos (raros) e blastosporos (raros) pode ocorrer, nesse último caso, em indivíduos dimórficos (ex. *Mucor indicus* Lendn.) (ALEXOPOULOS; MIMS BLACKWELL, 1996;). A reprodução sexuada, quando observada, ocorre por copulação gametangial com a produção de um esporo de origem sexuada, com parede espessa, denominado zigosporos (a partir de gametângios opostos ou apostos) no micélio aéreo, no substrato ou no interior de esporocarpos (BENNY et al., 2016).

A ordem Endogonales, de acordo com Tedersoo & Smith (2013), comporta duas linhagens distintas que divergiram das ectomicorrizas, apresentando origem independente de Glomeromycotina e de espécimes ectomicorrízicos de Dikarya (BIDARTONDO et al. 2011, TEDERSOO; SMITH, 2013; DICKIE et al., 2015). Essa ordem inclui espécies ectomicorrízicas e sapróbias, podendo ser coletadas do solo e de outros substratos orgânicos. Espécimes dessa ordem apenas se reproduzem sexuadamente, formando corpos de frutificação, denominados esporocarpos, que contém zigosporângios e zigospóros produzidos por copulação gametangial. As espécies de Endogonales formam hifas cenocíticas ou com poucos septos (BIDARTONDO et al. 2011; DESIRÒ et al., 2017).

Umbelopsidales foi proposta por Spatafora et al. (2016), após um estudo envolvendo dados em escala genômica, e compreende Umbelopsidaceae W. Gams & W. Mey. e Umbelopsis Amos & H.L. Barnett. Essa ordem acomoda espécies caracterizadas por se reproduzem assexuadamente pela formação de esporângios multiesporados ou uniesporados e de clamidosporos, sendo a reprodução sexuada desconhecida (HOFFMANN et al., 2013; WANG et al., 2013; SPATAFORA et al., 2016). Amono et al. (1992) e Ruiter et al. (1993) reportaram, com base na composição de ácidos graxos da membrana plasmática, e da comparação da composição de polissacarídeos extracelulares antigênicos, que Umbelopsidales estava mais intimamente relacionada com táxons de Mucoraceae do que aqueles descritos em Mortierellaceae. Em continuação a esses estudos, Meyer & Gams (2003) revelaram, com base técnicas de RFLP das regiões ITS1, 5.8s, ITS2 do rDNA, de todas as espécies conhecidas do grupo *Mortierella isabellina* (Micromucor/Umbelopsis – clados de O'Donnell et al., 2001) e algumas outras espécies de *Mortierella*, que as algumas dessas espécies formaram um grupo monofilético com táxons de Umbelopsis, não relacionados com Mortierellales. Em decorrência disso, os autores decidiram transferir esses

táxons de *Mortierella* para *Umbelopsis* e criar uma nova família, Umbelopsidaceae, sugerindo novas combinações: *U. isabellina* (Oudem.) W. Gams, *U. ramanniana* (Möller) W. Gams e *U. autotrophica* (E.H. Evans) W. Gams.

2.3 MUCORALES Schröter

A ordem Mucorales pertence ao sub-reino Mucoromycota Tedersoo et al. que, juntamente com Rosellomycota Tedersoo et al., Aphelidiomycota Tedersoo et al., Blastocladiomycota Tedersoo et al., Chytridiomycota Tedersoo et al. e Olpidiomycota Tedersoo et al., compõe os chamados fungos basais, ou seja, os que primeiro divergiram na escala evolutiva (JAMES et al., 2006; HIBBETT et al., 2007; TEDERSOO et al., 2018). Essa ordem é considerada a maior, dentro de Mucoromycota, abrangendo mais de 300 espécies, em maioria sapróbias, frequentemente isoladas de solo, excrementos de herbívoros e de alimentos estocados (KIRK et al., 2008). Todas as famílias até então aceitas dessa ordem foram sinonimizadas com Mucoraceae Fr. por Benny (2009). No entanto, neste mesmo ano, Voigt et al. (2009), após analisarem filogeneticamente esse grupo, sugeriram que famílias deveriam ser segregadas de Mucoraceae. Mucorales compreende 55 gêneros distribuídos em 14 famílias: Umbelopsidaceae W. Gams & W. Mey, Lentamycetaceae K. Voigt & P.M. Kirk, Syncephalastraceae Naumov ex R.K. Benj., Lichtheimiaceae Kerst. Hoffm., G. Walther & K. Voigt, Phycomycetaceae Arx, Saksenaaceae Hesselt. & J.J. Ellis, Radiomycetaceae Hesselt. & J.J. Ellis, Cunninghamellaceae Naumov ex R.K. Benj., Backusellaceae K. Voigt & P.M. Kirk, Pilobolaceae Corda, Rhizopodaceae K. Voigt & P.M. Kirk, Choanephoraceae J. Schröt., Mycotyphaceae Benny & R.K. Benj. e Mucoraceae (WIJAYAWARDENE et al., 2020).

Os fungos desta ordem apresentam características bem particulares, como o rápido crescimento micelial aéreo, produzindo estruturas assexuais em abundância. O micélio exibe um aspecto cotonoso, sendo formado por hifas irregularmente septadas, que podem se diferenciar em rizoides, que atuam na fixação e absorção de nutrientes, e em estolões, que dispersam suas estruturas reprodutivas (HOFFMANN et al., 2013). Os esporangióforos são formados no

micélio ou podem surgir diretamente do substrato, podendo estar isolados ou agregados, serem eretos ou circinados, e possuírem ramificações cimosas, racemosas, simpodiais ou monopodiais (BENNY et al., 2014). Os esporangiosporos são produzidos em esporângios multi-esporados ou em suas variações morfológicas, como esporangiólos, que são esporângios pequenos com poucos esporos ou uniesporados, ou em merosporângios, que são esporângios cilíndricos ou claviformes que portam merosporangiosporos (ou merosporos) dispostos em cadeia (ÁLVAREZ, 2013). As columelas estruturas presentes no interior dos esporângios, ou as vesículas, localizadas na porção terminal dos esporóforos, são estruturas presentes nos representantes dessa ordem (HOFFMANN et al., 2013), podendo apresentar formas variadas, como clavadas, cônicas, esféricas, espatuladas, hemisféricas, obovoides, ovóides ou piriformes; podem ser lisas ou incrustadas, com ou sem projeções apicais (BENNY et al., 2001). Em Mucorales, a reprodução sexuada é observada com menor frequência em meios de cultivo do que a assexuada e, em várias espécies, a presença do zigospório ainda não foi reportada (O'DONNELL et al., 2001). Espécimes de Mucorales estão amplamente distribuídos no planeta e, dentre os substratos de onde podem ser isolados, é no solo onde são mais abundantes, conferindo ao solo alta heterogeneidade metabólica e fisiológica (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), desempenhando um papel importante na decomposição de matéria orgânica, realizando a ciclagem de nutrientes, disponibilizando-os para outros organismos, como as plantas, (MUMMEY et al., 2010). Os representantes deste grupo também são utilizados em escala industrial, como biocatalizadores na produção de ácidos orgânicos como, por exemplo, os ácidos cítricos e glucônico (ÁLVAREZ, 2013). Apenas poucas espécies são capazes de degradar carboidratos complexos, como pectinas e hemiceluloses (MARTIN et al., 2010; SILVA et al., 2013), enquanto a maioria exibe preferência pelos açúcares solúveis, como a glicose, sendo, por isso, chamados de “fungos do açúcar” (DIX & WEBSTER, 1995; TRUFEM, 1999). Na indústria de alimentos, espécies de *Rhizopus* são consideradas importantes fermentadoras utilizadas na produção de alimentos asiáticos, como o tofu, enquanto alguns táxons de *Thermomucor* foram citados como promissores para a produção de proteases coagulantes do leite que atuam diretamente na produção de queijo (MERHEB-DINI et al., 2010; XUEFENG et al., 2011; FERREIRA et al., 2013), sendo importantes agentes para as indústrias farmacêutica, têxtil e de alimentos. Além disso, estudos sobre

aplicações desses fungos na biotecnologia têm aumentado consideravelmente. Táxons de *Mucor* Fresen., *Cunninghamella* Matr. e *Rhizopus* Ehrenb. estão envolvidos na síntese de diversos produtos industriais, como amilases, lipases, inulinases, pectinases, renina, proteases, celulasas e outros metabólitos (HOFFMANN et al., 2013; LIMA et al., 2016; MARTINS et al., 2019). Outros são empregados na produção de ácidos orgânicos, como os ácidos cítrico, linolênico, aracdônico, oxálico e láctico (FERREIRA et. al., 2013). *Mucor circinelloides* Tiegh., foi citada como promissora para a produção de biodiesel em escala industrial (VICENTE et al., 2009). A composição dos ácidos graxos da membrana plasmática, aliada à capacidade comprovada de crescer em tanques fermentadores industriais, favorecem a utilização desses fungos para a produção de combustíveis sustentáveis (RATLEDGE, 2004).

2.3.1 *Absidia* Tiegh.

Descrito por Van Tieghem (1878), *Absidia* abrange espécies outrora incluídas em cinco gêneros: *Tieghemiella* Berl. & De Toni (BERLÈSE; DE TONI, 1888), *Mycocladus* Beauverie (BEAUVERIE, 1900), *Proabsidia* Vuill.

(VUILLEMIN, 1903a), *Lichtheimia* Vuill. (VUILLEMIN, 1903b) e *Pseudoabsidia* Bainier (BAINIER, 1903). Hesseltine & Ellis (1964) propuseram que *Absidia* fosse dividida em dois subgêneros (*Absidia* e *Mycocladus*), com base na capacidade de algumas espécies de crescerem em temperaturas elevadas e na morfologia do zigosporo. Posteriormente, Ellis & Hesseltine (1965) agruparam as espécies de *Absidia* em concordância com a morfologia dos esporangiosporos, distinguindo-as pela produção de esporos cilíndricos, globosos e ovóides. Kirk et al. (2001) tratararam como sinônimos de *Absidia*: *Tieghemiella*, *Mycocladus*, *Proabsidia*, *Pseudoabsidia*, *Lichtheimia* e *Protoabsidia*. Atualmente, o gênero *Absidia* está inserido em Cunninghamellaceae Naumov ex R.K. Benj. (KIRK et al., 2008)

Hoffmann et al. (2007) delimitaram as espécies de *Absidia* anteriormente classificadas, principalmente, com base critérios morfológicos, de acordo com a combinação de técnicas moleculares (numa abordagem filogenética), dados fisiológicos e micromorfológicos. Nesse estudo, as espécies conhecidas apresentaram crescimento diferenciado em diferentes temperaturas, sendo classificadas em três grupos: 1. Termotolerantes - com crescimento ótimo em

temperaturas superiores a entre 37 e 45 °C; 2. Mesofílicas - temperaturas de crescimento ótimas entre 25 e 34 °C; 3. Micoparasitas - espécies potencialmente micoparasíticas com temperaturas ótimas de crescimento até 20 °C. Hoffmann et al. (2007) reportaram a produção de zigosporos sem apêndices nos espécimes termotolerantes (diferentes dos espécimes de *Absidia*, que formam zigosporos cujas células suspensoras contém apêndices), sugerindo que *A. blakesleeana* Lendn., *A. corymbifera* (Cohn) Sacc. & Trotter., *A. hyalospora*. (Saito) Lendn e *A. ramosa* (Zopf) Lendn. fossem realocadas em *Mycocladus*. Posteriormente às alterações inferidas por Hoffmann et al. (2007), e, objetivando elucidar as relações filogenéticas, bem como a posição taxonômica de alguns espécimes de *Mycocladus*, Hoffmann et al. (2009) verificaram que *M. verticillatus* Beauverie não é termotolerante e produz zigosporângios que apresentam células suspensoras portando apêndices e parede zigosporangial ornamentada, com escalas ou tubérculos, referidas para *Lentamyces parricida* (Renner & Muskat ex Hesselt. & J.J. Ellis) Kerst. Hoffm. & K. Voigt. Consequentemente, Hoffmann et al. (2009) reclassificaram as espécies termotolerantes que estavam em *Mycocladus*, alocando-as no gênero *Lichtheimia* Vuill., que abrange *L. blakesleeana* (Lendn.) Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt, *L. brasiliensis* A.L. Santiago, Lima & Oliveira *L. corymbifera*, *L. hyalospora* (Saito) Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt, *L. ornata* (A.K. Sarbhoy), *L. ramosa* (Zopf) Vuill. e *Lichtheimia sphaerocystis* A. Alastruey-Izquierdo.

Morfologicamente, as principais características de *Absidia* são: 1. Esporangióforos eretos, simples ou ramificados, tipicamente surgindo ao longo de estolões (solitários ou em cachos) e comumente contendo um septo abaixo de esporângios apofisados e piriformes, com parede deliquescente; 2. Columelas geralmente variadas em forma, podendo exibir de uma a três projeções apicais que podem apresentar ou não uma extremidade bulbosa; 3. Zigosporos são formados a partir de células suspensoras opostas mais ou menos iguais e adornadas com apêndices (BENNY et al., 2014). Atualmente, 34 espécies de *Absidia* são aceitas (www.speciesfungorum.org), dentre as quais dez foram isoladas no Brasil (FLORA DO BRASIL, 2020), incluindo *A. caatinguensis* D.X. Lima & A.L. Santiago (ARIYAWANSA et al., 2015), *A. cornuta* D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago, *A. multispora* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al., 2020), *A. pernambucoensis* D.X. Lima, C.M. Souza-Motta & A.L. Santiago (LIMA et al.,

2020), *A. saloaensis* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al., 2020) e *A. bonitoensis* C.L.Lima (LMA et al., 2021), isoladas de Mata Atlântica e de brejos de altitude, em Pernambuco.

2.3.2 *Backusella* Hesselt. & J.J. Ellis

Descrito por Ellis & Hesseltine (1969), *Backusella* foi criado para acomodar *B. circina* J.J. Ellis & Hesselt., sendo as espécies deste gênero caracterizadas por produzirem esporangióforos portando esporângios e esporangíolos (uni ou multiesporados), além de esporangíolos simpodialmente ramificados que podem surgir diretamente do meio de cultura (Benny & Benjamin, 1975). Em seguida, Von Arx (1970) classificou espécies de *Backusella*, em Choanephoraceae J. Schröt. e em Thamnidaceae Fitzp., e Pidoplichko & Milko (1971) transferiram *Thamnidium ctenidium* Durrell & M. Fleming para *Backusella*, bem como todas as espécies até então descritas como *Backusella* em Thamnidaceae, por produzirem esporangíolos uni ou multiesporados. Benny & Benjamin (1975) agruparam, em *Backusella*, *B. circina* J.J. Ellis & Hesselt., *B. ctenidia* (Durrell & M. Fleming) Pidopl. & Milko ex Benny & R.K. Benj. e *B. lamprospora* (Lendn.) Benny & R.K. Benj., por produzirem simultaneamente esporângios e esporangíolos, uni e/ou multiesporados. Revisando a ordem Mucorales, Walther et al. (2013), a partir de um estudo utilizando sequências LSU e ITS do rDNA, decidiram transferir todas as espécies de *Mucor* com esporangióforos transitoriamente recurvados, quando jovens, para *Backusella*. Urquhart et al. (2020) isolaram e descreveram 10 novas espécies de *Backusella* na Austrália. Assim, esse gênero atualmente compreende vinte e cinco espécies: *B. azygospora* T.R.L. Cordeiro, Hyang B. Lee & A.L. Santiago, *B. circina* J.J. Ellis & Hesselt., *B. constricta*, *B. gigacellularis* J.I. Souza, Pires-Zottar. & Harakava, *B. grandis* (A.K. Sarbhoy) Walther & de Hoog, *B. granulispota* L.S. Loh & Kuthub., *B. indica* (Baijal e B.S. Mehrotra) Walther & de Hoog, *B. johorensis* L.S. Loh, Nawawi e Kuthub., *B. lamprospora* (Lendn.) Benny & RK Benj., *B. locustae* Hyang B. Lee, SH Lee e T.T.T. Nguyen, *B. oblongispota* (Naumov) Walther & de Hoog, *B. oblongieliptica* (H. Nagan., Hirahara & Seshita ex Pidopl. & Milko) Walther & de Hoog, *B. recurva* (E.E. Butler) Walther & de Hoo, *B. tuberculispota* (Schipper) Walther & de Hoog e *B. variabilis* (AK Sarbhoy) Walther & de

Hoog, *B. australiensis* Urquhart & Douch., *B. liffmaniae* Urquhart & Douch., *B. luteola* Urquhart & Douch., *B. macrospora* Urquhart & Douch., *B. mclennaniae* Urquhart & Douch., *B. morwellensis* Urquhart & Douch., *B. parvicylindrica* Urquhart & Douch., *B. psychrophila* Urquhart & Douch., *B. tarrabulga* Urquhart & Douch., *B. westae* Urquhart & Douch., (URQUHART et al., 2020). No entanto, genealogias multigênicas dos Mucorales resultaram em um clado bem estabelecido e apoiado que suporta o estabelecimento da família monogênica Backusellaceae (HOFFMANN et al., 2013).

Espécies de *Backusella* são comumente isoladas do solo, serapilheira e detritos de plantas (ELLIS; HESSELTINE, 1969; BENNY; BENJAMIN, 1975; DE SOUZA et al., 2011; HOFFMANN et al., 2013; WALTHER et al., 2013), bem como de esterco de roedores, como camundongos e ratos onívoros (BENNY, 2014). Para o Brasil, foram registradas apenas *B. lamprospora* (DE SOUZA et al., 2011; SANTIAGO et al., 2011), *B. gigacellularis* (DE SOUZA et al., 2014), *B. constricta* (LIMA et al., 2016) e *B. azygospora* (CROUS et al., 2019), todas isoladas de solo.

2.3.3 *Cunninghamella* Matr.

Espécies de *Cunninghamella* Matrouch (1903) têm sido frequentemente isolados do solo, grãos estocados e outros substratos (ZHENG et al., 2001; HYDE et al., 2016; ALVES et al., 2017; DE SOUZA 2019). As espécies desse gênero caracterizam-se por produzirem esporóforos eretos com ramificações em vários padrões: verticiladas, pseudoverticiladas ou de comprimentos diferentes em um mesmo esporóforo, algumas vezes ramificando de modo sucessivo. Os esporângios são uni-esporados, formados isoladamente, em esterigmas, produzidos em toda a região superior da vesícula unicelular, variando em forma, sendo principalmente globosos, subglobosos a obovóides, lisos a fortemente equinulados, hialinos a castanhos (ZHENG; CHEN et al., 2001). Embora a maioria das espécies seja sapróbia, algumas podem ser parasitas facultativas de seres humanos, principalmente imunocomprometidos (YU et al., 2015).

Desde a descrição inicial de Matrouch (1903), algumas espécies foram adicionadas ao gênero *Cunninghamella* e foi apresentada uma chave reconhecendo seis espécies: *C. albina* (Sacc.) Matr., *C. microspora* (Rivolta)

Matr., *C. elegans* Lendn., *C. ramosa* Pišpek, *C. blakesleeana* Lendn. e *C. echinulata* (Thaxt.) Thaxt. Em seguida, Alcorn & Naumov (1939) reconheceu 12 espécies de *Cunninghamella*, embora Cutter (1946) tenha mantido em sua monografia apenas *C. echinulata*, *C. bainieri* Naumov, *C. blakesleeana*, *C. bertholletiae* e *C. elegans*. Alguns anos depois, Milko & Beljakova (1967) mantiveram apenas quatro espécies no gênero: *C. echinulata*, *C. homothallica* Komin. & Tubaki, *C. elegans* e *C. blakesleeana*. Dois anos depois, Samsom (1969) reconheceu sete espécies dentro deste gênero: *C. echinulata*, *C. blakesleeana*, *C. vesiculosa* P.C. Misra, *C. homothallica*, *C. phaeospora* Boedijn e *C. polymorpha* Pišpek e *C. elegans*. No entanto, a mais completa revisão do gênero, que envolveu estudos morfofisiológicos e genéticos, foi fornecida por Zheng & Chen (2001), que descreveram: *C. bertholletiae*, *C. binariae*, *C. blakesleeana*, *C. clavata*, *C. echinulata* var. *echinulata*, *C. echinulata* var. *antarctica*, *C. echinulata* var. *nodosa*, *C. echinulata* var. *verticillata*, *C. elegans*, *C. homothallica*, *C. intermedia*, *C. multiverticillata*, *C. phaeospora*, *C. septata* e *C. vesiculosa*, reconhecendo alguns dos táxons supracitados e descreveram algumas espécies novas.

Tradicionalmente, os autores se baseavam, para identificação de *Cunninghamella*, apenas em critérios morfológicos macroscópicos, como coloração e textura das colônias, e microscópicos, como os padrões de ramificação dos esporóforos, forma e dimensão das vesículas, forma, dimensão e cor dos esporângios, além da presença ou ausência e o comprimento dos espinhos desses esporângios (BAIJAL; MEHROTRA, 1980). Com a finalidade de estabelecer critérios mais aceitáveis para a separação das espécies de *Cunninghamella*, Lunn & Shipton (1983), ao estudarem as características esporangiais de 35 isolados, concluíram que alguns critérios anteriormente mencionados não poderiam ser usados para classificação satisfatória das espécies desse gênero, e que os critérios utilizados na chave para separação dentro de *Cunninghamella* deveriam ser: homotalismo e heterotalismo, forma das vesículas e características dos espinhos nos esporângios. Na última revisão morfológica e genética do gênero, Zheng & Chen (2001) consideraram muitas características morfológicas, até então descartadas por Lunn & Shipton (1983), importantes para a diferenciação das diferentes espécies dentro do gênero, como a cor das colônias, o padrão de ramificação dos esporóforos a forma e dimensão das vesículas e dos esporângios, além do homo ou heterotalismo.

A classificação do gênero inclui as espécies: *C. binariae* R.Y. Zheng, *C. bertholletiae*, *C. blakesleeana*, *C. clavata* R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *C. echinulata*, *C. echinulata* var. *antarctica* (Caretta & Piont.) R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *C. echinulata* var. *echinulata* (Thaxt.) Thaxt. ex Blakeslee, *C. echinulata* var. *nodosa* R.Y. Zheng, *C. echinulata* var. *verticillata* (F.S. Paine) R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *C. elegans*, *C. gigacellularis* A.L. Santiago, C.L. Lima & C.A.F. de Souza (HYDE et al, 2016), *C. homothallica*, *C. intermedia* K.B. Deshp. & Mantri, *C. multiverticillata* R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *C. phaeospora*, *C. septata* R.Y. Zheng e *C. vesiculosa*. Para o Brasil, foram registradas apenas nove espécies e três variedades deste gênero: *C. bainieri*, (TRUFEM, 1981c), *C. bertholletiae* (ALVES, 2016; LIMA, 2018; DE SOUZA, 2019), *C. blakesleeana* (OLIVEIRA et al., 2013; ALVES, 2016; LIMA, 2018), *C. clavata* (ALVES et al., 2017; LIMA, 2018), *C. echinulata* var. *antactica* (DE SOUZA, 2019), *C. echinulata* var. *echinulata* (SANTIAGO et al., 2013; LIMA, 2018), *C. echinulata* var. *verticilata* (SANTIAGO et al., 2013c), *C. elegans* (ALVES, 2016; DE SOUZA, 2019), *C. gigacellularis* (HYDE et al., 2016; DE SOUZA, 2019), *C. phaeospora* (SANTOS et al., 1998) e *C. vesiculosa* (OLIVEIRA et al., 2013).

2.3.4 *Gongronella* Ribaldi

Sugerido pela primeira vez por Ribaldi (1952), *Gongronella* acomodava unicamente *G. urceolifera* Ribaldi. Após três anos, Peyronel & Dal vesco (1955) transferiram *Absidia butleri* (Lendn.) para *Gongronella*, tendo como justificativa a presença de uma apófise bem marcante, concluindo que *G. urceolifera* e *G. butleri* (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco são sinônimas. Em seguida, Hesseltine & Ellis (1964) adicionaram mais uma espécie, *G. lacrispora* Hesseltine & Ellis, a esse gênero.

Gongronella está inserido na família *Cunninghamellaceae* e inclui espécies caracterizadas por constituírem colônias de crescimento relativamente lento em meios de cultura, com estolões, rizóides com desenvolvimento limitado e esporangióforos eretos ou frequentemente dispostos em ramificações levemente circinadas. Os esporângios exibem uma apófise globosa ou subglobosa, mas nunca se tornando piriformes, além de serem pequenos e com

parede deliquescente. Os esporangiosporos são unicelulares, hialinos, lisos e comumente reniformes e/ou elípticos (HESSELTINE; ELLIS, 1964; ADAMČÍK et al., 2015; TIBPROMMA et al., 2017). As células suspensoras dos zigospórangios são desprovidas de apêndices e se postam, ou não, paralelas umas às outras (UPADHYAY, 1969).

A classificação do gênero, até 2015, incluía apenas duas espécies: *G. butleri* e *lacrispora*. A primeira apresenta esporangióforos eretos e não circinados. Os esporangióforos são septados e os esporangiósporos ovais para reniformes. *Gongronella lacrispora* é caracterizada por possuir esporangióforos circinados em esporangióforos frágeis. Os esporangióforos são geralmente septados, próximos à apófise, e os esporangiósporos apresentam a forma de lágrima (UPADHYAY, 1969). Posteriormente, nove novas espécies foram descritas (ADAMČÍK et al., 2015; ARIYAWANSA et al., 2015; LI et al., 2016; TIBPROMMA et al., 2017; DONG et al., 2019; ZHANG et al. 2019; MARTINS et al., 2020; CROUS et al., 2020; FREITAS et al., 2020), incluindo *G. brasiliensis* C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago e *G. pedratalhadensis*, reportadas no solo de um brejo de altitude de Pernambuco e de uma área de Mata Atlântica, em Alagoas, respectivamente.

Os espécimes de *Gongronella* têm sido tradicionalmente identificados com base em características morfofisiológicas. No entanto, nos últimos anos, técnicas moleculares têm auxiliado a delimitação das espécies do gênero, contribuindo com a descrição de novos táxons e a classificação desse grupo de fungos (ADAMČÍK et al., 2015; ARIYAWANSA et al., 2015; TIBPROMMA et al., 2017; DOILOM et al., 2020). O gênero abrange onze espécies: *G. brasiliensis*, *G. butleri*, *G. guangdongensis* F. Liu, T.T. Liu & L. Cai, *G. koreana* Hyang B. Lee & T.T.T. Nguyen, *G. lacrispora*, *G. orasabula* Hyang B. Lee, K. Voigt, P.M. Kirk & T.T.T. Nguyen, *G. zunyiensis* C.B. Dong, Z.Y. Zhang, W.H. Chen, Y.F. Han, J.Z. Huang & Z.Q. Liang, *G. eborensis* M.R. Martins, C. Santos, C. Soares, C. Santos & N. Lima, *G. namwonensis* Hyang B. Lee, A.L. Santiago & H.J. Lim., *G. pedratalhadensis* L.W.S. Freitas, H.B. Lee & A.L. Santiago e *G. sichuanensis* Zhi Y. Zhang, Y.F. Han, W.H. Chen & Z.Q. Liang. Para o Brasil, apenas foram isoladas *G. lacrispora* (UPADHYAY, 1969), *G. brasiliensis* (TIBPROMMA et al., 2017), *G. butleri* (ALVES, 2016; LIMA, 2018; DE SOUZA, 2019) e *G. pedratalhadensis* (FREITAS et al., 2020).

2.3.5 *Mucor* Fresen.

Mucor é o gênero mais representativo em número de espécies dentro de Mucoromycota, sendo estimadas aproximadamente 90 espécies válidas (WIJAYAWARDENE et al., 2020). Schipper (1973, 1975, 1976, 1978) descreveu e ilustrou 39 espécies, quatro variedades e 11 formas. Em seguida, outros 34 táxons foram propostos (MEHROTRA; MEHROTRA, 1978; MIRZA et al., 1979; SUBRAHMANYAM, 1983; CHEN; ZHENG, 1986; SCHIPPER, 1989; SCHIPPER; SAMSON, 1994; WATANABE, 1994; ZALAR et al., 1997; PEI, 2000; ALVES et al., 2002; JACOBS; BOTHA, 2008; ÁLVAREZ et al., 2011; HERMET et al., 2012; MADDEN et al., 2012; LI et al., 2016; VOGLMAYR; CLÉMENÇON, 2016; LIMA et al., 2017; TIBPROMMA et al., 2017; CROUS et al., 2018; DE SOUZA et al., 2018; LIMA et al., 2018; WANASINGHE et al., 2018; WAGNER et al., 2019; CHAI et al., 2019; PHOOKAMSAK et al., 2019).

Estudos moleculares demonstraram que *Mucor* é polifilético (O'DONNELL et al., 2001; KWASNA et al., 2006; JACOBS; BOTHA, 2008; BUDZISZEWSKA; PIATKOWSKA, 2010; ÁLVAREZ et al., 2011) e Walther et al. (2013) reportaram que, embora a polifilia de *Mucor* seja indiscutível, algumas linhagens dentro do gênero apresentam posições filogenéticas inconclusivas. De acordo com esses autores, combinações de características morfológicas, como o tamanho do esporângio e o padrão de ramificação do esporangióforo, são comumente compartilhadas por algumas dessas linhagens, sugerindo que o gênero fosse dividido em seis grupos: *M. mucedo* L., *M. flavus*., *M. hiemalis*, *M. racemosus*, *M. amphibiorum*, *M. recurvus*.

Espécies de *Mucor* produzem esporangióforos simples ou ramificados, surgindo diretamente do substrato, portando esporângios não apofisados, globosos e/ou subglobosos. Poucas espécies apresentam rizóides (ex: *M. luteus* Linnem. ex Wrzosek) e estolões não são produzidos (BENNY et al., 2014). Trata-se de um gênero cosmopolita, sendo a maioria das espécies descritas como sapróbias, comumente isoladas de solo, grãos estocados, vegetais em decomposição e excrementos de herbívoros (HESSELTINE; ELLIS, 1973; TRUFEM, 1981a; ALEXOPOULOS et al., 1996; VIRIATO, 1996). Alguns

táxons desse gênero têm sido descritos como agentes causais de micoses cutâneas em seres humanos (ÁLVAREZ et al., 2011).

Várias espécies de *Mucor* apresentam importância biotecnológica, sendo utilizadas em processos industriais e na elaboração de diferentes alimentos asiáticos (ABE et al., 2004; MILLATI et al., 2005). Em contraste, membros desse gênero, depois de *Rhizopus*, são considerados os agentes de maior relevância clínica dentre os Mucorales, tendo *M. circinelloides*, *M. indicus* Lendn., *M. irregularis* Stchigel, Cano, Guarro & Ed. Álvarez, *M. racemosus* Bull. e *M. ramosissimus* Samouts. sendo reportadas como causadoras de infecções em humanos (DE HOOG et al., 2000; RIBES et al., 2000; ÁLVAREZ et al., 2009; LU et al., 2013).

A partir do início da década de 2000, novas espécies de *Mucor* foram propostas, com base em estudos morfológicos e filogenéticos, elevando o conhecimento da taxonomia e distribuição desse gênero (PEI, 2000; ALVES, et al., 2002; JACOBS; BOTHA, 2008; HERMET, et al., 2012; MADDEN, et al., 2012; LI et al., 2016; VOGLMAYR; CLÉMENÇON, 2016; LI et al., 2016; LIMA et al., 2018; CROUS et al., 2018; LIMA et al., 2020). Wagner et al. (2020) revisou as espécies do complexo *M. circinelloides* com base na morfologia e filogenia multi-locus, revelando maior diversidade de espécies do que o conhecido antes, com a descrição de cinco espécies novas: *M. amethystinus* L. Wagner & G. Walther, *M. atramentarius* L. Wagner & G. Walther, *M. pseudolusitanicus* L. Wagner & G. Walther, *M. pseudocircinelloides* L. Wagner & G. e *M. variicolumellatus* L. Wagner & G. Walthe Walther. Para o Brasil, foram reportadas trinta e oito espécies de *Mucor*, incluindo seis novas espécies: *M. merdicola* C.A. de Souza & A.L. Santiago, *M. caatinguensis* A.L. Santiago, C.A. de Souza & D.X. Lima (LIMA et al., 2016), *M. pernambucoensis* (LIMA et al., 2018), *M. septatum* C.A. de Souza, T.R. Cordeiro & A.L. Santiago (DE SOUZA et al., 2018), *M. souzae* (CROUS et al., 2018) e *Mucor merdophylus* D.X. Lima, R.W. Barreto, H.B. Lee & A.L. Santiago (Lima et al., 2020).

2.3.6 *Rhizopus* Ehrenb.

Espécies de *Rhizopus* Ehrenb. caracterizam-se morfológicamente pela formação de esporangióforos que portam esporângios multiesporados, com parede evanescente e apófise discreta, podendo surgir diretamente do micélio

aéreo ou de estolões, com ou sem rizóides opostos. Os zigosporângios apresentam paredes ornamentadas e células suspensoras desprovidas de apêndices (ZHENG; CHEN, 1998; ZHENG et al., 2007).

Rhizopus foi revisado em dois estudos conduzidos por Schipper (1984) e Schipper & Stalpers (1984). Os autores classificaram as espécies desse nos grupos: *Rhizopus oryzae* (com uma espécie.), *R. stolonifer* (com duas espécies e duas variedades) e *R. microsporus* Tiegh. (com duas espécies e quatro variedades), sendo a temperatura de crescimento, o comprimento dos esporangióforos e o tamanho dos esporângios, características morfológicas primordiais a serem consideradas para a identificação dos espécimes. *Rhizopus arrhizus* A. Fish. tem mais de 30 sinônimos (www.speciesfungorum.org) descritos, em maioria a partir de alimentos ou bebidas alcoólicas produzidas na China, Indonésia e Japão (HESSELTINE, 1965). Zheng et al. (2007) revisaram o gênero e descreveram dez espécies e nove variedades: *R. americanus* (Hesselt. & J.J. Ellis) R.Y. Zheng, G.Q. Chen & X.Y. Liu, *R. arrhizus* var. *arrhizus*, *R. arrhizus* var. *delemar* (Boidin ex Wehmer & Hanzawa) J.J. Ellis, *R. arrhizus* var. *tonkinensis* (Vuill.) R.Y. Zheng & X.Y. Liu, *R. caespitosus* Schipper & Samson, *R. homothallicus* Hesselt. & J.J. Ellis, *R. microsporus* var. *azygosporus* (G.F. Yuan & S.C. Jong) Schwertz, Villaume, Decaris, Percebois & Mejean, *R. microsporus* var. *chinensis* (Saito) Schipper & Stalpers, *R. microsporus* var. *microsporus* Tiegh., *R. microsporus* var. *oligosporus* (Saito) Schipper & Stalpers, *R. microsporus* var. *rhizopodiformis* (Cohn) Schipper & Stalpers, *R. microsporus* var. *tuberosus* R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *R. niveus* M. Yamaz., *R. reflexus* Bainier, *R. schipperae* Weitzman, McGough, Rinaldi & Della, *R. sexualis* (G. Sm.) Callen e *R. stolonifer*. Posteriormente, Dolatabadi et al. (2014), após um estudo baseado na morfologia, fisiologia, genética molecular e em espectrometria de massa (MALDI-ToF), concluíram que todas as variedades de *R. microsporus* são sinônimas e devem ser citadas como *R. microsporus* Tiegh. Em 2016, uma nova espécie, *R. koreanus* Hyang B. Lee & T.T.T. Nguyen, foi descrita na Coreia do Sul (LI et al., 2016).

Representantes deste gênero têm sido citados em diversas áreas do conhecimento, tornando-se intimamente relacionados com a vida diária do ser humano. Na indústria de alimentos, espécimes de *Rhizopus* são considerados agentes importantes na fermentação de alimentos asiáticos (XUEFENG et al.,

2011). Na agricultura, espécimes de *Rhizopus* foram reportados como agentes causais de deterioração de legumes e frutas no campo, em trânsito ou armazenadas (AKINMUSIRE, 2011). Na medicina, espécimes são utilizados para a produção de medicamentos (NOUT; KIERS, 2005; ZHENG et al., 2007).

2.3.7 *Syncephalastrum* J. Schröt.

Syncephalastrum abriga espécimes que formam merosporângios multiesporados, produzidos em uma vesícula localizada no ápice de merosporangióforos, podendo ser simples ou simpodialmente ramificados (MISRA, 1975). Os zigosporângios assemelham-se aos produzidos por espécies de *Mucor*, em formação e aparência, com células suspensoras mais ou menos iguais (BENJAMIN, 1959).

Após a descrição por J. Schröt. (1886), *Syncephalastrum* abrangia aproximadamente 10 espécies e cinco variedades. Contudo, de acordo com Benjamin (1959), variações no diâmetro da vesícula, a presença ou ausência de estolões, a cor da colônia, as dimensões dos merosporângios e a quantidade dos merosporos em cada merosporângio, bem como a forma e o tamanho dos últimos não têm valor taxonômico para a diferenciação de espécies. Na época, o autor sinonimizou todas as espécies descritas com *S. racemosum* Cohn ex J. Schröt. Entretanto, Vuillemin, em 1922, descreveu *S. rhizopi* Vuill., e Zheng et al. (1988) descreveram uma nova espécie, *S. monosporum* R.Y. Zheng, G.Q. Chen & F.M. Hu, que apresenta merosporângio uniesporado. De acordo com o Species Fungorum (2018), três espécies são válidas: *S. monosporum* R.Y. Zheng, G.Q. Chen & F.M. Hu, *S. racemosum* Cohn ex J. Schröt. e *S. rhizopi* Vuill. Espécimes de *Syncephalastrum* são comumente isolados de solo (SANTIAGO; SOUZAMOTTA, 2006; SANTIAGO et al., 2013).

2.4 O SEMIÁRIDO

O semiárido do Nordeste brasileiro compreende uma área de 982.563,3 km² e comporta 1.133 municípios com, aproximadamente, 22 milhões de habitantes, segundo as estimativas de Silva et al. (2013). O Nordeste do Brasil, com 1,56 milhão de km (18,2% do território nacional), comporta a maior parte

do semiárido, abrangendo os estados do Alagoas, Bahia, Ceará, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe. O semiárido está ainda presente em parte do norte do Estado de Minas Gerais (região Sudeste). Áreas do semiárido brasileiro exibem temperaturas médias elevadas, comumente superiores aos 24°C, ultrapassando 26°C na depressão sanfranciscana e no vale do rio Piranhas. As precipitações são escassas, entre 280 a 800 mm/ano, embora nos brejos de altitude e serras úmidas a pluviosidade possa exceder esses valores. As chuvas concentram-se em três ou quatro meses do ano, variando de acordo com as condições da dinâmica atmosférica. Devido a isso, muitos organismos se adaptaram ao longo de milhares de anos a essas condições adversas (ARAÚJO, 2011). Os solos de áreas semiáridas são classificados em quatro ordens: Latossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos, sendo, em geral, de baixo potencial produtivo, seja por limitações de fertilidade e de profundidade do perfil, seja por limitações de drenagem e pelos elevados teores de sódio (Na) (CUNHA et al., 2008; SALCEDO; SAMPAIO, 2008).

Dentro do semiárido, o domínio Caatinga é predominante, com 62% da vegetação nativa, com graus diferenciados de conservação. Áreas de Caatinga *sensu stricto* correspondendo à, aproximadamente, 36% do domínio, seguidas por áreas de transição ecológica (18%) e encaves de Cerrado e florestas úmidas, ocupando 8% da extensão territorial (MMA, 2011). Na caatinga, a flora é composta por árvores e arbustos caracterizados pela rusticidade, tolerância e adaptação às condições climáticas da região (GIULIETTI et al., 2006). Em tempos de maior aridez, as folhas caem e apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos permanecem na paisagem seca, fazendo com que sua composição florística não permaneça uniforme, mas variando de acordo com o volume das precipitações, da qualidade do solo, da rede hidrográfica e da ação antrópica (GIULIETTI et al., 2002, 2006). Em decorrência das condições ambientais do semiárido, grande parte das plantas desenvolveram mecanismos de defesa que as possibilitam passar por essa escassez como: espinhos, microfilia, cutículas impermeáveis, sistemas de armazenamento de água em raízes e caules modificados e mecanismos fisiológicos adaptados, a exemplo do fechamento dos estômatos nas horas mais quentes do dia, que permitem as classificar como plantas xerófilas (GIULIETTI et al., 2006).

As áreas de transição são denominadas faixas de áreas intermediárias, entre os domínios morfoclimáticos, que possuem um conjunto de condições ecológicas

que as individualizam, impossibilitando sua classificação como domínios morfoclimáticos. Apresentam características físicas de dois ou mais domínios morfoclimáticos, ou seja, mesclam ou agrupam características físicas dos domínios morfoclimáticos circundantes, sendo importantes ambientes ecótonos, resultado dos contatos entre os diferentes biomas. No Brasil, encontrase três principais áreas de transição: a Mata dos Cocais, o Agreste, e o Complexo do Pantanal. No semiárido, o Agreste apresenta-se como importante área de transição entre a Zona da Mata, a leste, com clima tropical litorâneo úmido e mata Tropical Atlântica, e o Sertão, a oeste, com presença do domínio Caatinga. O relevo é marcado pela presença do Planalto da Borborema (AB' SABER, 2006).

O cerrado é outro bioma que ocupa um espaço importante no semiárido nordestino, localizado predominantemente na porção oeste da região nordeste, incluindo parcialmente territórios dos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e Minas Gerais (BUAINAIN & GARCIA, 2015). O cerrado nordestino ocupa aproximadamente 645 mil km² (64,5 milhões de hectares), representando 7,6% do território brasileiro (IBGE, 2018). Caracterizado por vegetação de clima seco, com fisionomias variadas, que vão desde campos limpos desprovidos de vegetação lenhosa até o cerradão, uma formação arbórea densa, que no Ceará ocorre na parte nordeste da chapada do Araripe e na cuesta da Ibiapaba, permeado por matas ciliares e veredas, que acompanham os cursos d'água. Constituído por árvores relativamente baixas (até vinte metros), distribuídas entre arbustos e gramíneas (FERNANDES & BEZERRA, 1990).

2.5 BREJOS DE ALTITUDE

Embora Andrade-Lima (1982) e Veloso *et al.* (1991) considerem os brejos nordestinos como disjunções de Mata Atlântica dentro dos domínios da Caatinga, alguns estudos tem mostrado que os brejos de altitude nordestinos não estão intimamente relacionados ao domínio Mata Atlântica. Santos *et al.* (2007) concluíram que a vegetação de plantas lenhosas de duas áreas de Mata Atlântica do centro do Recife tem mais semelhança com a vegetação da Amazônia do que com a dos brejos de altitude nordestinos, enquanto os resultados de Lima *et al.* (2018) mostraram que a assembleia de fungos poroides (Filo Basidiomycota) da

Mata Atlântica de Pernambuco também é mais similar à da Amazônia do que à dos brejos de altitude de Pernambuco. Esses resultados corroboram os de Silva e Castaleti (2003), que colocaram os brejos nordestinos como um ecorregião distinta da Mata Atlântica. Para Lins (2017), os brejos são definidos como “áreas de exceção” dentro do semiárido. Os encaves da floresta da Caatinga estão localizados nas encostas dos planaltos com altitude variando de 600 a 1100 m, e, por isso, a pluviosidade pode ultrapassar 1200 mm por ano (Tabarelli & Santos, 2004). Esses encaves florestais abrigam espécies endêmicas de vários grupos de organismos (Andrade-Lima, 1982; Borges-Nojosa e Caramaschi, 2003; Silva et al., 2003).

Os brejos de altitude constituem zonas fisiográficas de maior importância para o suporte econômico das áreas semiáridas do Nordeste do Brasil. A predominância do extrativismo de madeira nessas áreas, como principal fonte de energia, tanto para as indústrias de gesso como para a população, coloca em risco esse ecossistema ainda tão pouco conhecido. Por outro lado, os brejos são ricos em conhecimento popular tradicional, tanto em relação às plantas medicinais fitoterápicas, como sobre a cultura alimentar, o que reforça a necessidade da busca por alternativas para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade desses ecossistemas (COUTINHO, 2006). Atualmente, são conhecidos 43 brejos de altitude no nordeste do Brasil, distribuídos nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, cobrindo uma área de, pelo menos, 18.589 km². Pernambuco e Paraíba abrigam 31 brejos, distribuídos em 28 municípios do agreste e sertão. Os brejos de altitude de Pernambuco localizam-se nos municípios de Agrestina, Águas Belas, Arcoverde, Bezerros, Belo Jardim, Buíque, Camocim de São Felix, Caruaru, Exu, Floresta, Gravatá, Moxotó, Pesqueira, Poção, São José, Sanharó, Tacaratu, Triunfo (VASCONCELOSSOBRINHO, 1970).

Os estudos direcionados ao conhecimento da diversidade dos Mucorales nos brejos de altitude de Pernambuco ainda encontram-se em fase inicial e, até o presente, 34 espécies foram reportadas em solo de brejos de altitude, incluindo sete espécies novas (SANTIAGO et al., 2014; HYDE et al., 2016; TIBPROMMA et al., 2017; LIMA et al., 2018, FLORA DO BRASIL 2020; DE SOUZA et al., 2018; CROUS et al., 2018; CROUS et al., 2019; CORDEIRO et al., 2020; LIMA et al., 2021) e quatro primeiras ocorrências para o Brasil

(SANTIAGO; MAIA, 2010; ALVES et al., 2017; DE SOUZA et al., 2020; ALVES et al., 2021), o que provavelmente não reflete a real riqueza desse grupo de fungos nessas florestas úmidas componentes do semiárido pernambucano.

2.6 MUCORALES ISOLADOS EM BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO

Tendo em vista que, atualmente, apenas 44 espécies de Mucorales foram descritas de amostras de solo do semiárido (SANTIAGO; SOUZA-MOTTA, 2006; SANTIAGO; MAIA, 2010; SANTIAGO et al., 2013; ARIYAWANSA et al., 2015; LIMA et al., 2015; DE SOUZA et al., 2016; LI et al., 2016; FLORA DO BRASIL 2020; DE SOUZA et al., 2020; LIMA et al., 2020) e que vem sendo crescente o aumento da degradação e fragmentação desses ecossistemas, tornase importante destacar alguns dos trabalhos mais relevantes com fungos zigospóricos em solos de brejos de altitude no semiárido de Pernambuco.

O trabalho que dá início aos estudos dos fungos zigospóricos em brejos de altitude foi desenvolvido por Santiago et al. (2013) e faz referência a coletas de solo no brejo de altitude na cidade de Triunfo-PE, de onde foram isoladas *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Cunninghamella echinulata* var. *echinulata*, *C. echinulata* var. *verticillata*, *C. phaeospora*, *Lichtheimia hyalospora*, *Mucor luteus* Linnem., *M. prayagensis* BS Mehrotra & Nand ex Schipper e *M. subtilissimus* Oudem.

Alves (2016) reportou a diversidade de Mucorales nos brejos de altitude da Serra dos Cavalos, Serra Negra e Serra do Jenipapo, localizados nas cidades de Caruaru, Bezerros e Sanharó, respectivamente, em Pernambuco. Na ocasião, foram identificados, das amostras coletadas no Brejo da Serra dos Cavalos, 15 táxons de *Absidia*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus*, enquanto do solo Brejo de Jenipapo foram isolados 23 táxons desses gêneros. Do solo do Brejo de Serra Negra, 18 táxons de *Absidia*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia* e *Rhizopus* foram obtidos. Considerando os três brejos de altitude, *Absidia* foi mais representativo em relação ao número de espécies, seguido por *Cunninghamella* e *Mucor*.

Durante um levantamento de Mucorales em solos de do Brejo dos Cavalos, no município de Caruaru, em Pernambuco, Alves et al. (2017) isolaram,

de amostras de solo, *C. clavata*, sendo esse o segundo registro para o mundo dessa espécie, enquanto Lima (2018b), dos solos dos brejos de altitude da Serra de Bonito (município de Bonito) e Sítio da Palmeira (município de Camocim de São Félix), reportou 38 espécies de Mucorales distribuídas em nove gêneros: *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*, sendo *C. bertholletiae*, *Absidia* sp. 3 e *R. stolonifer* as espécies mais frequentes e abundantes nos solos estudados.

Lima et al. (2018a) isolaram e descreveram pela primeira vez *Mucor pernambucoensis* C.L. Lima, D.X. Lima & A.L. Santiago de amostras de solo coletadas na Serra de Bonito, município de Bonito, Pernambuco, enquanto de Souza et al. (2018) descreveram *M. septatum* C.A. de Souza, T.R. Cordeiro & A.L. Santiago, a partir de amostras de solo do Brejo da Serra do Bitury, Pernambuco. Em seguida *M. souzae* C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago foi isolada do solo do brejo de Triunfo, Pernambuco e descrita (Crous et al., 2018), enquanto *Backusella azygospora* T.R.L. Cordeiro, Hyang B. Lee & A.L. Santiago foi isolada no Brejo de Salóá, Pernambuco (CROUS et al., 2019). Lima et al. (2020) isolaram e descreveram, de uma área de brejo de altitude em Garanhuns, Pernambuco *Absidia cornuta* D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago. *Absidia multispora* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago e *A. saloaensis* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago foram isoladas em áreas de brejo de altitude, na Reserva Natural da Fazenda Brejo, Salóá, em Pernambuco, por Cordeiro et al. (2020), enquanto *A. bonitoensis* C.L. Lima foi isolada no Brejo de Bonito, também em Pernambuco (LIMA et al., 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREAS DE ESTUDO

As amostras de solo foram provenientes do solo dos brejos das Serra do Jardim, do Vento e do Benedito, pertencentes aos municípios de Agrestina, Belo Jardim e Gravatá, respectivamente.

3.1.1 Brejo da Serra do Jardim

O brejo da Serra do Jardim encontra-se no município de Agrestina ($08^{\circ}23'18''S$ $036^{\circ}00'30''W$), localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião brejo pernambucano do estado de Pernambuco, formado por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 m. O clima é seco e quente, sendo a temperatura média anual de $22^{\circ}C$ e a pluviosidade média de 784 mm/ano. A estação chuvosa inicia-se em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo adiantar-se até outubro (Rodrigues et al., 2000).

Figura 1- Aspecto do Brejo da Serra do Jardim, Agrestina-PE



3.1.2 Brejo da Serra do Vento

O Brejo da Serra do Vento localiza-se no município de Belo Jardim (08°14'30"S 036°22'09"W), a 184,9 Km de Recife, a 608 m de altitude, situado na microrregião Vale do Ipojuca, que apresenta precipitação média anual de 790 mm. O clima é tropical chuvoso com verão seco. O período chuvoso inicia-se nos meses de janeiro/fevereiro e termina em setembro/outubro. A temperatura média anual é de 22,1 °C e a pluviosidade de 660 mm/ano (Araújo filho et al., 2000). Foi verificado que essa área encontra-se fortemente antropizada, principalmente para construção de casas e para agricultura de família (observação pessoal da autora).

Figura 2 - Aspecto do Brejo da Serra do Vento, Belo Jardim-PE.



3.1.3 Brejo da Serra do Benedito

O Brejo da Serra do Benedito localiza-se no município de Gravatá (8°12'S, 35°32'W), a 85,5 Km de Recife, inserido microrregião do Vale do Ipojuca. O clima local é tropical com verão seco e a temperatura média anual é de 22 °C, com mínima chegando a 15 °C nos meses mais frios, enquanto, na época mais quente, a temperatura máxima pode chegar a 30 °C. A precipitação média anual é de 725 mm, com chuvas concentradas entre março e julho, sendo julho o mês de maior precipitação, com média de 108 mm (Siqueira-filho & Machado, 2001).

Figura 3 - Aspecto do Brejo da Serra do Benedito, Gravatá-PE.

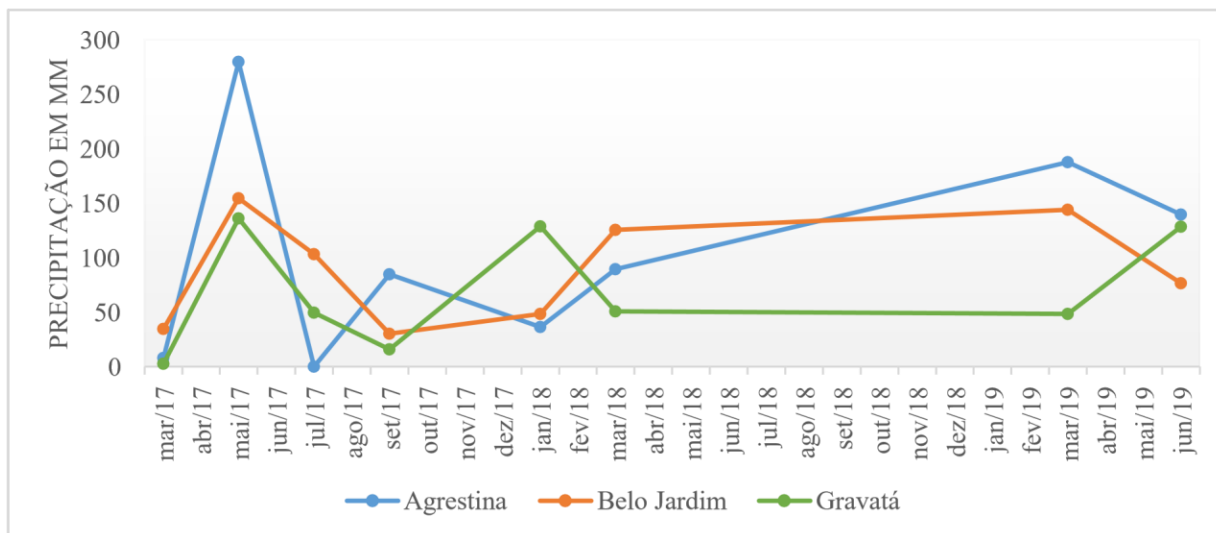


A cobertura vegetal encontrada em Agrestina, Belo jardim e Gravatá é própria dos brejos do agreste de Pernambuco, apresentando bastante similaridade e sendo dos tipos subcaducifólia e caducifólia. Entre as árvores endêmicas estão: *Minilkara dardanoi* Ducke, *Cauepia impressa* Prance, *C. pernambucencensis* Prance (Prance 1987; Pennington 1990) e *Chryptanthus zonatus* Beer (Siqueira-filho & Machado 2001), ocorrendo formações de transição entre floresta caducifólia e Caatinga hipoxerófila. Nas superfícies do solo, ocorrem os planossolos, medianamente profundos, fortemente drenados, podendo ser de ácidos a moderadamente ácidos, com fertilidade natural média, e ainda os podzólicos, que são profundos, apresentam textura argilosa e fertilidade natural de média a alta. Nas elevações, ocorrem os solos litólicos, que são rasos, de textura argilosa e fertilidade natural média e alta, com presença de afloramentos rochosos. Nos vales dos rios e riachos, ocorrem os planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, de textura média, argilosa e moderadamente ácidos (Rodrigues et al., 2008).

3.2 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos dos meses de coleta foram fornecidos pela administração do Instituto Agrônomo de Pernambuco IPA (Figura 4) (http://www.ipa.br/indice_pluv.php).

Figura 4 - Pluviosidade média mensal (mm) nos municípios Agrestina, Belo Jardim e Gravatá- PE, durante o período de coletas de solo.



3.3 COLETAS DE SOLO

Em 2017 (março, maio, julho e setembro), 2018 (janeiro e março) 2019 (março e Junho) foram realizadas expedições para coleta de solo em cada um dos brejos supracitados. Em cada área, foram demarcados aleatoriamente dois retângulos de 500 m² e, em cada retângulo, coletadas dez subamostras de solo a uma profundidade de 5 cm, respeitando-se a distância mínima de 10 m entre cada ponto de coleta, totalizando 20 subamostras de solo para cada área por expedição de coleta. As amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos e conservadas em caixas de isopor com gelo durante o transporte. No laboratório, as amostras foram processadas em até 24h, ocorrendo a homogeneização das dez subamostras de cada quadrante de coleta, originando duas amostras compostas por retângulo e quatro amostras compostas por área de coleta. No total, foram analisadas 96 amostras compostas de solo, considerando as oito coletas realizadas nos três brejos de altitude.

3.4 ISOLAMENTO, PURIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS TÁXONS DE MUCORALES

Para o isolamento dos espécimes, cinco mg de solo foram inoculadas no meio de cultura ágar germen de trigo (BENNY, 2008) adicionado de cloranfenicol (100 mg.L⁻¹), contido em placas de Petri, em triplicada. O crescimento das colônias foi acompanhado por 96 h à temperatura ambiente (28

+ 2 °C). Para a purificação, fragmentos de cada colônia foram transferidos para o meio de cultura ágar gérmem de trigo adicionado de cloranfenicol (100 mg.L⁻¹) em placas de Petri e, depois de confirmada a pureza, transferido para tubo de ensaio contendo o meio BDA (LACAZ et al., 2002).

A identificação dos espécimes foi realizada pela observação das características macroscópicas (coloração e aspecto) e microscópicas (microestruturas), com base nas descrições de Benjamin e Hesseltine (1957), Benjamin (1959), Upadhyay (1969), Schipper (1978, 1984, 1990), Benny (1982), Zheng e Chen (2001), Hoffmann et al. (2007) e Zheng et al. (2007).

3.5 CRESCIMENTO, DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES NOVAS, PRIMEIRAS OCORRÊNCIAS PARA O NORDESTE DO BRASIL E DADOS DE DISTRIBUIÇÃO

As espécies novas, isoladas no presente estudo, foram cultivadas a partir da técnica de colônia central, nos meios Ágar extrato de malte (AEM) (Benny (2008) e/ou BDA e incubadas a 15, 20, 25, 30 e 40 °C, no escuro, em triplicata. A cada 24 h, o diâmetro das colônias foi medido, até que as mesmas tivessem preenchido toda a placa de Petri (9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura). As espécies foram descritas a 25°C, em BDA ou AEM, no escuro, após 5 dias de incubação, e variações morfológicas macro- e microscópicas nas diferentes temperaturas e meios de cultura, foram anotadas. Foram observados os aspectos macro- (coloração e aspecto) e microscópicos (tamanho, forma e cor dos rizoides, esporangióforos, esporângios, apófises, columelas e esporangiosporos) das colônias. No mínimo, 50 medições foram realizadas para cada microestrutura, sob microscópio de luz. Todas as características microscópicas foram obtidas através da análise dos espécimes em microscópio de luz Leica DM500. As microestruturas foram medidas a partir de culturas em lâmina montadas em KOH (3%) ou em Azul de Amann para observação. As descrições de *Absidia* sp. 1 e *Gongronerlla* sp. 1, espécies identificadas no presente estudo como novas, não serão fornecidas nesse trabalho, já que as mesmas ainda não foram publicadas.

As informações sobre a distribuição global das novas ocorrências para o Nordeste do Brasil foram recuperadas de artigos publicados, do “Global Biodiversity Information Facility GBIF” (<https://www.gbif.org>), GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>), e da plataforma plutoF (<https://plutof.ut.ee>).

3.6 EXTRAÇÃO DE DNA, AMPLIFICAÇÃO, SEQUENCIAMENTO DAS REGIÕES ITS E LSU DO rDNA E ANÁLISE FILOGENÉTICA

O sequenciamento de regiões específicas do rDNA (ITS ou LSU) foi realizado para confirmação molecular das espécies novas, de uma primeira ocorrência para o Nordeste do Brasil e de isolados que não puderam ser identificados pelas características morfológicas. Para extração do DNA, a biomassa obtida de culturas puras foi transferida para microtubos de 2 mL com tampa de rosca, acrescidos de 0,5g de contas de vidro “glass beads” para a trituração do material por agitação em alta velocidade em um FastPrep. Em seguida, foi realizada a extração do DNA genômico conforme Griffiths et al. (2000), que inclui uma lavagem com clorofórmio: álcool isoamílico (24:1), além de precipitação em isopropanol, lavagem em etanol 70% e ressuspensão em 50 µL de água ultrapura.

As regiões ITS e LSU do rDNA foram amplificadas utilizando-se os iniciadores ITS1 e ITS4 (WHITE et al., 1990), F1843 e R3096 (SCHMITT et al., 2009), respectivamente. Os produtos amplificados foram purificados com PureLink – PCR Purification Kit – Invitrogen e, quando necessário, clonados com o CloneJET PCR Cloning Kit (Fermentas; Carlsbad, USA), seguindo a metodologia do fabricante. As sequências foram enviadas para sequenciamento na Plataforma Tecnológica de Genômica e Expressão Gênica do Centro de Biociências – Universidade Federal de Pernambuco.

3.7 ANÁLISES FILOGENÉTICAS

As sequências obtidas foram alinhadas com outras recuperadas do GenBank através do programa Clustal X (LARKIN et al., 2007) e editadas usando o programa BioEdit (HALL, 1999). Foi realizada a avaliação filogenética, para caracterização molecular final com a construção de árvores Bayesianas (1×10^6 geração) em MrBayes 3.1.2 (RONQUIST & HUELSENBECK, 2003) e de máxima verossimilhança (GUINDON & GASCUEL, 2003), executadas com o auxílio do programa Topali 2.5. E por fim, as sequências dos espécimes isolados foram comparadas às estocadas no “GenBank” (www.ncbi.nlm.nih.gov) para confirmação genética dos táxons.

3.8 INCORPORAÇÃO DOS ESPÉCIMES ISOLADOS À COLEÇÃO DE CULTURAS MICOTECA-URM, DE LÂMINAS NO HERBÁRIO URM E DAS SEQUÊNCIAS ITS E LSU DO RDNA NO GENBANK.

Culturas de um espécime de cada espécie isolada serão incorporadas à Micoteca URM, da Universidade Federal de Pernambuco, em óleo mineral ou foram liofilizadas. Essas etapas ainda estão em andamento, pois o serviço de recebimento das culturas pela Micotecq URM sofreu atraso pela pandemia causada pelo COVID-19. Lâminas permanentes dos holótipos serão preparadas em PVLG e incorporadas ao Herbário URM da UFPE. As sequências das regiões ITS e LSU do rDNA das novas espécies isoladas, bem como de uma primeira ocorrência para o Nordeste do Brasil, foram depositadas no GenBank, de acordo com protocolo de depósito estabelecido por esse banco genômico.

3.9 AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES DE MUCORALES

A frequência de ocorrência (FO) das espécies foi estimada segundo a equação: $FO = (J_i/k)$, em que: FO = frequência de ocorrência da espécie *i*; J_i = número de amostras nas quais a espécie *i* ocorreu; K = número total de amostras de solo. De acordo com essa fórmula, as espécies foram classificadas como: muito frequentes ($> 10\%$), frequentes ($5-10\%$), pouco frequentes ($\geq 1 < 5\%$) e raras ($< 1\%$) (HYDE e SARMA, 2001).

A abundância relativa de cada espécie nas áreas foi calculada aplicando-se a fórmula: $A = (N_i/N) \times 100$, em que: A = abundância *i*; N_i = número de UFC de espécies *i*; N = número total de UFC (ZAK e WILLIG, 2004). As espécies foram classificadas de acordo com Novozhilov *et al.* (2001), como: raras ($< 0,5\%$) ocasionais ($0,5-1,5\%$), comuns ($> 1,5-3\%$), e abundantes ($> 3\%$).

Para a estimativa da diversidade de Mucorales nas áreas de estudo foi utilizado o índice de diversidade de Shannon-Wiener:

$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$ em que: S é o número de espécies, p_i é a proporção da espécie *i*, estimada como n_i/N , em que n_i é a medida de importância da espécie *i* (número de indivíduos, biomassa) e N é o número total de indivíduos. O perfil

de diversidade utilizando a série de Hill também foi calculada para cada área (HILL, 1973).

3.10 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todas as análises foram realizadas com base nos dados de contagem das espécies de fungos isoladas de solos das três regiões de brejo de altitude, ao longo de oito meses de coleta. As análises exploratórias multivariadas foram feitas com auxílio da plataforma computacional R v. 3.6.3 (R Development Core Team, 2020). A análise de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) foi realizada com base na matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis dos dados de abundância. A distância entre amostras foi representada através de dendrogramas construídos com base no índice de dissimilaridade de Gower, pelo método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). Essas análises, juntamente com os cálculos dos índices diversidade de Shannon, de dominância de Simpson e de α , β e γ diversidade, foram realizadas com auxílio da biblioteca “vegan” (OKSANEN et al., 2020). A diversidade Gama (γ) e a diversidade Alpha (α) foram calculadas a partir dos dados do inventário de espécies e a diversidade Beta (β) foi determinada pela expressão $\beta = (\gamma/\alpha)-1$, de acordo com as teorias de Whittaker (1960) e Tuomisto (2010).. Os gráficos foram construídos a biblioteca com “ggplot2” (WICKHAM, 2016). Curvas de acumulação de espécies também foram calculadas para cada área, o que permitiu estimar a riqueza total de cada área através dos estimadores Chao 1 e Jackknife 1. Para essas análises multivariadas, foi utilizado o programa Primer (CLARKE & GORLEY, 2006), enquanto as análises de variância (ANOVA) e comparação de médias, pelo teste de Tukey ($p = 0,05$), foram realizadas utilizando-se o programa Statistica (STATSOFT, 1997).

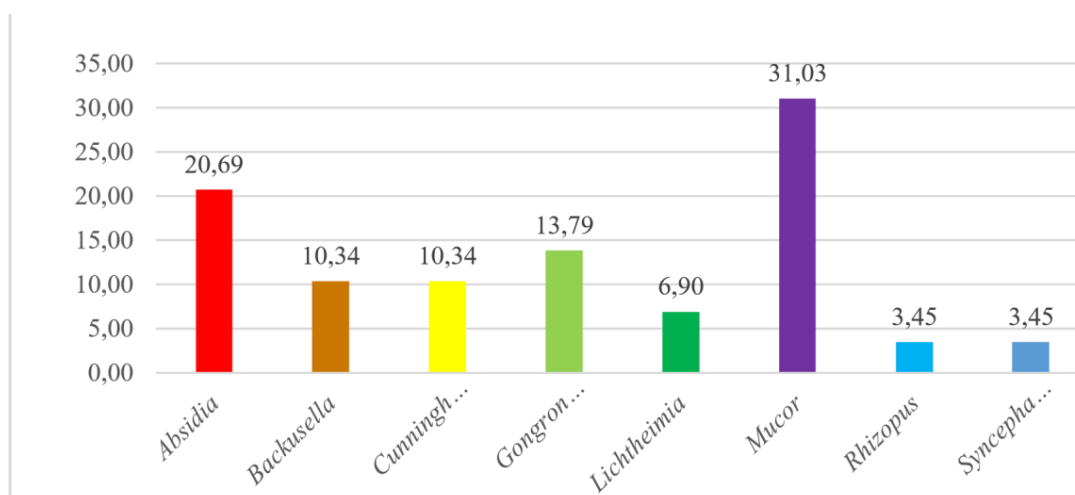
4 RESULTADOS

4.1 MUCORALES DO SOLO DOS BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO

Das amostras de solos inventariadas, foram isolados 29 táxons de Mucorales ($1,04 \times 10^5$ UFC g^{-1} de solo). Do brejo da Serra do Jardim, foram isolados 19 táxons de Mucorales distribuídos entre *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus*, enquanto do brejo da Serra do Vento foram obtidos 17 táxons de Mucorales distribuídos entre *Absidia*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichthemia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. Do brejo do Benedito, 22 táxons de Mucorales foram identificados, distribuídos entre *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus* (Tabela 1).

Considerando os três brejos de altitude em conjunto, *Mucor* foi o gênero mais representativo em número de espécies (31% das espécies), seguido por *Absidia* (20,7%), *Gongronella* (13,8%), *Backusella* e *Cunninghamella* (10,3%) (Figura 5). Considerando todos os brejos em conjunto, *Cunninghamella bertholletiae* apresentou maior número de UFC. g^{-1} de solo (16×10^3), seguida por *Gongronella* sp. 2 e por *A. cornuta* (Tabela 1).

Figura 5 - Porcentagem dos gêneros, em relação ao número de espécies, de Mucorales presentes nos solos dos Brejos da Serra do Jardim, Serra do Vento e Serra do Benedito, PE.



O solo do brejo da Serra do Benedito apresentou maiores valores UFC.g⁻¹ de Mucorales ($4,76 \times 10^4$ UFC.g⁻¹), seguido pelo brejo da Serra do Jardim ($3,18 \times 10^4$ UFC.g⁻¹) e da Serra do Vento ($2,5 \times 10^4$ UFC.g⁻¹) (Tabela 1). No solo do brejo do Benedito, *C. bertholletiae* apresentou maior número de UFC.g⁻¹ de solo ($8,4 \times 10^3$), seguida por *G. brasiliensis* ($5,6 \times 10^3$), *A. cylindrospora* e *G. butleri* ($3,6 \times 10^3$) (Tabela 1), enquanto, do solo do brejo da Serra do Jardim, as espécies que apresentaram os maiores valores de UFC.g⁻¹ de solo foram *Gongronella* sp. 1 ($9,8 \times 10^3$), *A. cornuta* ($5,8 \times 10^3$) e *C. bertholletiae* ($2,6 \times 10^3$). Do solo do brejo da Serra do Vento, *C. bertholletiae* (5×10^3), *C. elegans* ($3,6 \times 10^3$) e *Gongronella* sp. 1 ($2,4 \times 10^3$) foram as espécies com maior número de UFC.g⁻¹ de solo (Tabela 1).

Absidia repens, *B. constricta*, *B. gigacellularis*, *L. hyalospora*, *M. lusitanicus*, *M. minutus* e *M. ramosissimus* foram exclusivas do brejo da Serra do Benetido, enquanto *M. luteus* e *M. merdicola* foram isoladas apenas do Brejo da Serra do Jardim. As outras espécies foram obtidas em, pelo menos, dois dos três brejos de altitude inventariados. Apenas doze espécies foram isoladas dos três brejos pernambucanos (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de unidades formadoras de colônias por grama de solo e riqueza de espécies de Mucorales isolados de solos dos Brejos da Serra do Jardim (BSJ), Serra do Vento (BSV) e Serra do Benedito (BSB) – PE.

Mucorales	Áreas			
	BSJ	BSV	BSB	Total
<i>Absidia</i> sp.	2×10^2			2×10^2
<i>Absidia cornuta</i> D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago	$5,8 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	$2,6 \times 10^3$	1×10^4
<i>A. caatinguensis</i> D.X. Lima & A.L. Santiago	$1,2 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$2,4 \times 10^2$	$4,8 \times 10^3$
<i>A. cylindrospora</i> Hagem	8×10^2	$1,6 \times 10^3$	$3,6 \times 10^3$	$3,6 \times 10^3$
<i>A. pseudocylindrospora</i> Hesselt. & J.J. Ellis	$1,2 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$	$5,6 \times 10^3$
<i>A. repens</i> Tiegh.	0	0	2×10^3	2×10^3
<i>Backusella constricta</i> D.X. Lima, C.A.F. de Souza & A.L. Santiago	0	0	1×10^3	1×10^3
<i>B. gigacellularis</i> J.I. Souza, Pires-Zottar. & Harakava	0	0	4×10^2	4×10^2
<i>B. lamprospora</i> (Lendn.) Benny e RK Benj.	2×10^2	0	8×10^2	1×10^3
<i>Cunninghamella bertholletiae</i> Stadel	$2,6 \times 10^3$	5×10^3	$8,4 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$
<i>C. clavata</i> R.Y. Zheng & G.Q. Chen	2×10^2	2×10^3	2×10^3	$4,2 \times 10^3$
<i>C. elegans</i> Lendn.	1×10^3	$3,6 \times 10^3$	2×10^3	$6,6 \times 10^3$
<i>Gongronella butleri</i> (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco	1×10^3	0	$3,6 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$
<i>G. brasiliensis</i> C.A.F. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago	4×10^2	$1,2 \times 10^3$	4×10^3	$5,6 \times 10^3$
<i>Gongronella</i> sp. 1	$9,8 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	3×10^3	$1,52 \times 10^4$
<i>Gongronella</i> sp. 2	$1,6 \times 10^3$	$1,2 \times 10^3$	4×10^3	$6,8 \times 10^3$
<i>Lichtheimia brasiliensis</i> A.L. Santiago, Lima & Oliveira	0	2×10^2	0	2×10^2
<i>L. hyalospora</i> (Saito) Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt	0	0	2×10^2	2×10^2
<i>Mucor fragilis</i> Bainier	2×10^2	2×10^3	2×10^2	$2,4 \times 10^3$
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	2×10^2	2×10^2	0	4×10^2
<i>M. irregularis</i> Stchigel, Cano, Guarro & E. Álvarez	6×10^2	2×10^2	0	8×10^2
<i>M. janseeni</i> Lendn.	0	4×10^2	4×10^2	8×10^2
<i>M. lusitanicus</i> Bruderl.	0	0	$1,6 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$
<i>M. luteus</i> Linnem.	$1,6 \times 10^3$	0	0	$1,6 \times 10^3$
<i>M. minutus</i> (Baijal & B.S. Mehrotra) Schipper	0	0	4×10^2	4×10^2
<i>M. merdicola</i> C.A.F. de Souza & A.L. Santiago	2×10^3	0	0	2×10^3
<i>M. ramosissimus</i> Samouts.	0	0	8×10^2	8×10^2
<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill.	$1,2 \times 10^3$	8×10^2	1×10^3	3×10^3
<i>Syncephalastrum racemosum</i> Cohn ex J. Schröt.	0	2×10^2	0	2×10^2

Total	$3,18 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$4,76 \times 10^4$	$1,04 \times 10^5$
Riqueza	19	17	22	

Absidia sp. e *Gongronella* sp. 1 apresentaram características morfológicas e genéticas (regiões ITS e LSU do rDNA) que as diferenciam das outras espécies, sendo, portanto, novas. *Gongronella* sp. 2. também é morfológicamente diferente das outras espécies. No entanto, como as análises moleculares para esse espécime ainda estão em andamento, não se podendo afirmar com segurança que se trata de uma nova espécie. Portanto, essa espécie será tratada nessa tese como uma provável espécie nova. *Backusella gigacellularis* e *M. minutus* estão sendo registradas pela primeira vez para o nordeste do Brasil.

4.2 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA, DIVERSIDADE, ABUNDÂNCIA RELATIVA, ESTIMADORES DE RIQUEZA E ÍNDICES DE SIMILARIDADE DOS MUCORALES EM SOLO DOS BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO

Dentre os isolados, nas três áreas de coleta, *Cunninghamella bertholletiae* apresentou a maior frequência de ocorrência (FO = 11,1%), sendo muito frequente no solo das áreas de coleta, seguida por *Gongronella* sp. 1 (FO = 10%) e por *A. cornuta* (FO = 9%), ambas frequentes. *Absidia cornuta*, *A. caatinguensis*, *A. pseudocylindrospora*, *Gongronella* sp. 2 e *R. stolonifer* foram frequentes. *Absidia cylindrospora*, *C. elegans*, *C. clavata*, *B. constricta*, *B. lamprospora*, *G. brasiliensis*, *G. butleri*, *M. irregulares*, *M. hiemalis*, *M. merdicola*, *M. ramosissimus*, *M. lusitanicus*, *M. luteus* e *M. fragilis* foram pouco frequentes, enquanto *A. repens*, *B. gigacellularis*, *M. jansennii*, *M. minutus*, *L. brasiliensis*, *L. hyalospora* e *S. racemosum* foram raras (Tabela 2).

Em relação à abundância relativa dos Mucorales, com relação ao total de espécimes de fungos, considerando todas as áreas de coleta em conjunto, apesar de todas as espécies apresentarem valores baixos, *C. bertholletiae* (Ar = 1,56%), *Gongronella* sp. 1 (Ar = 1,48%) foram as mais abundantes, sendo comuns no solo das áreas de brejo aqui estudadas. *Absidia cornuta* (0,98%), *A. cylindrospora* (0,59%), *A. pseudocylindrospora* (0,55%), *C. elegans* (0,64%) e *G. brasiliensis* (0,55%) foram ocasionais nas áreas de estudo, enquanto todas as

outras espécies foram raras (Tabela 2). No que se refere à abundância relativa das espécies, com relação apenas aos táxons de Mucorales, e, considerando todas as áreas em conjunto, *C. bertholletiae* também foi mais abundante (19%), seguida por *Gongronella* sp. 1 (18,0%), *A. pseudocylindrospora* (10%) e *C. elegans* (8%) (Figura 6).

Tabela 2 - Frequência de ocorrência (FO) e abundância relativa (AR) dos Mucorales (considerando todas UFCs de fungos que cresceram em meio de cultura), nos solos dos brejos das Serra do Jardim, do Vento e do Benedito – PE.

Mucorales	FO (%)	Classificação	AR (%)	Classificação
<i>Absidia</i> sp.	0,6	R	0,02	R
<i>Absidia cornuta</i>	9	F	0,98	O
<i>A. caatinguensis</i>	6,2	F	0,47	R
<i>A. cylindrospora</i>	4,1	PF	0,59	O
<i>A. pseudocylindrospora</i>	5,5	F	0,55	O
<i>A. repens</i>	0,6	R	0,20	R
<i>Cunninghamella bertholletiae</i>	11,1	MF	1,56	C
<i>C. elegans</i>	4,5	PF	0,64	O
<i>C. clavata</i>	1	PF	0,42	R
<i>Backusella constricta</i>	1	PF	0,10	R
<i>B. gigacellularis</i>	0,6	R	0,04	R
<i>B. lamprospora</i>	1,3	PF	0,10	R
<i>Gongronella brasiliensis</i>	2	PF	0,55	O
<i>G. butleri</i>	2	PF	0,45	R
<i>Gongronella</i> sp. 1	10	F	1,48	C
<i>Gongronella</i> sp. 2	5,2	F	0,66	R
<i>Lichtheimia brasiliensis</i>	0,3	R	0,02	R
<i>L. hyalospora</i>	0,3	R	0,02	R
<i>Mucor jansennii</i>	0,6	R	0,08	R
<i>M. irregulares</i>	1,7	PF	0,08	R
<i>M. hiemalis</i>	1,3	PF	0,04	R
<i>M. merdicola</i>	2	PF	0,20	R
<i>M. minutus</i>	0,6	R	0,04	R
<i>M. ramosissimus</i>	1	PF	0,08	R
<i>M. luteus</i>	2	PF	0,16	R
<i>M. lusitanicus</i>	1,3	PF	0,16	R
<i>M. fragilis</i>	1	PF	0,23	R
<i>Rhizopus stolonifer</i>	3,4	F	0,29	R

Syncephalastrum racemosum

0,3

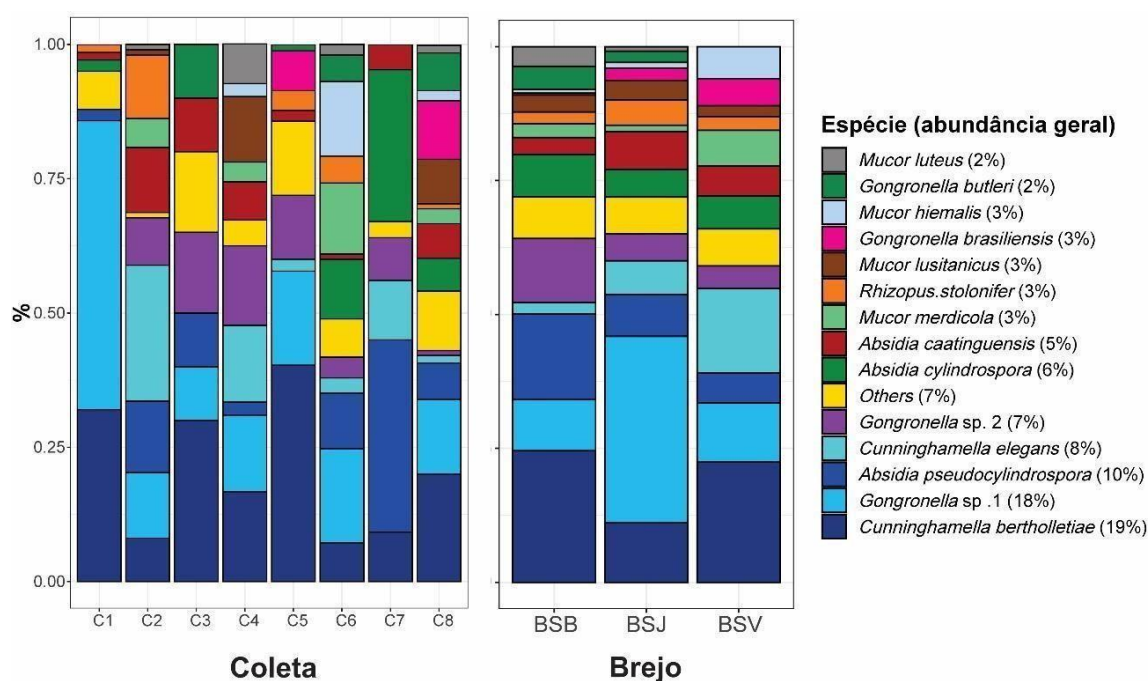
R

0,04

R

Para abundância relativa das espécies: R - rara, O - ocasional, C - comum, A - abundante. Para frequência de ocorrência das espécies: MF - muito frequente, F - frequente, PF - pouco frequente e R - rara.

Figura 6 - Abundância relativa das espécies de Mucorales em relação total de espécimes dessa mesma ordem, ao longo de oito coletas em três regiões de brejo situadas no estado de Pernambuco: brejo Serra do Benedito - Gravatá (BSB); brejo Serra do Jardim - Agrestina (BSJ); e brejo Serra do Vento - Belo Jardim (BSV).



A diversidade de Mucorales foi maior no brejo da Serra do Benedito ($H' = 2,991$), assim como a riqueza de espécies ($S = 22$), seguidas pelo brejo da Serra do Vento ($H' = 2,636$; $S = 17$) e Serra do Jardim ($H' = 2,497$; $S = 19$). De acordo com a análise de variância (ANOVA) e a comparação das médias do teste de Tukey ($p = 0,05$), não houve diferenças significativas na riqueza e diversidade das espécies entre os solos dos brejos da Serra do Jardim e Serra do Vento (Tabela 6). No entanto, a riqueza e diversidade de Mucorales no solo do brejo da Serra do Benedito diferiram significativamente das encontradas nos solos dos demais brejos estudados. A equitabilidade foi maior na Serra do Benedito ($J' = 0,92$), mas próxima da equitabilidade os brejos da Serra do Vento ($J' = 0,89$) e

Serra do Jardim ($J' = 0,84$) (Tabela 3). Os estimadores Chao 1 e Jackknife 1 indicaram que, em todos os brejos estudados, a riqueza observada foi inferior à esperada (Tabela 4, Figuras 7, 8 e 9).

Tabela 3 - Riqueza (S), índice de diversidade de Shannon Wiener (H') e equitabilidade de Pielou's dos Mucorales no solo dos brejos das Serras do Jardim (BSJ), do Vento (BSV) e do Benedito (BSB). Os valores seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p = 0.05$).

Áreas	S	H'	J'
BSJ	19 a	2.497 a	0,848
BSV	17 a	2.636 a	0,8953
BSB	22 b	2.991 b	0,9292

Tabela 4 - Riquezas observada (Sobs) e estimada pelos estimadores Chao 1 e Jackknife 1 das comunidades de Mucorales nos brejos da Serra do Jardim (BSJ), Serra do Vento (BSV) e Serra do Benedito (BSB).

Áreas	Sobs	Chao 1	Jackknife 1
BSJ	19	22,3	24
BSV	17	20,5	23
BSB	22	26,2	29

Figura 7 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1 de Mucorales no solo do Brejo da Serra do Jardim, PE.

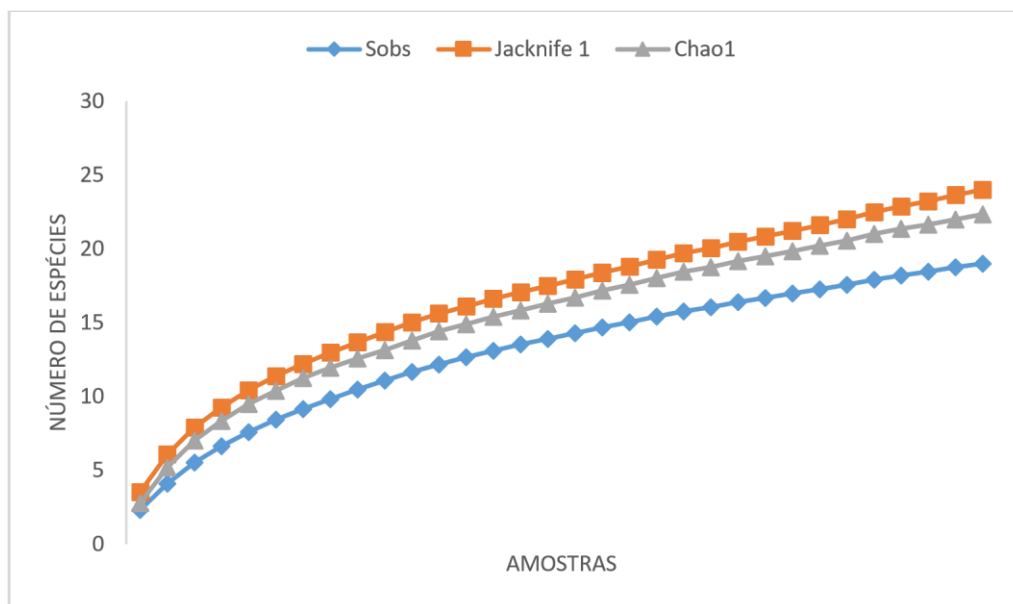


Figura 8 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1 de Mucorales no solo do Brejo da Serra do Vento, PE.

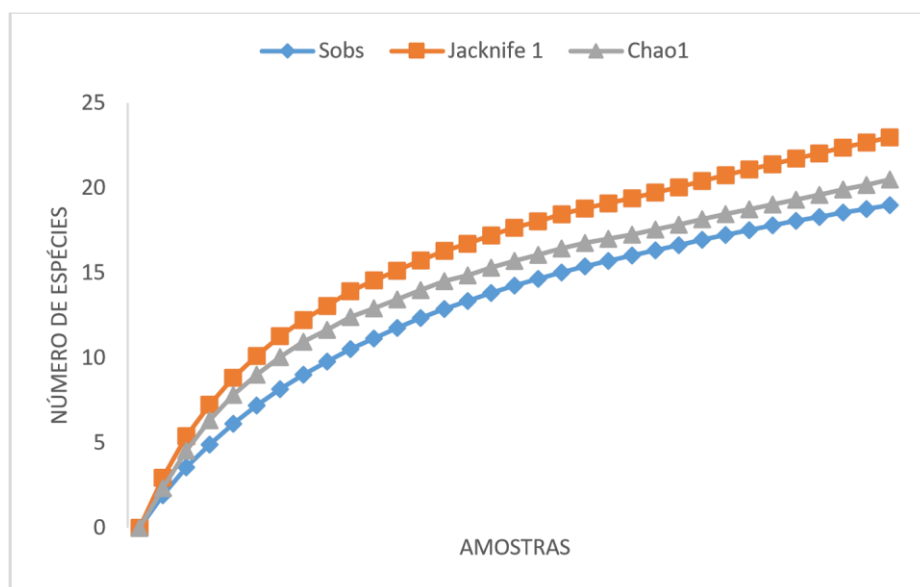
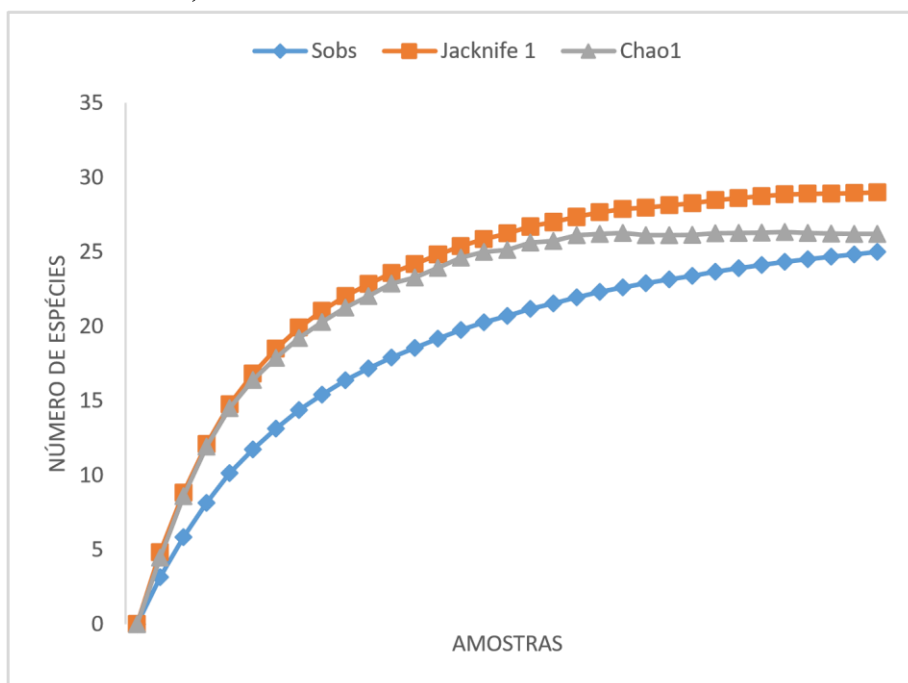


Figura 9 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jacknife 1 de Mucorales no solo do Brejo da Serra do Benedito, PE.

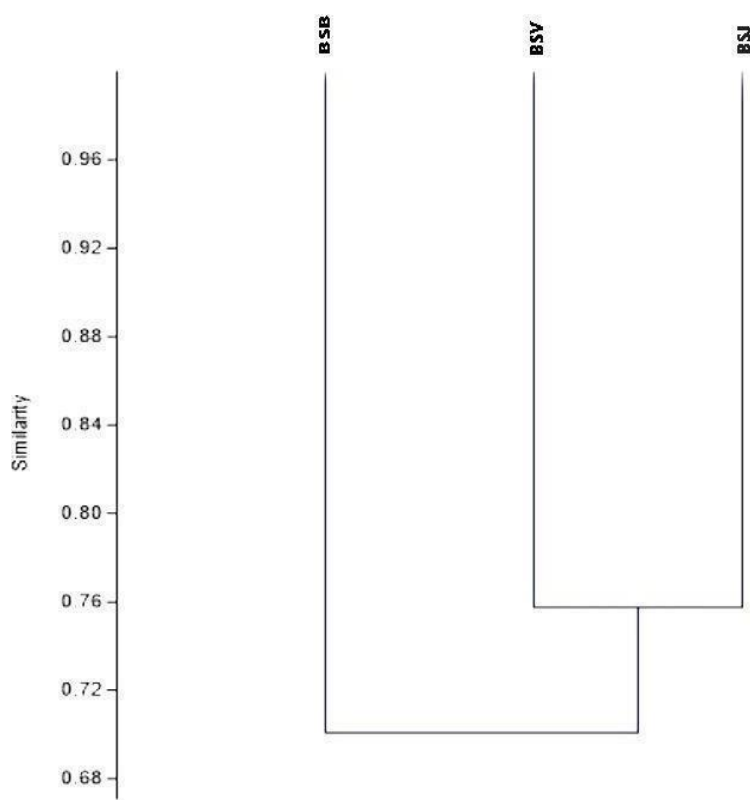


Quanto à análise de similaridade de Bray-Curtis, houve elevadas similaridades da composição dos Mucorales entre as áreas em estudo, sendo mais similares os brejos das Serras do Jardim e do Vento (75,76%), seguidos pelos brejos das Serras do Benedito e do Vento (70,81%) e pelos os brejos das Serra do Benedito e do Jardim (69,36%) (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise de similaridade de Bray-Curtis da composição dos Mucorales dos solos dos brejos da Serra do Jardim, Serra do Vento e Serra do Benedito, PE

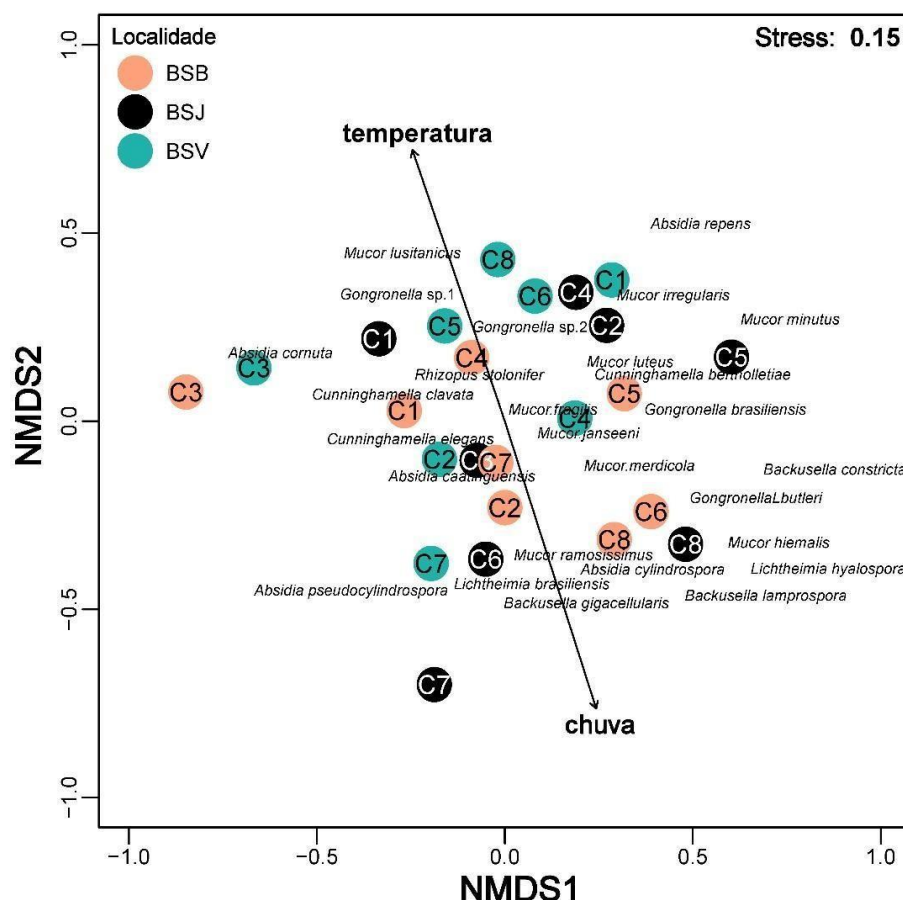
	BSJ	BSV	BSB
BSJ	-	-	-
BSV	75,76%	-	-
BSB	69,36%	70,81%	-

Figura 10 - Dendograma de Similaridade de Bray-Curtis entre os brejos da Serra do Jardim (BSJ), do Vento (BSV) e Benedito (BSB).



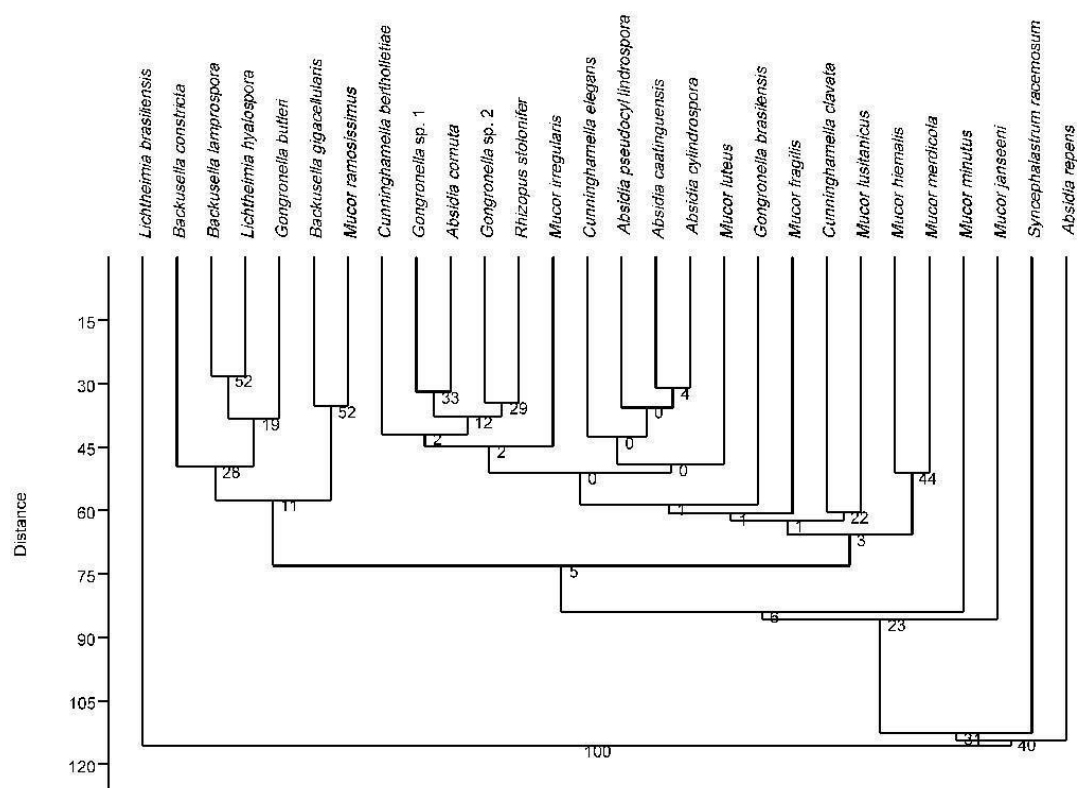
A análise NMDS, com base na dissimilaridade de Bray-Curtis, analisando a composição dos Mucorales nos brejos inventariados, ao longo dos oito meses de coleta, demonstrou que a distância geográfica entre as áreas não influenciou na composição dos Mucorales. No entanto, as variáveis temperatura e precipitação apresentaram correlações positivas significativas na distribuição e composição das espécies de Mucorales nas áreas inventariadas (Figura 10).

Figura 11 - Escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) com base na matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis explicando modelo de dispersão das espécies de fungos em três regiões de brejo situadas no estado de Pernambuco: brejo Serra do Benedito - Gravatá (BSB); brejo Serra do Jardim - Agrestina (BSJ); e brejo Serra do Vento – Belo Jardim (BSV). O número no interior dos círculos representa a ordem da coleta.



O modelo de similaridade (Figura 12) apresentou um padrão semelhante ao observado na análise anterior (Figura 11). Os resultados apresentam o agrupamento das espécies em concordância com as variáveis pluviosidade e temperatura, demonstrando que *B. gigacellularis*, *B. lamprospora*, *L. brasiliensis*, *M. hiemalis* e *M. ramosissimus* agruparam-se, provavelmente, pela influência da umidade, ocorrendo o mesmo para *Gongronella* sp. 2, *M. irregulares*, *M. lusitanicus* e *R. stolonifer*, mas com variável temperatura como fator significativo, corroborando a hipótese que as variáveis temperatura e pluviosidade influenciam a distribuição das espécies de Mucorales nas áreas estudadas.

Figura 12 - Dendrograma de similaridade Euclidiana entre as espécies fúngicas. O agrupamento foi feito com base no método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), baseado na ocorrência das espécies sob diferentes condições de coleta e localização.



Em relação aos índices de Alpha diversidade, por coleta, estatisticamente, não foram observadas diferenças significativas entre as áreas e o período de coleta (Tabela 6). Quando analisadas as Alpha, Beta e Gamma diversidades, por área de coleta, o maior índice de Alpha diversidade foi observado no brejo da Serra do Benedito (BSB) (Tabela 7A), enquanto, para a diversidade Beta, o maior índice foi observado para o brejo da Serra do Vento (BSV) (Tabela 7A), enquanto a diversidade Gamma apresentou-se maior no Brejo da Serra do Benedito (BSB) (Tabela 7A). Os valores de diversidades Alpha, Beta e Gamma calculados por coleta demonstraram maior Alpha diversidade na coleta 8 (C8) (Tabela 7B), enquanto maiores valores de Beta foram verificados nas coletas 3 e 8 (C3 e C8). Com relação à diversidade Gamma (Tabela 7B), o maior índice foi observado para a coleta 8 (C8) (Tabela 7B).

Tabela 6 - Principais índices de Alpha diversidade por coleta individual

BSB	C1	3	1.93	1.01	0.61
BSB	C2	10	2.39	1.91	0.81
BSB	C3	9	2.27	2.04	0.85
BSB	C4	4	1.81	1.27	0.69
BSB	C5	7	2.33	1.13	0.49
BSB	C6	8	2.18	1.86	0.82
BSB	C7	2	1.55	0.50	0.32
BSB	C8	17	2.71	2.46	0.89
BSJ	C1	6	2.22	1.13	0.54
BSJ	C2	6	1.97	1.74	0.82
BSJ	C3	1	1.63	0.00	0.00
BSJ	C4	7	2.00	1.73	0.79
BSJ	C5	6	2.18	1.57	0.76
BSJ	C6	9	2.53	1.82	0.79
BSJ	C7	6	1.93	1.63	0.78
BSJ	C8	6	2.00	1.63	0.78
BSV	C1	7	2.15	1.56	0.73
BSV	C2	7	2.06	1.72	0.78
BSV	C3	1	0.85	0.00	0.00
BSV	C4	7	2.06	1.82	0.82
BSV	C5	7	2.11	1.75	0.80
BSV	C6	5	1.93	1.35	0.69
BSV	C7	5	2.18	1.43	0.74
BSV	C8	5	2.03	1.20	0.60

* Estatisticamente não foram observadas diferenças significativas entre locais ou coletas.

Tabela 7 - Alpha, Beta e Gamma diversidade calculados por localidade e coleta. Regiões: brejo Serra do Benedito - Gravatá (BSB); brejo Serra do Jardim - Agrestina (BSJ); e brejo Serra do Vento – Belo Jardim (BSV).

A) LOCAL

	Alpha	Beta	Gamma
BSB	7.5	2.3	25.0
BSJ	5.9	2.4	20.0
BSV	5.5	2.5	19.0

B) COLETA

	Alpha	Beta	Gamma
C1	5.3	1.1	11.0
C2	7.7	0.6	12.0
C3	3.7	1.5	9.0
C4	6.0	1.2	13.0
C5	6.7	1.1	14.0
C6	7.3	1.2	16.0
C7	4.3	0.8	8.0
C8	9.3	1.5	23.0

* Relacionadas à dimensão amostral e localização geográfica dos habitats.

4.3 TAXONOMIA

4.3.1 *Absidia* sp. 1 A.L.S.M Alves, T.R.L Cordeiro & A.L. Santiago, sp. nov.

Figura 13

Influência da temperatura - A 15 ° C: ausência de crescimento. A 20 ° C: crescimento lento , boa esporulação (7,6 cm de diâm. em 6 dias). A 25 °C: crescimento (8,3 cm de diâm. em 6 dias) e esporulação ótimos. A 30 °C: crescimento um pouco mais rápido do que a 25 °C (8,4 cm de diâm. em 6 dias), boa esporulação. A 35 ° C: ausência de crescimento, O crescimento das colônias no MEA foi semelhante ao em BDA em todas as temperaturas testadas.

Material examinado: Brasil, Pernambuco, brejo da Serra do Jardim (08°23'18"S 036°00'30"W) em solo, 14 de agosto de 2019, perna. A.L.S.M Alves

Figura 13 – *Absidia* sp. 1. A. Esporangióforo simples com esporângio. B. Esporangióforo simples com columela e projeção na columela. C. Esporangióforos longo e curtos surgindo do estolão com columelas. D. Esporangióforo com ramificação simples e columelas. E. Esporangióforos surgindo do estolão. F. Esporangióforo simples com um inchaço. G. Rizóides. H. Esporangiosporos.

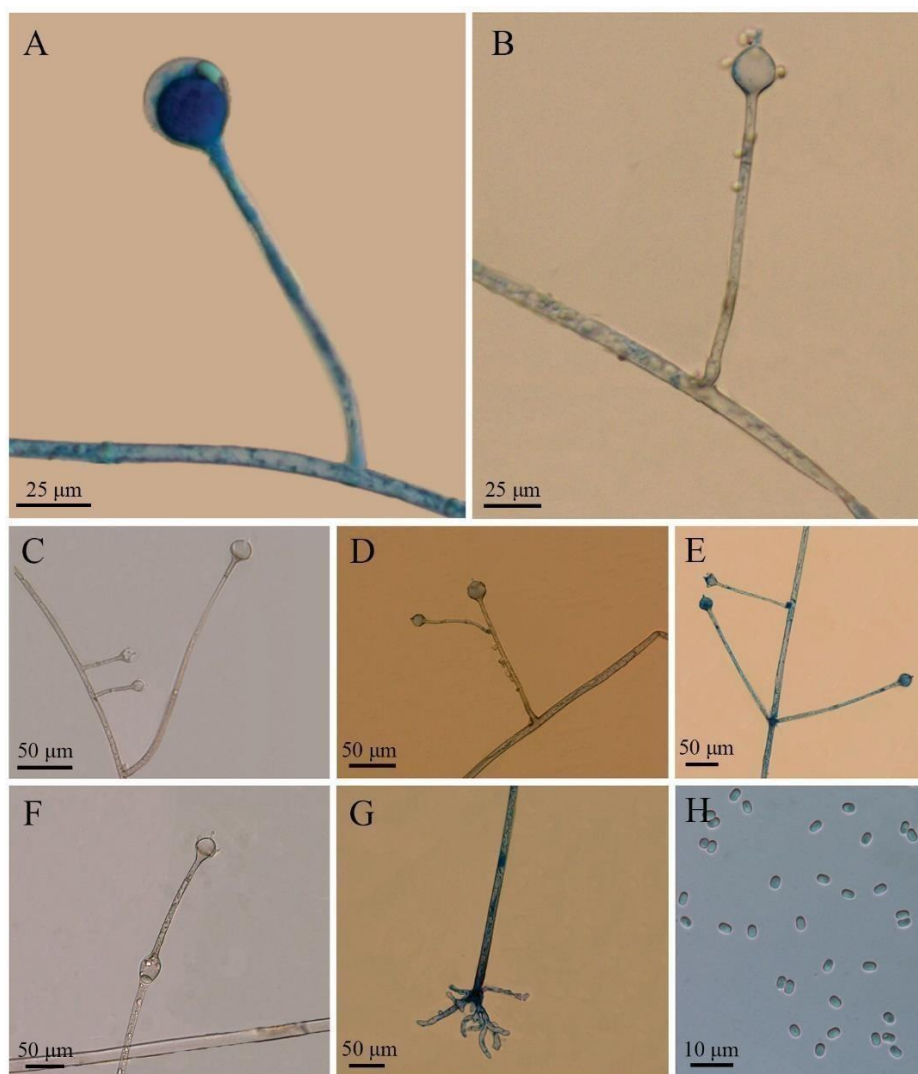
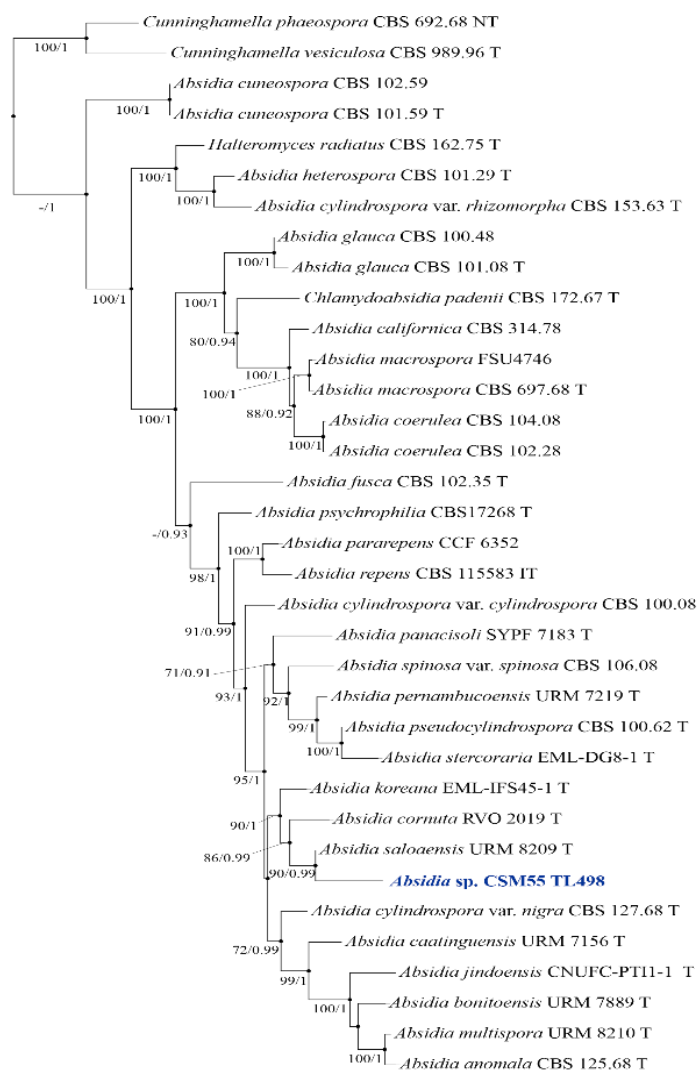


Figura 14 - Árvore filogenética de *Absidia* sp. CSM55 TL498 e espécies relacionadas com base na análise de máxima verossimilhança (ML) para LSU rDNA. Valores de bootstrap para máxima verossimilhança igual ou superior a 70% e probabilidades posteriores Bayesianas posteriores (BYPP) iguais ou superiores a 0.90 são mostrados nos ramos. Os valores de bootstrap inferiores a 0.9 e 70% são marcados com “*” e ausentes são marcados com “-”. As cepas do tipo, isótipo e neótipo são marcadas com “T”, “IT” e “NT”, respectivamente. A cepa do estudo atual é mostrada em azul e negrito. *Cunninghamella phaeospora* CBS 692.68 e *Cunninghamella vesiculosa* CBS 989.96 foram usados como grupos externos.



Scale: 0.1

4.3.2 *Gongronella* sp. 1 A.L.S.M Alves, L.W.S Freitas & A.L. Santiago, sp. nov.

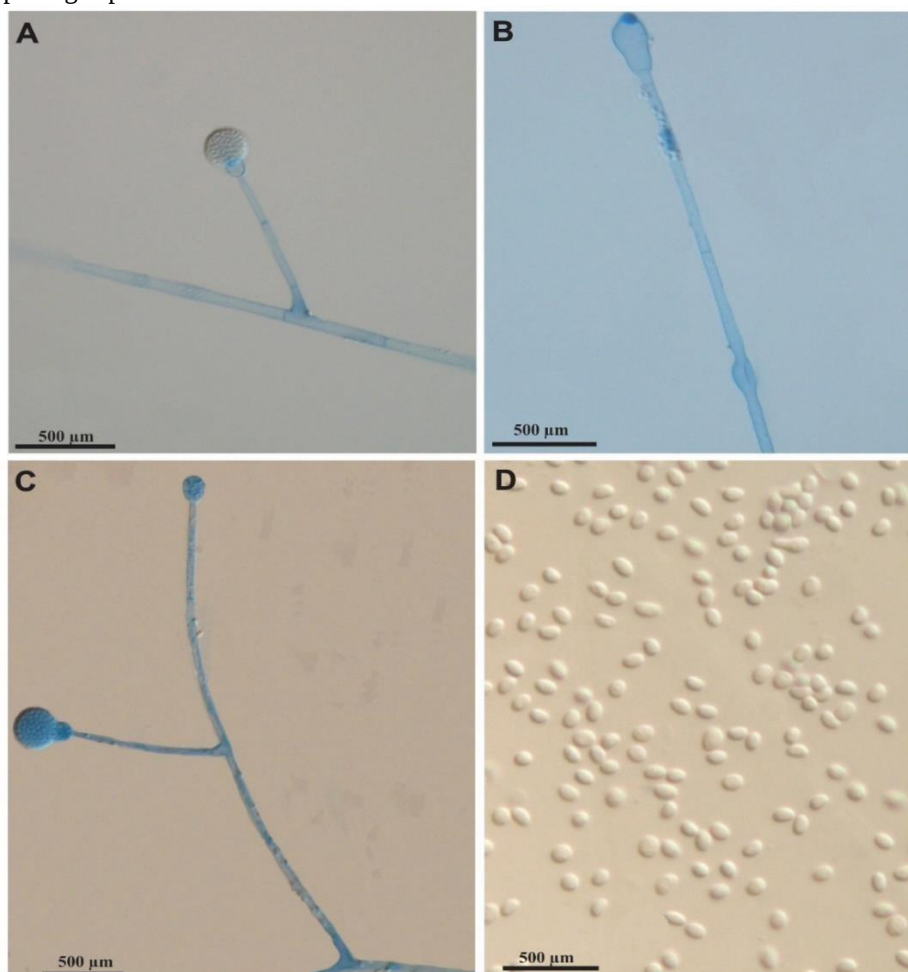
Figura 15

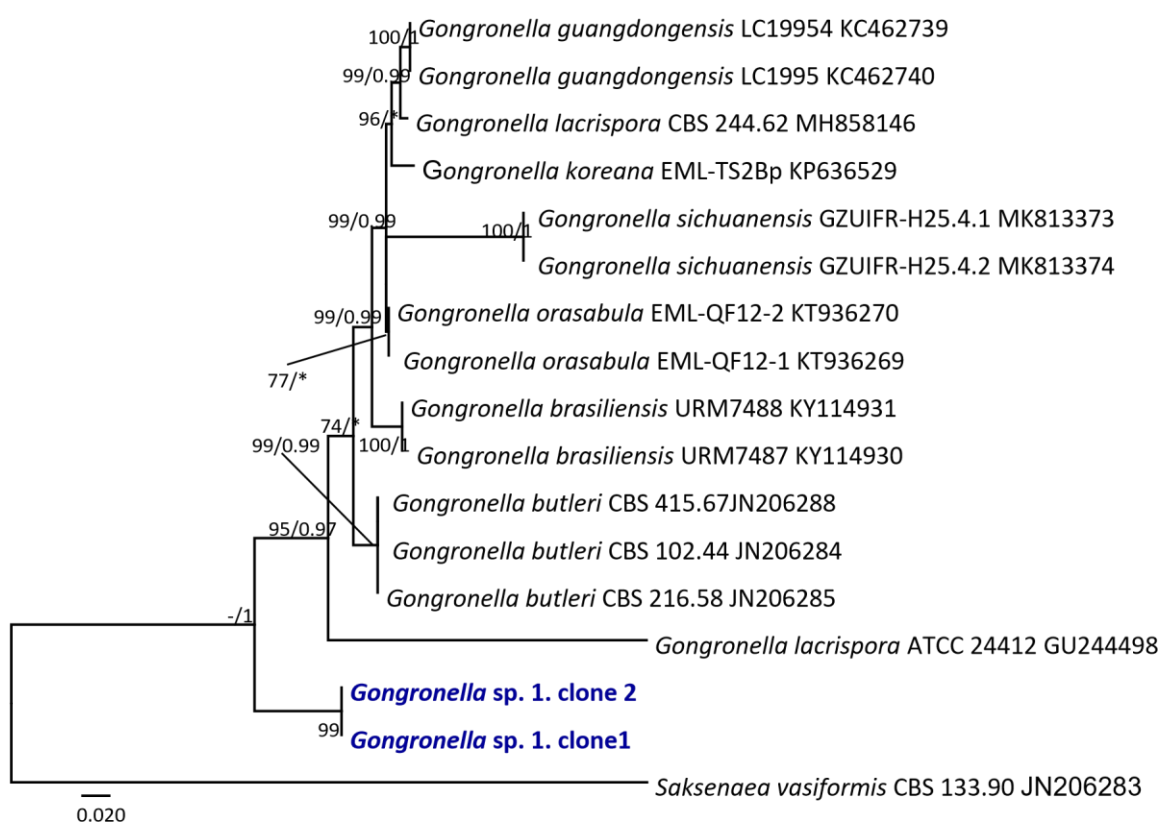
Influência da temperatura - A 10 °C: ausência de crescimento. A 15 °C: crescimento lento e esporulação pobre (1,5 cm de diâmetro em 7 dias). A 20 °C: crescimento lento, embora mais rápido do que a 15 °C (3,9 cm de diâm. em 7 dias), boa esporulação. A 25 °C: crescimento e esporulação ótimos (6,3 cm de diâm. em 7 dias). A 30 °C: crescimento mais lento do que a 25 °C (5,5 cm de diâm. em 7 dias), com maior frequência de esporângios abortivos e boa esporulação. A 35 °C: ausência de crescimento e esporulação. O crescimento no MEA foi semelhante ao do BDA em todas as temperaturas testadas.

Material examinado: Material examinado - Brasil, Pernambuco, brejo da Serra do Jardim (08°23'18"S 036°00'30"W) em solo, 14 de agosto de 2019, perna.

A.L.S.M Alves

Figura 15 - *Gongronella* sp. 1. A. Esporangióforo não ramificado com esporângio. B. Esporangióforo não ramificado com columela. C. Esporóforo com ramificação simples. D. Esporangiosporos.





4.3.3 *Backusella gigacellularis* J.I. de Souza, Pires-Zottarelli e Harakava, Mycol. Progr. 13: 976 (2015).

Figura 17

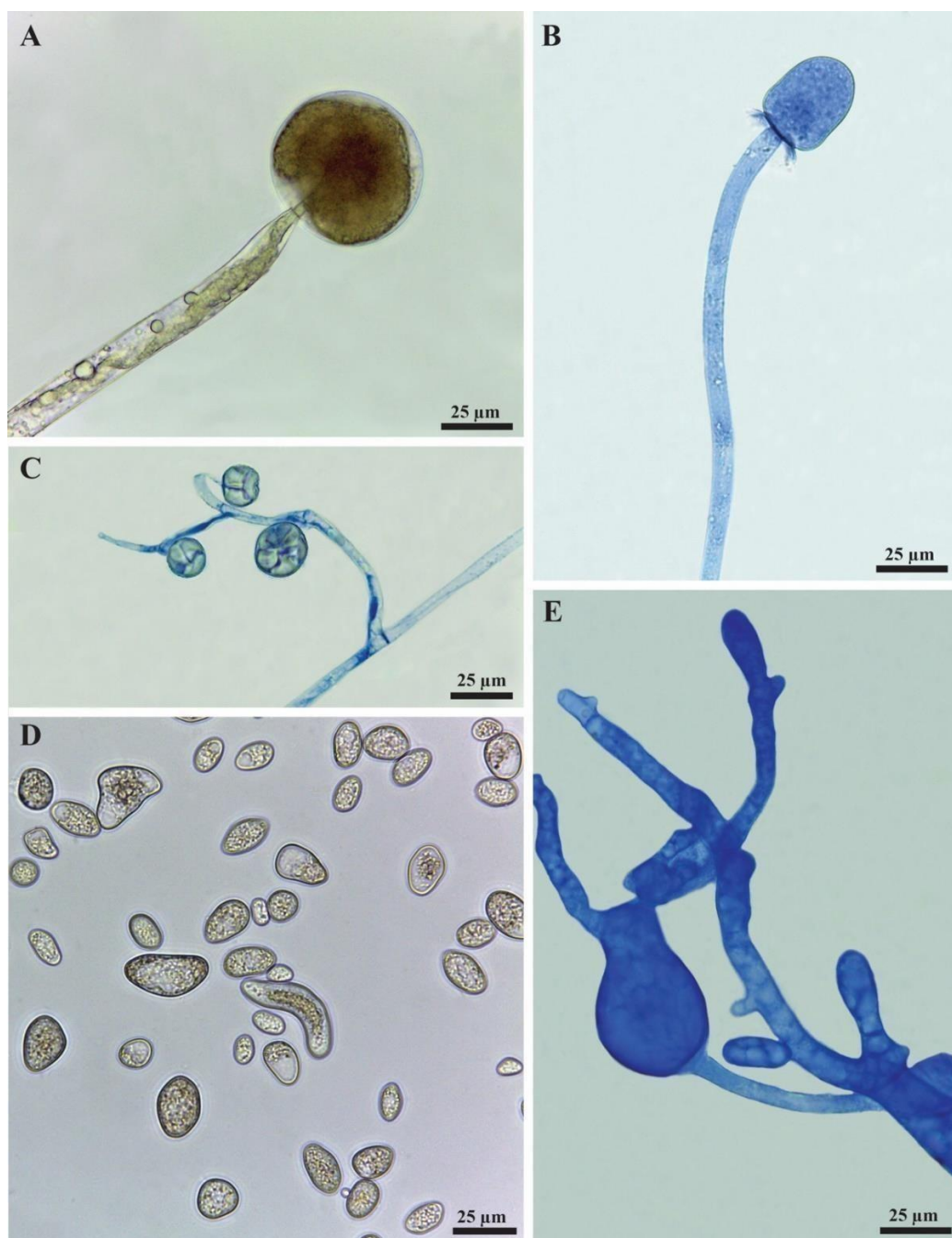
Colônias branco-amareladas, reverso amarelo, colonizando toda a placa de Petri (9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura) em 5 dias, a 25 °C, em AEM. Esporangióforos hialinos, alguns com conteúdo marrom-esverdeado, surgindo do substrato, recurvados, quando jovens, e eretos na maturidade, até 20 µm de diâm., monopodialmente ramificados, comumente com ramificações curtas, e parede levemente incrustada. Esporângios amarronzados, globosos, com parede lisa e deliquescente, até 130 µm de diâmetro. Columelas hialinas, algumas com conteúdo castanho, globosas, subglobosas, cônicas e levemente cilíndricas, 20–40 (–50) × 20–45 µm, com parede levemente incrustada; colar comumente presente, exibindo espinhos em forma de agulha. Esporangíolos hialinos, multiesporados, decorrentes de pedicelos, globosos a subglobosos, de 9,6–30 µm em diâm., com parede equinulada. Esporangíolos uniesporados ausentes. Columelas dos esporangíolos hialinas, cônicas e ocasionalmente globosas, 7–12 (–14) × 15–30 µm, com parede lisa. Esporangiosporos hialinos, elipsóides, irregulares, alguns subglobos (9–) 16–33 (–45) × (7–) 9–17 (–20) µm, com gotas de óleo e parede lisa. Células gigantes presentes, globosas. Zigosporose clamidosporos não observados.

Material examinado: *Backusella gigacellularis*. BRASIL. Pernambuco: Gravatá, Serra do Benedito (08°17'58" S 35°35'29" W), solo, A.L.S.M. Alves (URM 7894).

Distribuição: São Paulo e Pernambuco, Brasil.

Notas: Este é o segundo relato mundial e o primeiro relato dessa espécie para o nordeste do Brasil, em brejo de altitude, na região semiárida.

Figura 17- *Backusella gigacellularis* (URM 7894). A. Esporangióforo não ramificado com esporângio. B. Esporangióforo não ramificado com columela e colar. C. Esporóforo simpodialmente ramificado contendo apenas esporângios. D. Esporangiosporos. E. Células gigantes.



4.3.4 *Mucor minutus* (Baijal & B.S. Mehrotra) Schipper, Stud. Mycol. 10: 24 (1975)

Figura 18

Colônias primeiramente brancas, tornando-se e cinzas, colonizando toda a placa de Petri (9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura) em cinco dias, à 25°C em AEM.

Esporangióforos longos e curtos comuns. Esporangióforos longos com até 19 µm de diâmetro, com ramificações monopodiais e simpodiais. Esporângios escuros, com até 160 µm de diâmetro, ligeiramente equinulados. Columelas hialinas, obovoides, globosas, infrequentemente cônicas e aplanadas, 25–65 (– 85) × 25–80 (–95) µm. Esporangióforos curtos hialinos, com parede lisa 4,8–9,7 (–12) µm de diâmetro, repetidamente simpodialmente ramificados. Columelas cônicas e subglobosas, hialinas e com parede lisa 9,8– 19,5 (–36,5) ×x 7,5 – 9,7 (–25) µm de diâmetro. Esporangiosporos hialinos com parede lisa, subglobosos para elipsoidais, 2,4–4,85 (–7,3) µm de diâmetro. Zigosporos e clamidosporos não visualizados.

Material	examinado:	<i>Mucor</i>	<i>minutus</i> .	BRAZIL.	Pernambuco:
solo,	A.L.SM.		Alves		(URM8362)

Distribuição: São Paulo e Pernambuco, Brazil. É o primeiro registro para o nordeste do Brasil.

Figura 18 - *Mucor minutus* (URM 8362). A. Esporangióforo com esporângio. B. Esporângio com columela e esporangiosporos. C. Esporangióforo com columela. D, E, F. Esporangióforo ramificado. G. Esporangiosporos.

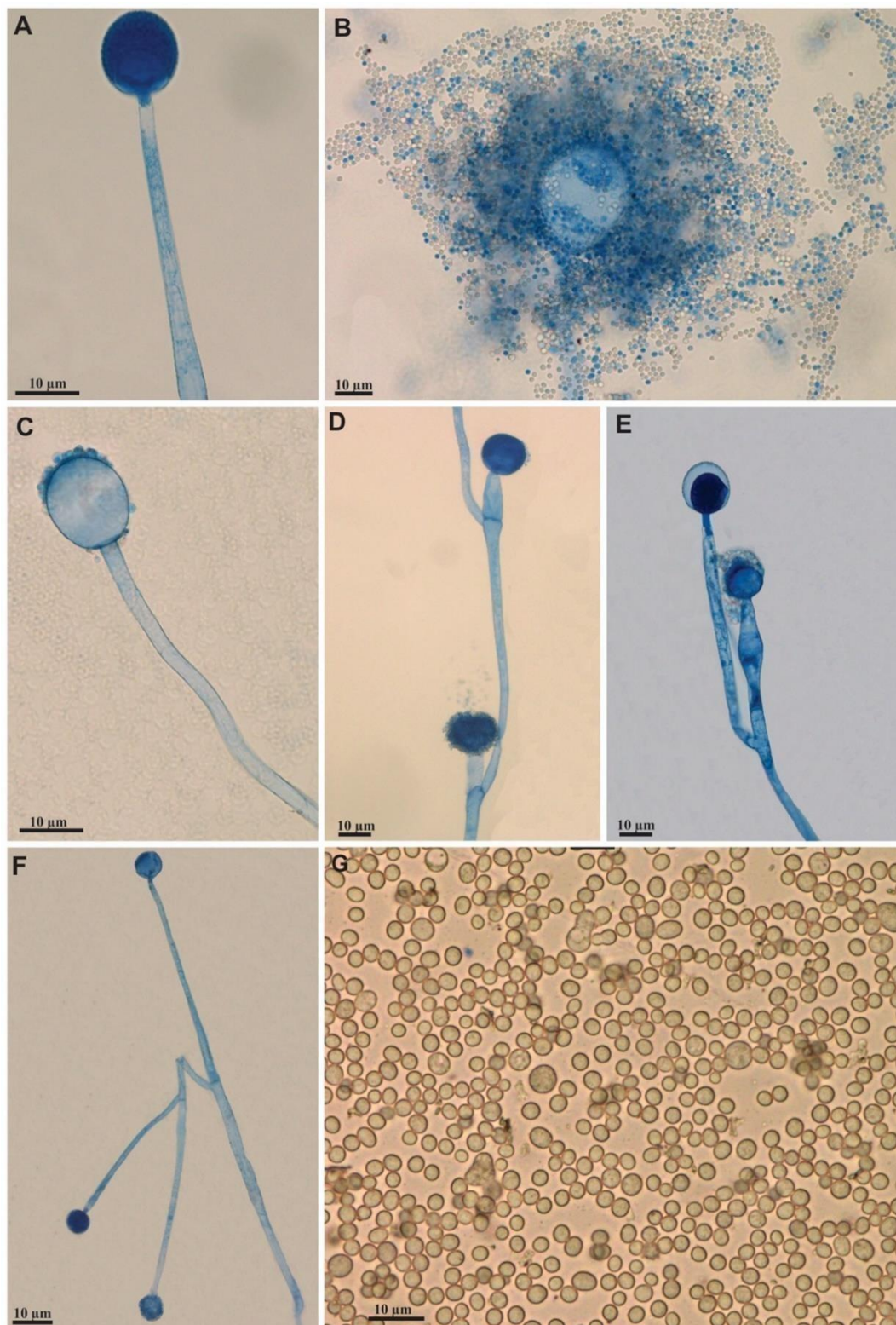
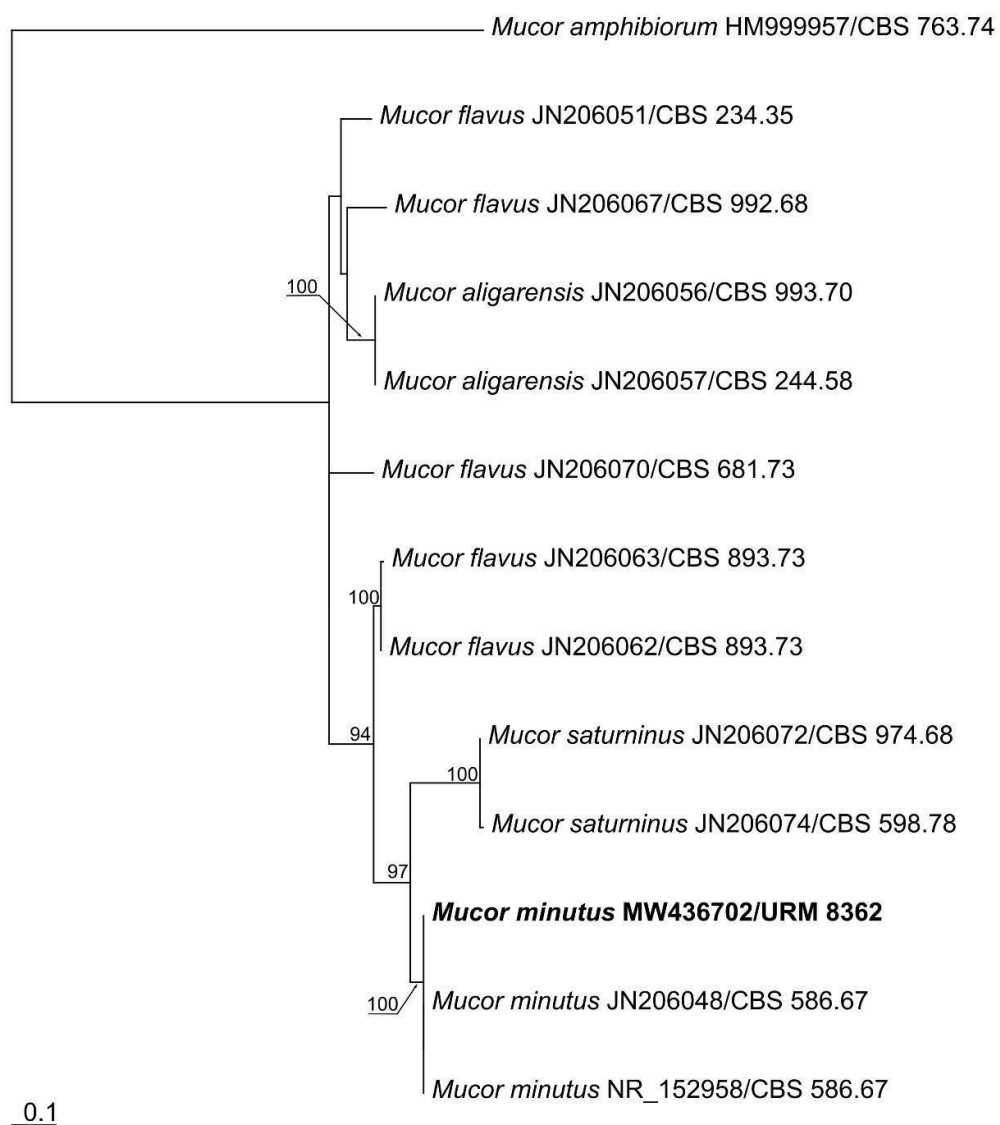


Figura 19- Árvore filogenética (ITS rDNA) de *Mucor minutus* e espécies relacionadas. Os valores de suporte são para análise de verossimilhança. *Mucor amphibiorum* foi usado como grupo externo. A sequência obtida nesse estudo está em negrito.



5 DISCUSSÃO

As estimativas do número de espécies de fungos em uma escala global previram entre 712.000 a 13,2 milhões de espécies (HAWKSWORTH 1991, 2001; SCHMIT & MUELLER, 2007, BLACKWELL, 2011; WU ET AL., 2019). Hawksworth & Lücking (2018) estimaram entre 2,2 e 3,8 milhões de espécies de fungos, das quais apenas 135.110 foram descritas até 2019 (Catálogo da Vida: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019/>). Lamentavelmente, considerando o número limitado de taxonomistas de fungos em todo o mundo e a taxa média de 2.000 espécies descritas por ano (HAWKSWORTH & LÜCKING, 2018), a tarefa de catalogar todas as espécies de fungos pode levar aproximadamente 1.430 anos (LÜCKING et al., 2020), o que torna urgente o trabalho de taxonomistas para descreverem o maior número de espécies possível antes que esses táxons sejam extintos.

Não há dúvidas de que a maioria das espécies de fungos conhecidas pertence aos filos Ascomycota e Basidiomycota, com apenas uma pequena porcentagem de espécies de fungos basais descritas, incluindo as pertencentes a ordem Mucorales (www.indexfungorum.org). Essas espécies estão distribuídas em todo o globo terrestre, com diferenças em seus padrões de distribuição (HAWKSWORTH, 2001). As regiões tropicais possuem elevada biodiversidade de organismos, principalmente de fungos (HYDE, 1997), e Hawksworth & Lücking (2018) chamaram a atenção para espécies não descritas que podem ser isoladas de “hot spots” tropicais, pelo fato dessas áreas serem pouco estudadas e por abrangerem espécies crípticas, que, por serem imperceptíveis a olho nú, acabam sendo negligenciados.

Em se tratando dos Mucorales, os estudos sobre a diversidade das espécies são fragmentados, e, no Brasil, 77 espécies dessa ordem foram reporadas (Flora do Brasil, 2020). Em se tratando de um país tropical, e, se considerando o número de espécies reportadas para o país, parece óbvio que a riqueza de espécies conhecida para essa ordem nos domínios brasileiros esteja subestimada. Para os brejos de altitude nordestinos foram registrados 37 táxons em brejos da Paraíba e de Pernambuco (SANTIAGO et al., 2013; CORDEIRO, 2014; ALVES, 2016; TIBPROMMA et al., 2017; DE SOUZA et al., 2018; LIMA, 2018b; DE SOUZA, 2019).

No presente trabalho, foram isolados 29 táxons de Mucorales do solo dos brejos das Serras do Jardim (Agrestina), do Vento (Belo Jardim) e do Benedito

(Gravatá), contribuindo para o conhecimento sobre a diversidade e riqueza desses fungos no Brasil, mais especificamente, nos brejos nordestinos. A maioria das espécies citadas nesse trabalho foram reportadas por outros autores no Brasil (SCHOENLEIN-CRUSIUS et al., 1996; SCHOENLEIN-CRUSIUS & MILANEZ 1997, 1998; SCHOENLEIN-CRUSIUS et al., 2006; SANTIAGO et al., 2013; ALVES, 2016; LIMA et al., 2017; DE LIMA, 2018; LIMA, 2018b; DE SOUZA, 2019). Entretanto, esse estudo apresenta duas espécies novas (*Absidia* sp. e *Gongronella* sp. 1), uma provável espécie nova (*Gongronella* sp. 2) e dois novos registros para o Nordeste do Brasil: *Backusella gigacellularis* e *Mucor minutus*.

O gênero mais representativo neste estudo foi *Mucor*, como foi reportado como de souza (2019), em outras áreas de brejos de altitude. Esse resultado era esperado, tendo em vista que *Mucor* abriga aproximadamente 90 espécies, sendo esse o gênero de Mucorales com o maior número de espécies válidas (WIJAYAWARDENE et al., 2018), e, assim como todos os gêneros isolados nesse trabalho, é comum em solo (LIMA, 2018b; SANTIAGO et al., 2013; DE SOUZA, 2019). No entanto, destaca-se, *M. merdicola*, que, até o presente, apenas havia sido isolada de excrementos de *Bos taurus*, da raça holandesa, em um área de caatinga no nordeste (LI et al., 2016), sendo esse o primeiro registro dessa espécie em solo e em brejos de altitude. *Absidia* foi segundo gênero mais representativo em número espécies, sendo esse o segundo gênero em número de espécies descritas (20 spp.) dentro dessa ordem, cujos representantes também são comuns em solo (LIMA et al., 2020).

Absidia cylindrospora, *A. pseudocylindrospora*, *A. repens*, *C. elegans*, *R. stolonifer*, *M. hiemalis*, *M. circinelloides*, *M. luteus* e *M. lusitanicus*, isoladas nesse trabalho, foram isoladas do solo de áreas de Mata Atlântica do estado de São Paulo, na cidade de Cubatão, e em solos contaminados por metais tóxicos, em Santa Gertrudes (TRUFEM 1981; SIMÕES; TAUKE- TORNISIELO 2005; SCHOENLEIN-CRUSIUS et al., 2006; DE SOUZA et al., 2008). *Absidia cylindrospora*, *C. elegans*, *Gongronella butleri*, *Lichtheimia brasiliensis*, *M. circinelloides*, *M. hiemalis*, *M. luteus*, *R. stolonifer* e *Syncephalastrum racemosum*, presentes nesse trabalho, foram reportadas em solo da Caatinga (SANTIAGO e SOUZA-MOTTA, 2006; OLIVEIRA et al., 2013; SANTIAGO et al., 2013; LIMA et al., 2015), enquanto *A. caatinguensis*, *A. cornuta*, *A. cylindrospora*, *B. constricta*, *B. lamprospora*, *B. gigacellularis*, *G. brasiliensis*,

M. irregulares, *R. stolonifer*, *A. pseudocylindrospora*, *C. clavata*, *C. bertholletiae*, *G. butleri* foram citadas em solo de brejos de altitude (SANTIAGO et al., 2013; DE SOUZA et al., 2014; ARIYAWANSA et al., 2015; DE SOUZA et al., 2016; ALVES, 2016; ALVES et al., 2017; TIPBPROMMA et al., 2017; LIMA, 2018; DE SOUZA et al., 2019; LIMA et al., 2020). No entanto, a presença de duas espécies de *Lichtheimia*, mesmo com baixo número de UFCs, nos solos de duas áreas, é inesperada, tendo em vista que se trata de um gênero cujas espécies são termotolerantes, com ótimo crescimento entre 35 e 53 °C (HOFFMANN et al., 2007; SANTIAGO et al. 2014), e que têm sido comumente isoladas em áreas semiáridas no Brasil (CAVALCANTI et al., 2006; SANTIAGO & SOUZA-MOTTA, 2006; SANTIAGO et al., 2014; LIMA et al., 2016). De toda forma, o baixo número de UFCs dessas espécies pode ser explicado pela preferência das mesmas por ambientes com maiores temperaturas médias, como o observado por de Souza (2019). *Syncephalastrum racemosum* e *Rhizopus stolonifer* também podem crescer em temperaturas mais elevadas, mas têm sido comumente isolados de áreas de Mata Atlântica e de brejos de altitude, no Brasil (Flora do Brasil, 2020).

A riqueza de espécies de Mucorales verificada nesse estudo foi menor do que a citada por de Souza (2019) e por Lima (2018b), em que o primeiro autor reportou 45 espécies nas amostras de solo dos brejos da Serra do Bituri, Taquaritinga do Norte e Sítio Carro Quebrado (PE), enquanto o segundo isolou 38 espécies de Mucorales de solo dos brejos da Serra de Bonito e do Sítio da Palmeira, localizados nos municípios de Bonito e Camocim de São Félix (PE), respectivamente. No entanto, a riqueza observada nesse estudo foi semelhante à reportada por Alves (2016), que isolou 25 táxons de Mucorales dos brejos pernambucanos da Serra dos Cavalos, Serra do Jenipapo e Serra Negra. Mais estudos são necessários para o entendimento sobre essas diferenças de riqueza encontradas. No entanto, é possível que diferenças nas metodologias de amostragem, épocas do ano em que as coletas foram realizadas, bem como os fatores bióticos e abióticos de cada área tenham influenciado na riqueza de fungos mucoráceos e expliquem as diferenças reportadas entre esse estudo e os supracitados.

Nos solos dos brejos de altitude inventariados, *C. bertholletiae* apresentou o maior número de UFC.g⁻¹ de solo, em concordância com os resultados obtidos por Lima (2018b), que, verificou que, no solo da do brejo da

Serra de Bonito, *C. bertholletiae* também apresentou maior número de UFC.g⁻¹ de solo. Da mesma forma, de Souza (2019) reportou *C. bertholletiae* como uma das espécies com maior número de UFC.g⁻¹ de solo. Tais dados sugerem que essa espécie apresenta prevalência nos solos de brejos de altitude (pelo menos, nos inventariados nesse estudo e pelos autores supracitados) e que esses brejos podem possuir características na composição do solo semelhantes, e também por estarem localizados todos no agreste de Pernambuco (TABARELLI et al., 2005; RODRIGUES et al., 2008; CRUZ et al., 2013). Essa espécie também foi a única muito frequente (FO = 11,1) e uma das poucas comuns (AR: 1,56) nos solos dos brejos. A elevada frequência de *C. bertholletiae* em solo foi também notificada por Lima (2018b), em estudo sobre a diversidade de Mucorales em duas áreas de brejos de altitude de Pernambuco, que verificou as maiores frequências para *Absidia* sp. e *C. bertholletiae*, corroborando os nossos resultados. De Souza (2019) isolou, nos brejos da Serra do Bituri, de Taquaritinga do Norte e do Sítio Carro Quebrado, pertencentes aos municípios de Brejo da Madre de Deus, Taquaritinga do Norte e Triunfo, respectivamente, como espécies mais frequentes, *G. butleri*, *Absidia* sp. 1, *A. caatinguensis* e *C. bertholletiae*. No entanto, contrapondo os dados obtidos nesse estudo, Santiago et al. (2013) reportaram *C. echinulata* var. *echinulata* como a mais frequente, seguida por *A. cylindrospora* var. *cylindrospora* e *Lichtheimia hyalospora*, no solo do brejo de altitude de Triunfo - PE. Assim como Alves (2016), que isolou com mais frequência *G. butleri*, *Cunninghamella* sp. 1 e *C. elegans*.

Quanto à abundância relativa dos Mucorales nos brejos estudados, apenas *C. bertholletiae* e *Gongronella* sp.1 foram comuns, enquanto a maioria das espécies foram raras, com algumas ocasionais. Resultado similar foi obtido por Lima (2018b), em que *C. bertholletiae* também foi um dos isolados mais abundantes isolados em seu estudo em brejos de altitude de Pernambuco, e por de Souza (2019), quando, dentre seus isolados, reportou *C. bertholletiae* como uma das espécies mais abundantes. *Cunninghamella bertholletiae* é comum em solo e tem sido isolada desse substrato em em diferentes países, inclusive em áreas tropicais. Interessante notar que essa espécie suporta temperaturas elevadas de até 43°C (Zheng & Chen, 2001), maiores do que as registradas nos brejos de altitudes inventariados até o presente.

Os resultados mostraram que os índices de riqueza e diversidade

Mucorales nos brejos das Serras do Jardim ($S= 19$; $H'= 2,497$) e do Vento ($S= 17$; $H'= 2,636$) foram estatisticamente iguais, mas os da Serra do Benedito ($S= 22$; $H'= 2,991$) foram significativamente maiores (Tabela 3). Isso mostra que embora as áreas sejam semelhantes quanto à altitude, temperatura e precipitação medias anual, cada uma comporta uma estrutura microbiana única. De fato, o grau de similaridade entre os brejos da serra do Jardim e do Vento foi o maior (75,76%) (Tabela 5), com a estrutura da comunidade fúngica na Serra do Benedito se distinguindo ligeiramente das demais (Tabela 5, Figura 10). De Souza (2019) desmonstrou indicadores de diversidade de Mucorales equivalente entre solos da Serra do Bituri (Brejo da Madre de Deus - PE) ($S= 28$, $H' = 2,763$) e Brejo de Taquaritinga do Norte (Taquaritinga do Norte - PE) ($S= 28$, $H'= 2,561$). O mesmo foi corroborado por Lima (2018b) em um estudo nas áreas de brejos da Serra de Bonito (Bonito - PE) e do Sítio da Palmeira (Camocim de São Félix- PE). Embora o conhecimento sobre a ecologia dos Mucorales em brejos de altitude ainda seja escasso, observa-se que a estrutura das comunidades e a diversidade desse grupo de fungos em algumas áreas de brejo podem variar em maior ou menor grau (dados ainda não publicados). Pelo menos para alguns ecossistemas da Mata Atlântica, Lima (2020) mostrou que o pH do solo foi responsável por 53,32% e 47,24% da variação da riqueza e abundância de Mucorales em solos desse domínio, concluindo que esse é o atributo mais importante na delimitação da estrutura das comunidades de Mucorales na áreas inventariadas. Infelizmente, nós não temos os dados de pH das nossas amostras para comparação, mas foi verificado nesse estudo que a temperatura e a precipitação influenciam a distribuição de Mucorales nas áreas estudadas nesse trabalho.

De fato, a análise da composição dos Mucorales nos brejos inventariados, realizada pelo NMDS, demonstrou que a distribuição dos fungos é principalmente influenciada pela temperatura e precipitação, corroborando os estudos realizados na Europa, com fungos decompositores de madeira, que demonstram que um dos mais importantes motores da estrutura da comunidade de fungos, em escala geográfica, são fatores climáticos (Heilmann-Clausen et al., 2014). Esses mesmos fatores exerceram influência direta no estudo de Xavier et al. (2018), em que foi observado que a distribuição dos fungos poroides foi principalmente relacionada à precipitação anual e à temperatura. O modelo de similaridade Euclidiana vem por sua vez ratificar essa afirmação, demonstrando

que as espécies com maior similaridade se agrupam em concordância com a pluviosidade e temperatura, indicando que esses dois fatores influenciam na distribuição das espécies de Mucorales nas áreas em estudo. No entanto, deve-se considerar que a análise NMDS não evidenciou a influência da distância geográfica dos brejos com relação à distribuição do Mucorales. Segundo Santos & Tabarelli (2006), a proximidade geográfica nem sempre explica o padrão de distribuição das espécies de plantas nem a semelhança florística entre diferentes localidades em brejos de altitude.

De acordo com as teorias de Whittaker (1960) e Magurran (2004), a diversidade alfa (α) ou diversidade local é o número total de espécies (diversidade média) em um habitat; a diversidade beta (β) é a de mudança das espécies ao longo de um gradiente ambiental, ou seja, a diferenciação entre os habitats; e a diversidade gama (γ) ou diversidade regional é o número total de espécies observado em todos os habitats (paisagem), sendo β uma métrica resultante da proporção entre γ e α (TUOMISTO, 2010). Nessas condições, no geral, os valores de α -diversidade acompanharam linearmente o coeficiente Shannon-Wiener (Tabela 3 e Tabela 7), sendo este último uma estimativa da α -diversidade para o número de espécies em um habitat sem atribuir peso diferentes às dominantes. Os valores da γ -diversidade tenderam a acompanhar linearmente os da α -diversidade dentre os três brejos, o que resultou no relativo equilíbrio nos valores de β -diversidade (Tabela 7A), mostrando que mudanças na estrutura e diversidade das comunidades de Mucorales estão mais relacionadas a fatores locais do que com o gradiente longitudinal (distância geográfica) estabelecido entre as áreas.

Com relação aos períodos de amostragem, as coletas C2 apresentaram menores valores de β -diversidade (Tabela 7B), estando dentre as mais centrais no modelo de NMDS, sendo uma região de indecisão entre os vetores precipitação e temperatura médias anuais (Figura 10). No entanto, a amostra C2 apresentou o segundo maior valor de α -diversidade (7,7), inferior apenas a C8 (9,3), que foi a amostra com os maiores índices em geral.

Embora não tenha sido objetivo desse trabalho avaliar os efeitos da antropização sobre a diversidade e riqueza dos Mucorales nos brejos estudados, nos chama atenção o fato de que a antropização aparentemente não influenciou significativamente na riqueza e diversidade de Mucorales no brejo da Serra do Vento, já que essa área foi devastada para construção de casas e para agricultura

de família. Fato semelhante foi verificado por Freitas (2020), que também não verificou diferenças nas comunidades de Mucorales entre as áreas de Mata Atlântica antropizadas e nativas, localizadas na Bahia e em Alagoas. De Souza (2019) também reportou elevada similaridade das comunidades de Mucorales no solo dos brejos de Taquaritinga do Norte, Serra do Bituri e Sítio do Carro Quebrado, mesmo que esse último brejo fosse o mais antropizado, o que indica que, de maneira geral, os Mucorales parecem ter boa adaptabilidade, mesmo em ambientes antropizados, ou pode ser que os processos de antropização sejam recentes e os efeitos dos mesmos ainda não sejam evidentes nas comunidades de Mucorales.

As curvas de acumulação de espécies, gerada com base nos estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1, indicaram que a riqueza esperada não foi alcançada, nos três brejos estudados, assim como o observado no estudo de Lima (2018b), na serra do Bonito e sítio da Palmeira. De acordo com de Souza (2019), esse resultado se justifica pelo número elevado de espécies raras e/ou a quantidade de uniques, duplicates e dubletons, obtidos no solo desse brejo, visto que esses estimadores não paramétricos são baseados na abundância e consideram o número de espécies raras (COLWELL et al., 2004).

Até o presente, apenas 37 espécies de Mucorales haviam sido relatadas para os brejos de altitude de Pernambuco (SANTIAGO et al., 2013; CORDEIRO, 2014; ALVES, 2016; ALVES et al., 2017; TIBPROMMA et al., 2017; DE SOUZA et al., 2018; LIMA et al., 2018; LIMA, 2018b; CROUS et al., 2019). Nesse estudo, foram identificados 28 táxons de Mucorales, incluindo duas novas espécies (*Gongronella* sp.1 e *Absidia* sp.), uma provável nova espécie (*Gongronella* sp. 2), além de dois novos registros para brejos de altitude: *B. gigacellularis* e *M. minutus*. Dessa forma, é importante salientar a importância de estudos do levantamento da diversidade de Mucorales em áreas brejos de altitude e outros ecossistemas do semiárido brasileiro, para abolir a ideia de que a riqueza desses microrganismos nesse domínio é baixa, bem como motivar pesquisas futuras nesses ambientes, além de chamar a atenção para a conscientização da preservação dos brejos nordestinos.

5.1 TAXONOMIA

Como citado no item 3.5, as descrições de *Absidia* sp. 1 e *Gongronella* sp. 1, identificadas no presente estudo, como novas, não serão fornecidas porque as mesmas ainda não foram publicadas.

5.1.1. *Absidia* sp.

Descrita por van Tiegh (1878), *Absidia* possui características morfológicas como: 1. Esporangióforos eretos, simples ou ramificados, tipicamente surgindo ao longo de estolões (solitários ou em cachos) e comumente contendo um septo abaixo de esporângios apofisados e piriformes, com parede deliquescente; 2. Columelas geralmente variadas em forma, podendo exibir de uma a três projeções apicais que podem apresentar ou não uma extremidade bulbosa; 3. Zigosporos formados a partir de células suspensoras opostas mais ou menos iguais e adornadas com apêndices (BENNY et al., 2014). Atualmente, 34 espécies de *Absidia* são aceitas (www.speciesfungorum.org), dentre as quais dez foram isoladas no Brasil (FLORA DO BRASIL, 2020), incluindo *A. caatinguensis* D.X. Lima & A.L. Santiago (ARIYAWANSA et al., 2015), *A. cornuta* D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago, *A. multispora* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al., 2020), *A. pernambucoensis* D.X. Lima, C.M. Souza-Motta & A.L. Santiago (LIMA et al., 2020), *A. saloaensis* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al., 2020) e *A. bonitoensis* C.L. Lima (LMA et al., 2021), isoladas de Mata Atlântica e de brejos de altitude, em Pernambuco. De acordo com o Blastn, a sequência LSU de *Absidia* sp. exibiu 88% de similaridade com *A. saloaensis*, sendo, portanto, nova. Morfologicamente, ambas as espécies são bem semelhantes, pois formam columelas em forma de morango ou figo, além de esporangiosporos cilíndricos. No entanto, os esporangióforos de *Absidia* sp. são menores (até 160 µm de comprimento) do que os de *A. saloaensis* (até 280 µm de comprimentos). Além disso, as columelas de *Absidia* sp. exibem projeções cônicas e filiformes com extremidade bulbosa, enquanto as de *A. saloaensis* têm projeções cônicas, elípticas e em forma de agulha. Ainda, os esporangiosporos produzidos por *A. saloaensis* são cilíndricos, com alguns elípticos com uma constrição central, com (3.5–) 5–7 (9.5) × 2.5–

3.5 (–5) μm , diferentes dos de da *Absidia* sp., que são unicamente cilíndricos e com 2,5–5 μm de diâm. *Absidia* sp. forma rizoides pouco ramificados, contrapondo-se aos rizoides de *A. saloaensis* que são bem ramificados. Embora padrões de ramificação dos rizoides não sejam características seguras (observações da autora) para a diferenciação de espécies de *Absidia*, esses padrões podem ser utilizados em conjunto com outras caracteírticas morfológicas e genéticas para a delimitação de espécies desse gênero.

5.1.2 *Gongronella* sp. 1

Gongronella foi descrito por Ribaldi (1952), para acomodar *G. urceolifera* Ribaldi. Até 2015, apenas duas espécies eram aceitas para esse gênero: *G. butleri* e *lacrispora*. Atualmente, esse gênero abrange dez espécies: *G. brasiliensis*, *G. butleri*, *G. Guangdongensis*, *G. koreana*, *G. lacrispora*, *G. orasabula*, *G. pedratalhadensis*, *G. zunyiensis*, *G. eborensis* e *G. namwonensis*. De acordo com nossas análises morfofisiológicas e filogenéticas (ITS rDNA), *Gongronella* sp. 1. exibe dados genéticos e características morfológicas bem suportados, diferenciando-a das outras espécies do gênero, estando a mesma separada das outras espécies na árvore filogenética (Figura 16), sendo *G. lacrispora* a espécie geneticamente mais próxima com 95,7% de similaridade pelo BLASTn.

Morfolologicamente, *Gongronella* sp. 1. difere de *G. lacrispora* por formar rizoides, que estão ausentes em *G. lacrispora*. Além disso, a nova espécie forma esporângios estéreis (abortivos) em culturas jovens e velhas, enquanto, em *G. lacrispora*, esporângios abortivos são visualizados apenas em culturas antigas. Os esporangiosporos de *Gongronella* sp. 1. são em forma de feijão, alguns irregulares, diferentes dos esporangiosporos em forma de lágrima de *G. lacrispora* (Upadhyay 1969). A formação de esporângios sésseis perto dos esporângios principais também pode ser observada em *G. butleri*, sendo que, nessa espécie, esses esporângios são ocasionalmente verificados ao longo das ramificações, mas nunca perto dos esporângios principais.

5.1.3 *Backusella gigacellularis*

O gênero *Backusella*, descrito por Ellis & Hesseltine (1969), foi criado para acomodar espécies de fungos que produzem esporângios multispóridos terminais, bem como esporangiólas uni e/ou multispóridos que surgem lateralmente de esporangióforos (Benny 2005). Este gênero sofreu modificações

por Benny & Benjamin (1975) e Benny et al. (2014). Walther et al. (2013), em uma revisão usando sequências ITS e LSU de rDNA, propôs a transferência de todas as espécies de *Mucor* com esporangióforos transientemente recurvados, quando jovens, para *Backusella*. Atualmente, o gênero compreende vinte e cinco espécies: *B. azygospora*, *B. circina*, *B. constricta*, *B. gigacellularis* J.I. Souza, Pires-Zottar. & Harakava, *B. grandis*, *B. granulispota*, *B. indica*, *B. johorensis*, *B. lamprospora*, *B. locustae*, *B. oblongispota*, *B. oblongieliptica*, *B. recurva*, *B. tuberculispota*, *B. variabilis*, *B. australiensis*, *B. liffmaniae*, *B. luteola*, *B. macrospora*, *B. mclennaniae*, *B. morwellensis*, *B. parvicylindrica*, *B. psychrophila*, *B. tarrabulga*, *B. westae*. Esse é o segundo relato mundial de *B. gigacellularis* e o primeiro para o nordeste do Brasil.

Algumas diferenças morfológicas foram observadas entre *B. gigacellularis* URM 7894 e o holótipo, descrito por de Souza et al. (2014). Esporangióforos de até 20 μm de diâmetro foram encontrados em *B. gigacellularis* URM 7894, maiores do que os descritos por de Souza et al. (2014), que são de até 16,8 μm . Observaram-se columelas globosas, subglobosas, cônicas e ligeiramente cilíndricas, 20–40 (–50) $\times$ 20–45 μm no isolado descrito nesse trabalho, enquanto de Souza et al. (2014) relataram columelas elipsóides, cilíndricas e raramente piriformes, 9,4–53 $\times$ 8,2–46 μm . Os esporangiólos de *B. gigacellularis* URM 7894 são maiores (até 28 μm em diâmetro) do que os do holótipo, que alcançam, no máximo, 23 μm em diâmetro.

Este é o primeiro registro de *B. gigacellularis* no Nordeste do Brasil, anteriormente de Souza et al. (2014) registraram *B. gigacellularis* no bioma Cerrado no estado de São Paulo.

5.1.4 *Mucor minutus*

Mucor Fresen. é o gênero mais representativo dentro da ordem Mucorales, com aproximadamente 91 espécies descritas (Wijayawardene et al. 2020). Os táxons desse gênero são caracterizados por produzirem esporangióforos simples ou ramificados, que surgem diretamente do substrato e portam esporângios não apofisados, globosos e/ou subglobosos. Algumas espécies produzem rizóides

(por exemplo, *M. luteus* Linnem. Ex Wrzosek e *M. irregularis* Stchigel, Cano, Guarro & E. Álvarez) (Benny et al. 2014).

Tanto a morfologia (Figura 14) quanto a filogenia (ITS rDNA) (Figura 15) mostraram que URM 8362 é um *Mucor minutus*, e as características morfológicas de URM 8362 estão de acordo com a descrição de Schipper (1975). No entanto, algumas diferenças morfológicas foram observadas entre URM 8362 e o holótipo. Esporangióforos longos, de até 20 µm de diâmetro, foram observados no espécime aqui descrito, menores que os descritos por Schipper (1975), que podem atingir até 30 µm de diâmetro. Os esporângios dos esporangióforos longos de URM 8362 são menores do que os descritos por Schipper (1975), que têm até 175 µm de diâmetro. Além disso, URM 8362 exibe columelas dos esporangióforos longos como sendo obovóides, globosas, raramente cônicas e achatadas, de até 85 × 95 µm de diâmetro, enquanto Schipper (1975) relatou columelas dos esporangióforos longos como obovóides a elipsóides, raramente piriformes, de até 135 × 97 µm de diâmetro. As columelas dos esporangióforos curtos descritos aqui são cônicas e subglobosas, com até 36,5 × 25 µm de diâmetro, ao contrário das relatadas para o holótipo, que são cilíndricas a elipsóides, algumas cônicas a achatadas, até 125 µm de diâmetro. Nguyen et al. (2017) observaram a presença de um a três septos abaixo das columelas, ao contrário do nosso isolado e do holótipo (Schipper 1975), que não exibem mais de um septo abaixo das columelas.

Mucor minutus minutus é uma espécie rara apenas reportada na Austrália, Brasil, Índia, Coreia do Sul e Malásia (BISSETT et al. 2016; VERKLEIJ 2020; WILLIAMS & LIU 1976; NGUYEN et al. 2017). No Brasil, *M. minutus* foi previamente isolada por Schoenlein-Crusius et al. (2006), em uma área de Mata Atlântica, localizada no município de Cubatão, estado de São Paulo. Esse é o primeiro relato dessa espécie para o nordeste do Brasil.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, dentro das condições experimentais estabelecidas, conclui-se que:

- Nos brejos da Serra do Jardim, Serra do Vento e Serra do Benedito a comunidade de Mucorales é representada por 28 espécies.

- Dezenove espécies dos gêneros *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus* fazem parte da comunidade de Mucorales do brejo da Serra do Jardim.
- Vinte e duas espécie de *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus* fazem parte da micobiota do solo do Brejo da Serra do Benedito.
- Dezesete espécies de *Absidia*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichthemia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum* fazem parte da comunidade de Mucorales do brejo da Serra do Vento.
- *Cunninghamella bertholletiae* é o taxon mais frequente, seguido por *Gongronella* sp. 1 e *Absidia cornuta*, nos solos dos brejos de altitude inventariados.
- *Cunninghamella bertholletiae*, *Gongronella* sp. 1. e *A. cornuta* são as espécies mais abundantes nos solos dos brejos das Serras do Jardim, do Vento e do Benedito;.
- *Backusella gigacellularis* e *Mucor minutus* ocorrem no nordeste do Brasil, mais especificamente no brejo da Serra do Benedito.
- *Absidia* sp. 1 e *Gongronella* sp. 1 são novas espécies, enquanto *Gongronella* sp. 2 é uma provável nova espécie.
- A temperatura e umidade são fatores que influenciam na distribuição das espécies nos brejos estudados.
- A equitabilidade, diversidade e riqueza de Mucorales nos solos inventariados são estatisticamente superiores no brejo da Serra do Benedito, em relação aos outros dois brejos, mas não diferem entre os brejos das Serras do Jardim e do Vento;
- As comunidades de Mucorales dos brejos inventariados, com relação à composição de espécies, são similares, sendo a semelhança maior entre os brejos das Serras do Jardim e do Vento.
- Coletas de solo adicionais devem ser realizadas nas três áreas estudadas, para que um melhor conhecimento da riqueza de espécies de Mucorales nesses brejos.

REFERÊNCIAS

- ABE et al. Microflora and selected metabolites of potato pulp fermented with an Indonesian starter Ragi Tapé. **Food Technology Biotechnology**, v. 42, p. 169–73, 2004.
- AB' SABER, A. N. **Brasil: Paisagens de exceção**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2006.
- ADAMČÍK et al. Fungal Biodiversity Profiles 1–10. **Cryptogamie Mycologie**, v. 36, p. 121–166, 2015.
- ALEXOPOULOS, C. J. **Introductory Mycology**. 2^a ed. New York: John Wiley & Sons, 1962.
- ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. **Phylum Zygomycota: class Zygomycetes**. In.: Alexopoulos et al. (eds.), **Introductory mycology**, 4th edition. New York, John Wiley & Sons. pp. 127–171, 1996.
- ÁLVAREZ et al. Spectrum of Zygomycete species identification in clinically significant specimen in the United States. **Journal of Clinical Microbiology**, v.47, p. 1650–1656, 2009.
- ÁLVAREZ et al. Two new species of *Mucor* from clinical samples. **Medical Mycology**, v. 49, p. 62–72, 2011.
- ALVAREZ, E.D. El Subphylum Mucoromycotina: generalidades y aspectos taxonómicos recientes (Mucoromycotina Subphylum: overview and recent taxonomic aspects). **Boletín micológico**, v. 28, p. 16–25, 2013.
- ALVES, M.A, et al. Detection of extracellular protease in *Mucor* species. **Revista Iberoamericana de Micología**, v. 22, p. 114–117, 2005.
- ALVES, A.L.S.M. **Diversidade de Mucorales em solos de brejos de altitude do semiárido de Pernambuco**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil. p. 86, 2016.
- ALVES et al. *Cunninghamella clavata* from Brazil: a new record for the western hemisphere. **Mycotaxon**, v. 132, p. 381–389, 2017.
- ALVES et al. First occurrence of *Backusella gigacellularis* (Mucorales, Mucoromycota) in a fragment of an Upland Forest within the semi-arid region of northeastern Brazil. **Rodriguésia**, v. 72, p.1–5, 2021.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 123–150, 1981.
- ANDRADE-LIMA, D. **Present day forest refuges in Northeastern Brazil**. In.: Prance, G.T. (ed.). **Biological Diversification in the Tropics**. New York: Columbia University Press. pp 245–254, 1982.

AKINMUSIRE, O.O. Fungal Species Associated with the Spoilage of Some Edible Fruits in Maiduguri Northern Eastern Nigeria. **Advances in Environmental Biology**, v. 5, p. 157–161, 2011.

ARAÚJO et al. **Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga**. In.: ARAÚJO, F.S. et al. (eds.). Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: Suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 446, 2005.

ARAÚJO, S.M.S. A região do semiárido do nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Revista científica da FASETE**, v. 5, p. 87–98, 2011.

ARIYAWANSA et al. Fungal diversity notes 111–252—taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal diversity**, v. 75, p. 27–274, 2015.

BAIJAL, U.; MEHROTRA, B.S. The genus *Cunninghamella* a reassessment. **Sydowia**, v. 33, p. 1–13, 1980.

BAINIER, G. Sur quelques espèces de Mucorinées nouvelles ou peu connues. **Bulletin trimestriel de la Société mycologique de France**, v.19, p. 153–172, 19

BARBOSA, F.F.; GUSMÃO, L.F.P. Two *Speiropsis* species (Anamorphic Fungi- yphomycetes) from Bahia State, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 515–518, 2005.

BEAUVERIE, J. *Mycocladius verticillatus* (gen. nov. sp. nov.). Annales de l'université de Lyon, Séries 2, Sciences. **Médecine** v. 3, p. 162–180, 1900.

BELTRÃO et al. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Diagnóstico do Município de Agrestina Estado de Pernambuco. **Ministério de Minas e energia**. 2005.

BENJAMIN, C.R.; HESSELTINE, C.W. The genus *Actinomucor*. **Mycologia**, v. 49, 240–249, 1957.

BENJAMIN, R.K. The merosporangiferous Mucorales. **Aliso**, v. 4, p. 321–433, 1959.

BENJAMIN, R.K. Two new members of the Mucorales. **Aliso**, v. 4, 523–530, 1960.

BENJAMIN, R.K.; MEHROTRA, B. S. Obligate azygospore formation in two species of *Mucor* (Mucorales). **Aliso**, v.5, p. 235–245, 1963.

BENNY, G.L.; BENJAMIN, R.K. Observations on Thamnidaceae (Mucorales). New taxa, new combinations, and notes on selected species. **Aliso**, v. 8, p. 301–351, 1975.

BENNY, G.L.; BENJAMIN, R.K.; KIRK, P.M. A reevaluation of Cunninghamellaceae (Mucorales). Sigmoideomycetaceae fam. nov. and Reticulocephalis gen. nov.; cladistic analysis and description of two new species. **Mycologia**, v. 84, 615–641, 1992.

BENNY, G.L.; O'DONNELL, K.L. *Amoebidium parasiticum* is a protozoan, not a Trichomycete. **Mycologia**, v. 92, p. 1133–1137, 2000.

BENNY, G.L. **Zygomycota: Trichomycetes**. In.: MCLAUGHLIN, D.J.; MCLAUGHLIN, E.G.; LEMKE, P.A. (orgs.) The Mycota. Systematics and Evolution. Berlin, Springer-Verlag. pp. 184–195, 2001.

BENNY, G.L.; HUMBER, R.A.; MORTON, J.B. **Zygomycota: Zygomycetes**. In.: MCLAUGHLIN, D.J.; MCLAUGHLIN, E.G.; LEMPKE, P.A. (orgs.) The Mycota. Vol. VII. Systematics and Evolution. Part A. Berlin: Springer-Verlag, pp. 113–146, 2001.

BENNY, G.L. **Zygomycetes**. Publicado na Internet em <http://www.zygomycetes.org>. 2009.

BENNY, G.L.; HUMBER, R.A.; VOIGT, K. **Zygomycetous Fungi: Phylum Entomophthoromycota and Subphyla Kickxellomycotina, Mortierellomycotina, Mucoromycotina, and Zoopagomycotina**. In.: MCLAUGHLIN, D.J.; SPATAFORA, J.W. (orgs.) The Mycota VII Part A, Systematics and evolution. 2ª ed. Berlin: Springer-Verlag, pp. 209–250, 2014.

BERLÈSE, A.N.; DE TONI, J.B. **Phycomyceteae**. In.: SACCARDO'S, P.A.S.F.; R. FRIEDLÄNDER, R. S. (orgs.) Berlin, Germany. p. 181–322, 1888.

BIGARELLA et al. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies animais e vegetais no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**. v. 47, p. 411–464. 1975.

BILLS, G.F, et al. **Saprobic soil fungi**. In.: MUELLER, G.M.; BILLS, G.F.; FOSTER, M.S. (orgs.) Inventory and monitoring methods. Biodiversity Fungi, pp. 271–302, 2004.

BLACKWELL ,M. The fungi: 1, 2, 3.....5.1 million species? *Am J Bot* 98(3): 426–438.

BIDARTONDO et al. The dawn of symbiosis between plants and fungi. **Biology Letters**, v. 7, p. 574–577, 2011.

BISSETT et al. Introducing BASE: the Biomes of Australian Soil Environments soil microbial diversity database. **Gigascience**. v. 2, p. 16–126, 2016.

BORGES-NOJOSA, D.M.; CARAMASCHI, U. **Composição e análise comparativa da diversidade e das afinidades biogeográficas dos lagartos e**

anfíbenídeos (Squamata) dos brejos nordestinos. Ecologia e conservação da Caatinga (ed. by I.R. Leal, M. Tabarelli and J.M.C. Silva) Editora Universitária- UFPE, Recife. p. 463–512, 2003.

BUDZISZEWSKA, J.; PIATKOWSKA, J. Taxonomic position of *Mucor hiemalis* f. *luteus*. **Mycotaxon**, v. 111, p. 75–85, 2010.

BUAINAIN, A. M; GARCIA, J. R. Evolução recente do agronegócio no cerrado nordestino. **Estudos Sociedade e Agricultura**. v. 23, p. 166–195, 2015.

CAFARO, M. Eccrinales (Trichomycetes) are not fungi, but a clade of protists at the early divergence of animals and fungi. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 35, p. 21–34, 2005.

CALVACANTI et al. Fungos filamentosos isolados do solo em municípios da região Xingó, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 831–837, 2006.

CASTAÑEDA-RUIZ et al. Some hyphomycetes from Brazil. Two new species of *Brachydesmiella*, two new combinations for *Repetophragma* and new records. **Mycotaxon**, v. 95, p. 261–270, 2006.

CAVALCANTI, D.; TABARELLI, M. In: Porto, K.C., Cabral, J.J.P., Tabarelli, M. (Eds.), **Distribuição das Plantas Amazônico-Nordestinas no Centro de Endemismo Pernambuco: Brejos de Altitude vs. Florestas de Terras Baixas**, pp. 285–296, 2004.

CHEN, G. Q.; ZHENG, R.Y. A new species of *Mucor* with giant spores. **Acta Mycologica Sinica Supplement**, v. 1, p. 56–60, 1986.

CHANG et al. Phylogenomic analyses indicate that early fungi evolved digesting cell walls of algal ancestors of land plants. **Genome Biology and Evolution**, v. 7, p. 1590–1601, 2015.

COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 13–23, 2006.

COUTINHO, F.P.; CAVALCANTI, M.A. Q.; YANO-MELO, A.M. Filamentous fungi isolated from the rhizosphere of melon plants (*Cucumis melo* L. cv. Gold Mine) cultivated in soil with organic amendments. Scientific Note. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, p. 292–298, 2009.

COLWELL et al. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. **Ecology**, v. 85, n. 10, p. 2717–2727, 2004.

CROUS et al. Fungal Planet description sheets: 868–950. **Persoonia**, v.42, p. 291–473, 2019.

CROUS et al. Fungal Planet description sheets: 1042–1111. **Persoonia**, v. 44, p.

301–459, 2020.

CRUZ, A.C.R.; MARQUES, M.F.O.; GUSMÃO, L.F.P. Fungos anamórficos (Hyphomycetes) da Chapada Diamantina: novos registros para o Estado da Bahia e Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, p. 847–855, 2007b.

CRUZ et al. Conidial fungi from semiarid Caatinga biome of Brazil. New and interesting Dictyochaeta species. **Mycotaxon**, v. 106, p. 15–27, 2008.

CUNHA et al. **A pesquisa em ciência do solo no Semiárido brasileiro**. In.: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (orgs.). Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 2, p. 453–491, 2008.

CUTTER, V.M. The genus *Cunninghamella* (Mucorales). **Farlowia**, v. 2, p. 321–362, 1946.

DE CACERES, M.; LEGENDRE, P. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. **Ecology**, 2009.

DE HOOG et al. **Atlas of clinical fungi**, 3rd ed. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, The Netherlands. 2009.

DE SOUZA et al. Zygomycetes from “Reserva Biológica de Mogi Guaçu”, São Paulo State, Brazil. **Mycotaxon**, v. 116, p. 303–312, 2011.

DE SOUZA et al. A new species of *Backusella* (Mucorales) from a Cerrado reserve in Southeast Brazil. **Mycological Progress**, v. 13, p. 975–980, 2014.

DE SOUZA et al. Coprophilous Mucorales (ex Zygomycota) from three areas in the semi-arid of Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 48, p. 79–86, 2016.

DE SOUZA, C.A.F. et al. A new species of *Mucor* (Mucoromycotina, Mucorales) isolated from an enclave of Upland Atlantic Forest in the semi-arid region of Brazil. **Phytotaxa**, v. 351, p. 53 – 62, 2018.

DE SOUZA et al. *Mucor variicolumellatus* L. Wagner & G. Walther (Mucorales, Mucoromycota); a first record for the Neotropics. **Check Lis**, v. 16, p. 743–747, 2020.

DICKIE et al. Evolving insights to understanding mycorrhizas. **New Phytologist**, v. 205 p. 1369– 1374, 2015.

DIX, N.J.; WEBSTER, J. **Fungal ecology**. Chapman & Hall, London. pp. 549, 1995.

DOILOM et al. Screening of Phosphate-Solubilizing Fungi From Air and Soil in Yunnan, China: Four Novel Species in *Aspergillus*, *Gongronella*,

Penicillium, and *Talaromyces*. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 1–24, 2020.

DONG et al. *Gongronella zunyiensis* sp. nov. (Cunninghamellaceae, Mucorales) isolated from rhizosphere soil in China. **Phytotaxa**, v. 450, p. 290–296, 2019.

DOLATABADI et al. Diversity and delimitation of *Rhizopus microsporus*. **Fungal Diversity**, v. 64, p. 145–163, 2014.

DRECHSLER, C. New Zoopagaceae capturing and consuming soil amoebae. **Mycologia**, v. 30, p.137–157, 1938.

DRUMOND, M.A.; KIILL, L.H.P.; NASCIMENTO, C.E.S. Inventário e sociabilidade de espécies arbóreas e arbustivas da Caatinga na Região de Petrolina, PE. **Brasil Florestal**, v. 74, p. 37–43, 2002.

ELLIS, J.J.; HESSELTINE, L.W. A new member of the Mucorales. **Mycologia**, v. 61. p. 863–872, 1969.

FERNANDES, A.; BEZERRA, P. **Estudo fitogeográfico do Brasil**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 205 p, 1990.

FERREIRA, J.A. et al. Zygomycetes-based biorefinery: Present status and future prospects. **Bioresource technology**, v. 135, p. 523–532, 2013.

FLORA DO BRASIL 2020, ALGAS, FUNGOS E PLANTAS. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: 136
<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB120276>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

FREITAS, L.W.S. **Diversidade de fungos zigospóricos em áreas nativas e antropizadas da mata atlântica do nordeste brasileiro**. Dissertação de Mestrado, UFPE. 2020. p. 89

FREITAS et al. *Gongronella pedratalhadensis*, A new species of Mucorales (Mucoromycota) isolated from the Brazilian Atlantic Forest, with na identification key for the genus. **Sydowia**, v. 73, p. 61–68, 2020.

GHERBAWY et al. **Molecular barcoding of microscopic fungi with emphasis on the mucoralean genera *Mucor* and *Rhizopus***. In.:

GHERBAWY, Y.; VOIGT, K. (orgs.) Molecular identification of fungi. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. pp. 213–250, 2010.

GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, v. 2, p. 11–24, 2002.

GIULIETTI et al. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. In.: SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T (orgs.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio

Ambiente, Brasília, p. 20–37, 2004. GIULLIETI, A.M.; CONCEICAO, A.; QUEIROZ, L.P. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semiárido brasileiro**. Associacao Plantas do Nordeste, Recife. 2006.

GOMIDE et al. Fungos micorrízicos arbusculares em fitofisionomias do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 38, p.1114–1127, 2014.

GUSMÃO, L.F.P.; BARBOSA, F.R. *Hemibeltrania* (anamorphic fungi–Hyphomycetes) from Bahia State, Brazil. **Sitientibus-Série Ciências Biológicas**, v. 5, p. 17–19, 2005.

GUSMÃO et al. New species and records of Paliphora from the Brazilian semiarid region. **Mycologia**, v. 100, p. 306–309, 2008.

HAWKSWORTH, D.L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. **Mycological Research**, v. 95, p. 641–655, 1991.

HAWKSWORTH, D.L. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. **Mycological Research**, v. 105, p. 1422–1432, 2001.

HEILMANN-CLAUSEN et al. Communities of wood inhabiting bryophytes and fungi on dead beech logs in Europe – reflecting substrate quality or shaped by climate and forest conditions? **Journal of Biogeography**, v. 41, p. 2269–2282, 2014.

HESELTIME, C.W. Genera of Mucorales with notes on their synonymy. **Mycologia**, 47, 344–363, 1955.

HESELTIME, C.W.; ELLIS, J.J. The genus *Absidia*: *Gongronella* and cylindrical-spored species of *Absidia*. **Mycologia**, v. 56, p. 568–601, 1964.

HESELTIME, C.W.; ELLIS, J.J. The genus *Absidia*: globose-spored species. **Mycologia**, v. 57, p. 22–235, 1965.

HESELTIME, C.W.; ELLIS, J.J. **Mucorales**. In.: AINSWORTH, G.C.; SPARROW, F.K. (orgs.) *The Fungi: An Advanced Treatise*, vol 5B. A Taxonomic Review with Keys: Basidiomycetes and Lower Fungi. New York, Academic Press. v. 1 (1), p. 187–217, 1973.

HIBBETT et al. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. **Mycological Research**, v. 3, p. 509–547, 2007.

HIROSE, D. et al. The anamorphic genus *Calcarisporiella* is a new member of the Mucoromycotina. **Mycoscience**, v. 53, p. 256–260, 2012.

HILL, M.O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, p. 427–432, 1973.

HERMET et al. Molecular systematics in the genus *Mucor* with special regards to species encountered in cheese. **Fungal Biology**, v. 116, p. 692–705, 2012.

HOFFMANN, K.; DISCHER, S.; VOIGT, K. Revision of the genus *Absidia* (Mucorales, Zygomycetes) based on physiological, phylogenetic, and morphological characters; thermotolerant *Absidia* spp. form a coherent group, Mycocladiaceae fam. nov. **Mycological Research**, v. 111, p. 1169–1183, 2007.

HOFFMANN, K.; WALTHER, G.; VOIGT, K. *Mycocladius* vs. *Lichtheimia*: a correction (Lichtheimiaceae fam. nov., Mucorales, Mucoromycotina). **Mycological Research**, v. 113, p. 277–278, 2009.

HOFFMAN, K.; VOIGT, K. *Absidia parricida* plays a dominant role in biotrophic fusion parasitism among mucoralean fungi (Zygomycetes): Lentamyces, a new genus for *A. parricida* and *A. zychnae*. **Plant Biology**, v. 10, 537–554, 2009.

HOFFMANN, K.; VOIGT, K.; KIRK, P.M. Mortierellomycotina subphyl. nov., based on multi-gene genealogies. **Mycotaxon**, v. 115 (1), p. 353–363, 2011.

HOFFMANN et al. The family structure of the Mucorales: a synoptic revision based on comprehensive multigene-genealogies. **Persoonia**, v. 30, p. 57–76, 2013.

HSIEH et al. Disseminated zygomycosis caused by *Cunninghamella bertholletiae*. patient with hematological malignancy and review of published case reports. **Mycopathologia**, v.175, p. 99–106, 2013.

HILL et al. Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p.25–36, 2000.

HUMBER, R. A. Entomophthoromycota: a new phylum and reclassification for entomophthoroid fungi. **Mycotaxon**, v. 120, p. 477–492, 2012.

HYDE et al. Fungal diversity notes 367-490: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal Diversity**, v. 80, p. 1–270, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: Julho, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: Julho, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: Julho, 2018.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2020. «Base de dados por municípios das Regiões Geográficas Imediatas e Intermediárias do Brasil». Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 de agosto de 2020.

JAMES et al. Reconstructing the early evolution of the fungi using a six gene phylogeny. **Nature**, v. 443, p. 818–822, 2006.

JACOBS, K.; BOTHA, A. *Mucor renisporus* sp. nov., a new coprophilous species from Southern Africa. **Fungal Diversity**, v. 29, p. 2735, 2008.

JIANG et al. *Echinochlamydosporium variable*, a new genus and species of Zygomycota from soil nematodes. **Fungal Diversity**, v. 46, p. 43–51, 2011a.

KAVADIA, A, et al. Lipid and linolenic acid accumulation in strains of Zygomycetes growing on glucose. **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 78, p. 341–346, 2001.

KENDRICK, B. **The Fifth Kingdom**. 3 ed. Massachusetts: Focus Publishing, 2000.

KIRK et al. **Ainsworth and Bisby's Dictionary of the fungi**, 8th edn. CABI Publishing, London, 2001.

KIRK et al. **Dictionary of the Fungi**, 10th ed. CABI, Wallingford, UK. 2008.

KWASNA, H.; WARD, E.; BATEMAN, G.L. Phylogenetic relationships among Zygomycetes from soil based on ITS1/2 rDNA sequences. **Mycological Research**, v. 110, p. 501–510, 2006.

KOVACS, R.L.; SUNDBERG, W.J. *Syzygites megalocarpus* (Mucorales, Zygomycetes) in Illinois. **Transactions of the Illinois Academy of Science**, v. 92, p. 181–190, 1999.

LEÃO-FERREIRA et al. Conidial fungi from the semi-arid Caatinga biome of Brazil. *Brachysporiellina fecunda* sp. nov. and some new records for Neotropica. **Mycotaxon**, v. 104, p. 309–312, 2008.

LI et al. Fungal diversity notes 253-366: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal diversity**, v. 77, p. 1–237, 2016.

LIMA, D.A. Estudos fitogeograficos de Pernambuco. Chefe da Seccao de Botanica do Instituto de Pesquisas Agronomicas de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 4, p. 243–274, 2007.

LIMA, D.X.; SANTIAGO, A.L.C.M. A.; SOUZA-MOTTA, C.M. Diversity of Mucorales in natural and degraded semi-arid soils. **Brazilian Journal of Botany**, v. 38 (1), p. 1–9, 2015.

LIMA et al. Description of *Backusella constricta* sp. nov. (Mucorales, ex Zygomycota) from the Brazilian Atlantic Rainforest, including a key to species of *Backusella*. **Phytotaxa**, v. 289, p. 59–68, 2016.

LIMA, C. L. F. **Diversidade de Mucorales em duas áreas de brejo de altitude de Pernambuco**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil. p. 58, 2018.

LIMA et al. Description of *Mucor pernambucoensis* (Mucorales, Mucoromycota), a new species isolated from the Brazilian upland rainforest. **Phytotaxa**, v. 3, p. 274–282, 2018.

LIMA et al. Morphological and molecular evidence for two new species of *Absidia* Neotropical soil. **Phytotaxa**, v. 446, p. 061–071, 2020.

LIMA et al. A new occurrence of *Mucor nidicola* (Madden, Stchigel, Guarro, Sutton & Starks) (Mucorales, Mucoromycota) in the Upland Rainforest of the Brazilian Northeast and first report as a saprobe in soil. **Check List**, v. 16, p. 163–167. 2020.

LIMA et al. Communities of Mucorales (phylum Mucoromycota) in different ecosystems of the Atlantic Forest. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, p. 796–806, 2020.

LINS, R.C. As áreas de exceção do agreste de Pernambuco. Sudene, Recife. p. 260, 1989. Lista das espécies e flora do Brasil 2017. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do;jsessionid=08999AB74B64BB48D677F3FE9C27B4E0>>. Acessado 10 mai. 2017.

LU et al. Primary Cutaneous Zygomycosis Caused by *Rhizomucor variabilis*: A New Endemic Zygomycosis? A Case Report and Review of 6 Cases Reported from China. **Clinical Infectious Diseases**, v. 49, p. 39–43, 2009.

LÜCKING, R. Three challenges to contemporaneous taxonomy from a lichenomycological perspective. **Megataxa**, v. 1, p. 8–103, 2020.

LUNN, J.A.; SHIPTON, W.A. Re-evaluation of taxonomic criteria in *Cunninghamella*. Transactions of the British. **Mycological Society**, v. 81, p. 303–312, 1983.

MADDEN et al. *Mucor nidicola* sp. nov., a novel fungal species isolated from an invasive paper wasp nest. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 62, p. 1710–1714, 2012.

MAGNUSON, J.K.; LASURE, L.L. **Organic Acid Production by Filamentous Fungi**. In: TKACZ, J.S.; LANGE, L. (eds.) Advances in fungal biotechnology for industry, agriculture, and medicine. pp 307–340, 2004.

MAGURRAN, A.F. **Measuring Biological diversity**. Blackwell, Oxford, 2004.

MAIA, L.C.; CARVALHO JR., A. A. 2015 Fungos in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB128473>>. Acesso em: Agosto, 2018.

MARQUES et al. Conidial fungi from the semi-arid Caatinga biome of Brazil. *Cubasina microspora* sp. nov., a note on *C. albofusca*, and some new records for South America. **Mycotaxon**, v. 102, p. 17–23, 2007.

MARTIN et al. Pectinase production by a Brazilian thermophilic fungus *Thermomucor indicae-seudaticae* N31 in solid-state and submerged fermentation. **Microbiology**, v. 79, p. 306–313, 2010.

MARTINS et al. Produção de celulases por *Thermomucor indicae-seudaticae* : caracterização de uma β -glucosidase termofílica. **Bioquímica Preparatória e Biotecnologia**, v. 49, p. 830–836, 2019.

MARTINS et al. *Gongronella eborensis* sp. nov., from vineyard soil of Alentejo (Portugal). **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 70, p. 3475–3482, 2020.

MATROUCH, L. Une Mucorinée purement conidienne. *Cunninghamella africana*. **Annals of Mycology**, v.1, p. 45–60, 1903.

MELO. **Regionalização agrária do Nordeste**. Recife: SUDENE / CPR / Divisão de Política Espacial, 1978.

MERHEB-DINI et al. Production and characterization of a milk-clotting protease in the crude enzymatic extract from the newly isolated *Thermomucor indicae-seudaticae* N31. **Food Chemistry**, v. 120, 87–93, 2010.

MEHROTRA, B.S.; MEHROTRA, B.M. Another azygosporic species of *Mucor* from India. **Sydowia**, v. 31, p. 94–96, 1978.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1513–1519, 2009.

MILLATI, R.; EDEBO, L.; TAHERZADEH, M.J. Performance of *Rhizopus*, *Rhizomucor*, and *Mucor* in ethanol production from glucose, xylose, and woodhydrolyzates. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 36, p. 294–300, 2005.

MILKO, A.A.; BELJAKOVA, L.A. The genus *Cunninghamella* Matruchot and taxonomy of Cunninghamellaceae. **Microbiologia**, v. 86, p. 684–699, 1967.

MISRA, P.C. Uma nova espécie de *Syncephalastrum*. **Mycotaxon**, v. 3, p. 51–54, 1975.

MIRZA et al. **Mucorales of Pakistan**. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan. p. 183, 1979.

MMA – Ministerio do Meio Ambiente. **Quarto relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica: Brasil**. Brasília. 2011.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Os organismos do solo**. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. (Eds.). Microbiologia e Bioquímica do Solo. Lavras: UFLA. pp. 17–82, 2006.

MUMMEY, D.L; CLARKE, J.T; COLE, C.A; O'CONNOR, B.G; GANNON, J.E; RAMSEY, P.W. Spatial analysis reveals differences in soil microbial community interactions between adjacent coniferous forest and clearcut ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1138–1147, 2010.
 NAUMOV, N.A. **Clés des Mucorinées (Mucorales)**. Paris, 1939. NGUYEN, T.T.T; JUNG, H.Y; LEE, Y.S; VOIGT, K; LEE, H.B. Phylogenetic status of two undescribed zygomycete species from Korea: *Actinomucor elegans* and *Mucor minutus*, **Mycobiology**, v. 45, p. 344–352, 2017. NOVOZHILOV, Y.K, SCHNITTNER, M, ROLLINS, A.W, STEPHENSON, S Myxomycetes from different forest types in Puerto Rico. **Mycotaxon**, v.77, p. 285–299, 2001.

NOUT, M. J. R.; KIERS, J. L. Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millennium. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, p. 789–805, 2005.

O'DONNELL et al. Evolutionary relationships among mucoralean fungi (Zygomycota): evidence for family polyphyly on a large scale. **Mycologia**, v. 93, p. 286–297, 2001.

OKSANEN, F.J.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. (2020). vegan: Community Ecology Package. **R package version 2.5-7**. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

OLIVEIRA et al. Diversity of filamentous fungi isolated from the soil in the semiarid area, Pernambuco, Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 95, p. 49–54, 2013.

PEI, K.Q. A new variety of *Mucor variosporus* and the validation of *M. luteus* Linnemann and *M. variosporus* Schipper. **Mycosystema**, v. 19, p.10–12, 2000.

PEREIRA, R.C.A.; SILVA, J.A.; BARBOSA, J.I.S. Flora de um “brejo de altitude” de Pernambuco: Reserva Ecológica da Serra Negra. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 7, p. 286–304, 2010b.
 PEYRONEL, B.; DAL VESCO, G. Ricerche sulla microflora di un terreno agrario presso Torino. **Allionia**, v. 2, p. 357–417, 1955.

PORTO et al. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação** / — Brasília : Ministério do Meio Ambiente, p. 324. 2004

PRADO, D.E. **As Caatingas da America do Sul**. In.: LEAL, I.R.;

TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (orgs.) Ecologia e Conservação da Caatinga. Editora Universitária, Recife. pp. 3–74, 2003.

RATLEDGE, C. Fatty acid biosynthesis in microorganisms being used for Single Cell Oil production. **Biochimie**, v. 86, p. 807–15, 2004.

R Development Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

RIBALDI, M. Sprá um interessante zygomycete terrícola: *Gongronella urceolifera* n.gen.et sp. **Review Biomology**, v. 44 , p. 157–166, 1952.

RIBES, J.A.; VANOVER-SAMS, C.L.; BAKER, D.J. Zygomycetes in human disease. **Clinical Microbiology Reviews**, 13, p. 236-301, 2000.

RICHARDSON, M.J. The ecology of the Zygomycetes and its impact on environmental exposure. **Clinical Microbiology and Infection**, v. 15, p. 2–9, 2009.

RODRIGUES, P.C.G. et al. Ecologia dos Brejos de Altitude de Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 25, p. 20–34, 2008.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. **Matéria orgânica do solo no bioma caatinga**. In.: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (orgs.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.419–441, 2008.

SANTIAGO, A.L.C.M.A.; SOUZA-MOTTA, C.M. Mucorales isolados do solo de mineração de cobre e produção de amilase e inulinase. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 641–647, 2006.

SANTIAGO, A.L.C.M.A.; MAIA, L.C. Two new records of Mucorales from the Brazilian semi-arid region. **Mycotaxon**, v. 114, p.171–177, 2010.

SANTIAGO, A.L.C.M.A.; BENNY, G.L.; MAIA, L.C. *Syncephalis aggregate*, a new species from the semiarid region of Brasil. **Mycologia**, v. 103, p. 135–138, 2011.

SANTIAGO, A.L.C.M.A.; SANTOS, P.J.P.; MAIA, L.C. Mucorales from the semiarid of Pernambuco, **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 44, p. 299–305, 2013.

SANTIAGO et al. A new species of *Lichtheimia* (Mucoromycotina, Mucorales) isolated from Brazilian soil. **Mycological Progress**, v. 13, p. 343– 352, 2014.

SANTOS, A.M.M; CAVALCANTI, D.R; DA SILVA, J.M.C; TABARELLI, M.. Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern

Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 34, p. 437–446, 2007. SCHIPPER M.A.A. A study on variability in *Mucor hiemalis* and related species. **Studies in Mycology**, v. 4, p. 1–40, 1973.

SCHIPPER, M.A.A. *Mucor mucedo*, *Mucor flavus* and related species. **Studies in Mycology**, v. 10, p. 1–33, 1975. SCHIPPER, M.A.A. On *Mucor circinelloides*, *Mucor racemosus* and related species. **Studies in Mycology**, v. 12, p. 1–40, 1976. SCHIPPER, M.A.A. On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. **Studies in Mycology**, v. 17, p. 1–69, 1978.

SCHIPPER, M.A.A. A revision of the genus *Rhizopus* I. The *Rhizopus stolonifer* group and *Rhizopus oryzae*. **Studies in Mycology**, v. 25, p. 1–34, 1984.

SCHIPPER, M.A.A. *Mucor laxorrhizus*. **Studies in Mycology**, v. 31, p. 151–155, 1989.

SCHIPPER, M.A.A.; SAMSON, R.A. Miscellaneous notes on Mucoraceae. **Mycotaxon**, v. 50, p. 475–491, 1994.

SCHUBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycology Research**, v. 105, p.1413–1421, 2001.

SAMSON, R.A. Revision of the genus *Cunninghamella* (Fungi, Mucorales). **Proceedings van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Section**, v. 72, p. 322–335, 1969.

SARMA, V.V; HYDE, K.D. A review on frequently occurring fungi in mangroves. **Fungal Diversity**, v. 8, p. 1-34, 2001.

SEKIMOTO, S; ROCHON, D; LONG, J.E; DEE, J.M; BERBEE, M.L. A multigene phylogeny of *Olpidium* and its implications for early fungal evolution. **BMC Evolutionary Biology**, v. 11, p. 331, 2011.

SILVA, J.M.C; CASTALETI, C.H.M. **Status of the biodiversity of the atlantic forest of Brazil**. In: Galindo-Leal C, Câmara IG. (Eds.). The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook. Washington: CABS & Island Press, p. 43–59, 2003.

SILVA, R.A.; SANTOS, A.M.M.; TABARELLI, M. **Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga**. In.: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C (orgs.) Ecologia e Conservação da Caatinga. Editora Universitária, Recife, p. 356, 2003.

SILVA et al. Production of enzymes from *Lichtheimia ramosa* using Brazilian savannah fruit wastes as substrate on solid state bioprocesses. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 16, p. 1–9, 2013.

SILVA et al. Bioprospecção de Fungos de um Fragmento de Cerrado no Brasil Central para Aplicações Biotecnológicas. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 7, p. 288–305, 2018.

SIMÕES, M.L.G.; TAUKE-TORNISIELO, S.M. Comparação da Técnica Tradicional e do Método Turbidimétrico Automatizado no Cultivo em Diferentes Fontes de Carbono de Fungos Filamentosos Isolados de Solo de Área de Caatinga. *Holos Environment*, v. 5, p. 94–103, 2006.

SCHMIT, J.P.; MUELLER, G.M. An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodiversity and Conservation*, v. 16, p. 99–111, 2007.

SOUTO, P.C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, pp. 150, 2006.

SPATAFORA et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, v. 108, p. 1028–1046, 2016.

SUBRAHAMANYAM, A. Studies on thermomycology. *Mucor thermohyalospora* sp. nov. *Bibliotheca mycologica*, v. 91, p. 421–423, 1983.

TABARELLI, M. & SANTOS, A.M.M. **Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos.** Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação (ed. by K.C. Pôrto, J.J.P. Cabral and M. Tabarelli), Ministério do Meio Ambiente, Brasília. p. 17–24, 2004.

TAYLOR, N.P.; ZAPPI, D. **Distribuição das espécies de Cactaceae na caatinga.** In.: SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C.F.L. (orgs.) *Vegetação e flora das caatingas*. APNE / CNIP, Recife, PE. 2002.

TEDERSOO, L.; SMITH, M.E. Lineages of ectomycorrhizal fungi revisited: foraging strategies and novel lineages revealed by sequences from belowground. *Fungal Biology Reviews*, v. 27, p. 83–99, 2013.

TEDERSOO et al. Novel soil-inhabiting clades fill gaps in the fungal tree of life. *New Phytology*, v. 217, p. 1370–1385, 2017.

TEDERSOO et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, p. 1–25, 2018.

THAXTER, R. A New England *Choanephora*. *Rhodora*, v. 5, p. 97–102, 1903.

TIBPROMMA et al. Fungal diversity notes 491–602: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal diversity*, v. 83, p. 1–261, 2017.

TRUFEM, S.F.B. Mucorales do Estado de São Paulo 1: gênero *Mucor* Micheli. **Rickia**, v. 9, p. 81–91, 1981a.

TRUFEM et al. **Filo Zygomycota (Capítulo V)**. In: Gusmão, L. F. P.; Maia, L. C.; (Org.). Diversidade e caracterização dos fungos do Semi-árido Brasileiro. Recife: Associação Plantas do Nordeste-APNE, 2006. p. 97-107.

TUOMISTO, H. "A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity". **Ecography**, v. 33, p. 2–22, 2010.

UPADHYAY, H.P. Soil fungi from north-east and north Brazil—VII. The genus *Gongronella*. **Nova Hedwigia**, v. 17, p. 65–73, 1969.

URQUHART et al. Diversity of *Backusella* (Mucoromycotina) in south-eastern Australia revealed through polyphasic taxonomy. **Persoonia**, v. 46, p. 1–25, 2021.

VAN TIEGHEM, P. Troisième mémoire sur les Mucorinées. **Annales des Sciences Naturelles-Botanique et Biologie Vegetale**, v. 4, p. 312–399, 1878.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Os brejos de altitude e as matas serranas**. In.: VASCONCELOS SOBRINHO, J. (org.). As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização. CONDEPE. Recife. p. 79–86, 1970.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As Regiões Naturais do Nordeste, o Meio e a Civilização**. Recife, CONDEPE. p.441, 1971.

VERKLEIJ, G. **Fungal Biodiversity Center (CBS) - Fungi strains**. CBS Fungal Biodiversity Center. 2020.

VICENTE et al. Biodiesel production from biomass of an oleaginous fungi. **Biochemical Engineering Journal**, v. 48, p. 22–27, 2009.

VIRIATO, A. **Diversidade e aspectos ecológicos de Mucorales (Zygomycetes) de solo e de fezes de herbívoros, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga**. Dissertação de mestrado- Universidade de Guarulhos-São Paulo, SP, Brasil. p. 96, 1996.

VIRIATO, A. **Mucorales (Zygomycota) coprófilos e de solo: diversidade e aspectos ecológicos**. Dissertação de Mestrado, São Paulo. pp 162. 2003.

VOGLMAYR, H.; CLÉMENÇON, H. Identification and taxonomic position of two mucoralean endoparasites of *Hysterangium* (Basidiomycota) based on molecular and morphological data. **Mycological Progress**, v. 15, p. 1–17, 2016.

VOIGT et al. **Revision of the family structure of the Mucorales (Mucoromycotina, Zygomycetes) based on multigene-genealogies: Phylogenetic analyses suggest a bigeneric Phycomycetaceae with Spinellus as sister group to Phycomyces**. In.: GHERBAWY, Y.R.L.; MACH, Y.; RAI, M.K. (orgs.) Current Advances in Molecular Mycology. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York. U.S.A. p. 313–332, 2009.

VOIGT, K. Zygomycota Moreau. In: FREY, W. (org.), Syllabus of plant families. A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien, Blue-green algae, Myxomycetes and Myxomycete-like organisms, Phytoparasitic protists, heterotrophic Heterokontobiota and Fungi. 13^a ed., Berlin: Borntraeger Science Publishers, pp. 130–162, 2012.

VON ARX, J.A. On Mucoraceae s. str. and other families of the Mucorales. **Sydowia**, v. 35, p. 10–26, 1982.

VUILLEMIN, P. Importance taxonomique de l'appareil zygosporé des Mucorinées. **Bulletin Trimestriel de la Société Mycologique de France**, v. 19 (1), p. 106–118, 1903a.

VUILLEMIN, P. Le genre Tieghemella et la série des Absidiées. **Bulletin Trimestriel de la Société Mycologique de France**, v. 19, n. 1, p. 119–127, 1903b.

WATANABE, T. Two new species of homothallic *Mucor* in Japan. **Mycologia**, v. 86 (1), p. 691–695, 1994.

WALTHER et al. DNA barcoding in Mucorales: an inventory of biodiversity. **Persoonia**, v. 30, p. 11–47, 2013.

WICKHAM, H. (2016) ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer-Verlag New York**. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.

WHITTAKER, R.H. "Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California". **Ecological Monograph**, v. 30, p. 279–338, 1960.

WILLIAMS, T.H; LIU, P.S.W. **A host list plants diseases in Sabah, Malaysia**. Phytopathology paper No. 19. Commonwealth Mycological Institute, Kew, United Kingdom, 67 pp. 1976.

WU, B; HUSSAIN, M; ZHANG, W; STADLER, M; LIU, X; XIANG, M. Current insights into fungal species diversity and perspective on naming the environmental DNA sequences of fungi. **Mycology**, v. 10, p. 127–140, 2019.

XAVIER DE LIMA et al. Fungal perspective on neotropical biogeography: poroid fungi (Agaricomycetes: Hymenochaetales and Polyporales) and the Brazilian moist forests. **Fungal Ecology**, v. 36, p. 1–7, 2018.

XUEFENG et al. Production of L-lactic acid by *Rhizopus oryzae* using semicontinuous fermentation in bioreactor. **Biotechnology Journal of Industrial Microbiology**, v. 38, p. 565–571, 2011.

YAMAMOTO, K. et al. Morphology and phylogeny of four *Endogone* species and *Sphaerocreas pubescens* collected in Japan. **Mycology Progress**, v. 14, p. 86, 2015.

ZALAR et al. *Mucor troglophilus*, a new species from cave crickets. **Mycotaxon**, v. 65, p. 507–516, 1997.

ZHENG, R.; CHEN, G.Q.; HU, F.M. Monosporus variedades de *Syncephalastrum*. **Mycosystema**, v. 1, p. 35–52, 1988.

ZHENG, R.Y.; CHEN, G. Q. *Cunninghamella clavata* sp. nov., fungus with a unusual type of branching of sporophore. **Mycotaxon**, v. 69, p. 187–198, 1998.

ZHENG, R. Y.; CHEN, G. Q. A Monograph of *Cunninghamella*. **Mycotaxon**, v. 80, p. 1–75, 2001.

ZHENG et al. A Monograph of *Rhizopus*. **Sydowia**, v. 59, p. 273–37, 2007.

APÊNDICE A: First occurrence of *Backusella gigacellularis* (Mucoromycota) in a fragment of an Upland Forest within the semi-arid region of northeastern Brazil (Rodriguésia 72, 2021: 1-5)

Rodriguésia 72, e01202019, 2021

<http://rodriguesia.fcnv.gov.br>

DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/2178-7080/202172009>

Short Communication

First occurrence of *Backusella gigacellularis* (Mucorales, Mucoromycota) in a fragment of an Upland Forest within the semi-arid region of northeastern Brazil

Ana Lúcia Sabino de Melo Alves^{1,2}, Leslie Warren Silva de Freitas^{1,4}, Luciana Melo Santori Gurgel²,

Joana D'Arc Alves Leitão^{1,3}, Thalline Rathaella Leite Cordeiro^{1,6}

& André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago^{1,7,8}

Abstract

In a survey mucoralean fungi in the Brejo da Serra do Benedito, a fragment of Upland Forest in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil, a specimen of *Backusella gigacellularis* was isolated. So far, *B. gigacellularis* (holotype) had only been isolated from soil in the Cerrado domain, in São Paulo state, southeastern Brazil. This is the second report of *B. gigacellularis* worldwide, and the first record to northeastern Brazil. A detailed description, as well as the illustration of the specimen, are presented.

Key words: Mucoromycota, soil, taxonomy, mycorrhizic fungi.

Resumo

Em um levantamento de espécies de fungos Mucorales no Brejo da Serra do Benedito, um Brejo de altitude do semi-árido pernambucano, Brasil, um espécime de *Backusella gigacellularis* foi isolado. Até o momento, *B. gigacellularis* (holótipo) só havia sido isolada de solo no Domínio Cerrado, no estado de São Paulo, sudeste do Brasil. Este é segundo registro mundial de *B. gigacellularis* e o primeiro para o nordeste do Brasil, especificamente em um sítio de Brejo de altitude. Nesse trabalho, são apresentadas uma descrição detalhada e ilustração do espécime isolado.

Palavras-chave: Mucoromycota, solo, taxonomia, Fungos micorrízicos.

The Brazilian semi-arid region, characterized by high average temperatures, scarce precipitation, and soil with low productivity potential (Giulietti *et al.* 2006), predominantly supports typical vegetation of the caatinga domain, which tolerates and is adapted to semi-arid climatic conditions. The Upland Forest areas are enclaves of humidForest surrounded by vegetation of Caatinga, forming "islands" of rainforest in the middle of the

semi-arid region that present different climatic conditions in relation to humidity, temperature and vegetation in comparison with areas of Caatinga (Tabarelli & Santos 2004).

Considering the elevated diversity and endemism of plants in the Atlantic Forest domain, it is probable that the current knowledge of diversity of mucoralean species in soils of the Upland Forest areas is insufficient (Lima *et al.*

¹ Federal University of Pernambuco, Department of Mycology, Postgraduate Program in Biology of Fungi, Recife, PE, Brazil.

² Agronomic Institute of Pernambuco, Recife, PE, Brazil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7431-1029>.

³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9040-1963>.

⁴ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-2803-4319>.

⁵ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9631-1462>.

⁶ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-3430-1025>.

⁷ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-2174-1033>.

2018a). So far, 34 species of Mucorales have been reported for the Brazilian Upland Forest areas, including six recently described new species (Hyde et al. 2016; Tibpromma et al. 2017; Lima et al. 2018b) and two first occurrences for Brazil (Santiago & Maia 2010; Alves et al. 2017).

The genus *Backusella*, described by Ellis & Hesselstine (1969), was created to accommodate species that produce terminal multisporous sporangia as well as uni- and/or multisporous sporangia that arise laterally from sporangiophores (Benny 2005). *Backusella* specimens are commonly isolated from soil and rodent dung (Benny & Benjamin (1975). This genus underwent modifications by Benny & Benjamin (1975), who have proposed *B. lamprospora* ($\equiv$ *Mucor lamprospora* Lendn.) and *B. ctenidia* ($\equiv$ *Thamnidium ctenidium* Durrell & M. fleming). Walther et al. (2013), in a review using ITS and LSU sequences of rDNA, proposed more significant changes, with the transference of all species of *Mucor* Fresen. with transiently recurved sporangiophores when young to *Backusella*. Currently, this genus comprises fifteen species: *B. azygospora* T.R.L. Cordeiro, Hyang B. Lee & A.L. Santiago, *B. constricta* D.X. Lima, C.A.F. de Souza & A.L. Santiago, *B. circina* J.J. Ellis & Hesselst., *B. gigacellularis* J.I. de Souza, Pires-Zottarelli & Harakava, *B. grandis* (Schipper & Samson) Walther & de Hoog, *B. granulisporea* L.S. Loh & Kuthub, *B. indica* (Baijal & B.S. Mehrotra) Walther & de Hoog, *B. johorensis* L.S. Loh, Nawawi & Kuthub, *B. lamprospora* (Lendn.) Benny & R.K. Benj., *B. locustae* Hyang B. Lee, S.H. Lee & T.T.T. Nguyen, *B. oblongielliptica* (H. Nagan., Hirahara & Seshita ex Pidopl. & Milko) Walther & de Hoog, *B. oblongisporea* (Naumov) Walther & de Hoog, *B. recurva* (E.E. Butler) Walther & de Hoog, *B. tuberculisporea* (Schipper) Walther & de Hoog, *B. variabilis* (A.K. Sarbhoy) Walther & de Hoog. For Brazil, *B. azygospora*, *B. lamprospora*, *B. gigacellularis* and *B. constricta* have been recorded.

During a survey of Mucorales species in soils of an Upland Forest area located in the semiarid region of Pernambuco, *B. gigacellularis* was isolated and is being reported for the first time from northeastern Brazil. This species had

in Petri dishes in triplicate. The growth of colonies was monitored for 96 hours at room temperature ($28 \pm 2^\circ\text{C}$). In order to purify the Mucorales, fragments of the colonies were transferred separately to MEA (malt extract agar medium) (Benny 2008) plus chloramphenicol (80 mg L^{-1}). The specimen was identified through observation of macroscopic (color, appearance, and diameter of the colony) and microscopic (shape and size of sporangiophores, columellae, sporangia, sporangiospores, and giant cells) characteristics based on the description of de Souza et al. (2014).

Backusella gigacellularis J.I. de Souza, Pires-Zottarelli & Harakava, Mycol. Progr. 13: 976 (2015). Fig. 1

Colony white-yellowish, reverse yellow, colonizing the entire Petri dish (9 cm diam. and 1.5 cm high) in 5 days, at 25°C , in MEA. Sporangiophores hyaline, some with greenish-brown contents, arising from the substrate, recurved when young and becoming erect when mature, up to $20\text{ }\mu\text{m}$ in diam, monopodially branched, mostly with short branches and slightly encrusted wall. Sporangia globose, with smooth and deliquescent wall, up to $130\text{ }\mu\text{m}$ in diam. Columellae globose, subglobose, conical and slightly cylindrical, $20\text{--}40$ (~ 50) $\times$ $20\text{--}45\text{ }\mu\text{m}$, hyaline, with slightly encrusted wall, some with brown contents; collar commonly present with needle-shaped spines. Multisporous sporangia arising from pedicels, hyaline, with equimultated wall, globose to subglobose $9.5\text{--}28\text{ }\mu\text{m}$ in diam. Unisporous sporangia absent. Columellae of sporangia conical and occasionally globose, hyaline, $7\text{--}12$ (~ 14) $\times$ $15\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$. Sporangiospores hyaline, smooth-walled, ellipsoid, irregular, a few subglobose $(9\text{--})16\text{--}33$ (~ 45) $\times$ $(7\text{--})9\text{--}17$ (~ 20) μm , with oil droplets. Giant cells, globose. Zygospores not observed.

Material examined: BRAZIL. PERNAMBUCO: Gravata, Serra do Banadito ($08^\circ 17' 58''\text{S}$, $35^\circ 35' 29''\text{W}$), soil, A.L.S.M. Alves (URM 7894).

The species occurs in São Paulo and Pernambuco states, Brazil. This is the second report worldwide and the first report of this species in northeastern Brazil.

Minor morphological differences were observed between *B. gigacellularis* TDM 7804 and

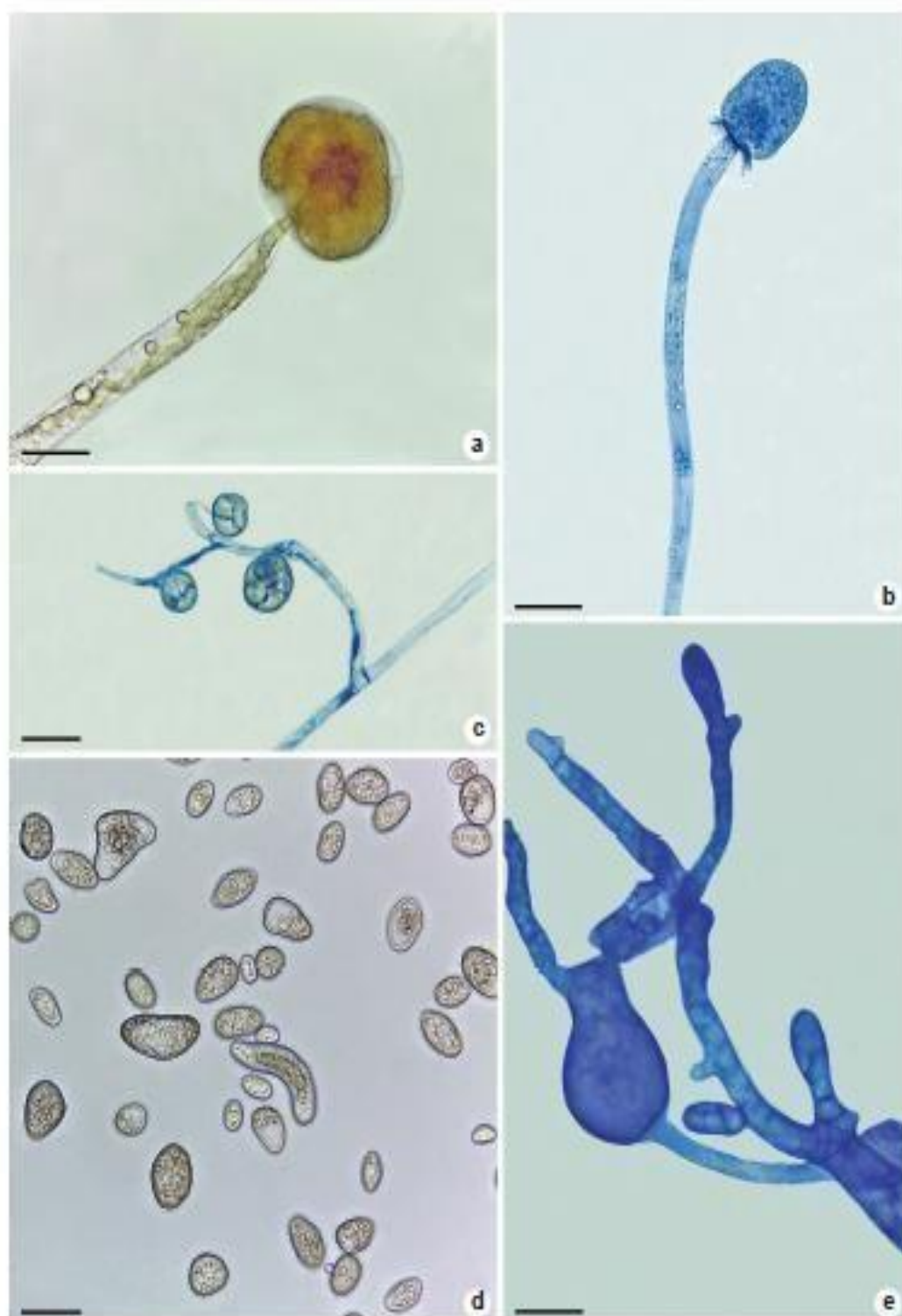


Figure 1 – a-e. *Baccharella gigacellulosa* (URM 7894) – a. unbranched sporangiophore with sporangium; b. unbranched sporangiophore with columella; c. sympodially branched sporophore bearing only sporangia; d. sporangiospores; e. giant cell. Bars: a, b, c, d, e = 25 μ m.

subglobose, conical and slightly cylindrical columellae, 20–40(–50) × 20–45 µm, whereas de Souza *et al.* (2014) reported ellipsoid, cylindrical and rarely pyriform columellae, 9.4–53 × 8.2–46 µm. Sporangia of *B. gigacellulosa* URM 7894 were larger (up to 28 µm in diam) than the holotype sporangia that were up to 23 µm in diam.

This work increases the knowledge of the *Backusella* genus in Brazil, especially in Upland Forest areas that are being severely degraded by anthropic influences.

Acknowledgements

This manuscript was financed by the Project "Diversity of Mucoromycotina in the different ecosystems of the Atlantic Rainforest of Pernambuco" (FACEPE - First Projects Program PPP/FACEPE/CNPq - APQ - 0842-2.12/14). The authors also thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, for the scholarship awarded to André L.C.M.A. Santiago, and the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), for the scholarships provided to Ana L.S.M. Alves, Thalline R.L. Cordeiro, Joana D'Arc A. Leitão, and Leslie W.S. de Freitas.

References

- Alves ALSM, Souza CAF, Oliveira RJV, Cordeiro TRL & Santiago ALCMA (2017) *Cunninghamella clavata* from Brazil: a new record for the western hemisphere. *Mycotaxon* 132: 381–389.
- Benny GL (2005) *Zygomycetes*. Available at <http://www.zygomycetes.org>. Access on 24 May 2019.
- Benny GL (2008) The methods used by Dr. R.K. Benjamin, and other mycologists to isolate *Zygomycetes*. *Aliso* 26: 37–61.
- Benny GL & Benjamin RK (1975) Observations on Thamnidaceae (Mucorales). New taxa, new combinations, and notes on selected species. *Aliso* 8: 301–351.
- De Souza JI, Marano AV, Pires-Zottarelli CLA, Chamberg FS & Harkava R (2014) A new species of *Backusella* (Mucorales) from a Cerrado reserve in Southeast Brazil. *Mycological progress* 13: 975–980.
- Ellis EC, Fuller DQ, Kaplan JO & Lutter WG (2013) Dating the Anthropocene: towards an empirical global history of human transformation of the terrestrial biosphere. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 7978–7983.
- Ellis JJ & Hensel LW (1969) A new member of the Mucorales. *Mycologia* 61: 863–872.
- Ginlietti AM, Conceicao A & Queiroz LP (2006) Diversidade e caracterização das fanerógamas do semi-árido brasileiro. *Associação Plantas do Nordeste, Recife*. 488p.
- Hyde KD, Hongwanit S, Jeewon R, Bhat JD, McKenzie EH, Jones EBG, Phookamsa R, Ariyawansa AH, Boccumee S, Zhao Q, Abdel-Aziz FA, Abdel-Waha MA, Banmsi S, Chommuti P, Cui B, Daranagama DA, Das K, Dayaratne MC, Silva NI, Dissanayake AJ, Doilom M, Ekanayaka AH, Gibertoni TB, Go'et-Neto A, Huang S, Jayasiri SC, Jayawardena RS, Kanta S, Lee HB, Li W, Lin C, Lin J, Lu Y, Luo Z, Manawasinghe IS, Manimohan P, Mapook A, Niskanen T, Norphanphoun C, Papizadeh M, Perera RH, Phukhamsakda C, Richter CC, Santiago ALCMA, Drechsler-Santos ER, Senanayake IC & Tanaka K (2016) Fungal diversity notes 367–490: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal Diversity* 80: 1–270.
- Lima DX, Cordeiro TFL, Souza CAF, Santiago ALCMA & Souza-Morta CM (2018a) Diversity of basal fungal order Mucorales (Mucoromycota) in a remaining area of the Brazilian Atlantic Rainforest. *Nova Hedwigia* 107: 459–471.
- Lima CLF, Lima DX, Souza CAF, Oliveira RJV, Cavalcanti IB, Gurgel LMS & Santiago ALCMA (2018b) Description of *Mucor pernambucoensis* (Mucorales, Mucoromycota), a new species isolated from the Brazilian Upland Rainforest. *Phytotaxa* 350: 274–282.
- Santiago ALCMA & Maia LC (2010) Two new records of Mucorales from the Brazilian semi-arid region. *Mycotaxon* 114: 17–20.
- Tabarelli M & Santos ANM (2004) Uma breve descrição sobre a história natural dos Brejos nordestinos. In: Porto KC, Cabral JJP & Tabarelli M (eds.) *Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba - História Natural, Ecologia e Conservação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Pp. 17–24.
- Tibpromma S, Hyde KD, Jeewon R, Maharachchikumbura SSN, Liu JK, Bhat DJ, Jones EBG, McKenzie EHC, Camporesi E, Tibpromma TS, Jeewon R, Bulgakov TS, Doilom M, Santiago ALCMA, Das K, Manimohan P, Gibertoni TB, Lim YW, Ekanayaka AH, Thongbai B, Lee HB, Yang JB, Kirk PM, Sysouphanthong P, Singh SK, Boccumee S, Dong W, Anil Raj KN, Latha KPD, Phookamsak R, Phukhamsakda C, Kanta S, Jayasiri SC, Norphanphoun C, Tennakoon DS, Li J, Dayaratne MC, Perera RH, Xiao Y, Wanasinghe DN, Senanayake IC, Goonasekara ID, Silva NI, Mapook A, Jayawardena RS, Dissanayake AJ, Manawasinghe IS, Chethana KWT, Luo ZL, Hapuarachchi KK, Baghela A, Soares AM, Vizzini A, Mairas-Ottoni A, Metić A, Dutta AK, Souza CAF, Richter C, Lin CG, Chakraborty D, Daranagama DA, Lima DX, Chakraborty D, Ercole E, Wu F, Simonini G, Vasquez G, da Silva GA, Plautz Jr HL, Ariyawansa HA, Lee H, 30, Kutan I, Song J, Sun J, Karmakar J, Hu K,

Semwal KC, Thambugala KM, Voigt K, Acharya K, Rajeshkumar KC, Ryvarden L, Jadan M, Hosen MI, Mittal M, Samarakoon MC, Wijayawardene NN, Kim NK, Matocic N, Singh PN, Tian Q, Bhatt RP, de Oliveira RJV, Tulloss RE, Asmir S, Kaswchai S, Marathe SD, Khan S, Hongwan S, Adhikari S, Mahmood T, Bandyopadhyay TK, Svetasheva TY, Nguyen TTT, Vladimir A, Li W-J, Wang Y, Indoliya Y, Tkalcic Z, Elgorban AM, Bahkali AH, Tang AMC, Su H-Y, Zhang H, Prampurtha I, Luangsa-ard J, Xu J, Yan J, Ji-Chuan K, Stadler M,

Mortimer PE, Chommuhi P, Zhao Q, Phillips AJL, Nontachaiyapoom S, Wen T-C, Karunarathna SC (2017) Fungal diversity notes 491-602: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal Diversity* 83: 1-261.

Walther G, Pawlowicz J, Alastruey-Inguarido A, Wozniak M, Rodriguez-Tudela JL, Dolatabadi S, Chakrabarti A & Hoog GS (2013) DNA barcoding in *Mucorales*: an inventory of biodiversity. *Persoonia* 30: 11-47.

Area Editor: Dr. Aníbal de Carvalho Junior

Received in July 12, 2019. Accepted in September 27, 2019.

 This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

APÊNDICE B: *Mucor minutus* (Mucorales, Mucoromycota): a rare species isolated for the first time in Northeastern Brazil. Artigo aceito na Check List

Melo, de Souza, Cordeiro, Oliveira, Gurgel, Santiago / A new occurrence of *Mucor minutus*

Mucor minutus (Mucorales, Mucoromycota): a rare species isolated for the first time in Northeastern Brazil

Melo Alves ALS¹, de Souza CAF², Cordeiro TRL¹, Oliveira RJV¹, Gurgel LMS³, Santiago ALCM de A¹.

¹Postgraduate Program in Biology of Fungi, Department of Mycology, Federal University of Pernambuco, Av. Professor Nelson Chaves, s / n, 50670-420, Recife, PE, Brazil.

²Postgraduate Program in Agricultural Production, Rural Federal University of Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, 55292-270, Boa Vista, Garanhuns, Recife, PE, Brazil.

³Agronomic Institute of Pernambuco, Av. General San Martin, 1371, 50761000, Bongi, Recife, PE, Brazil.

Corresponding author: André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago.
andrelcabral@msn.com

Abstract

Mucor minutus is being described for the first time for northeastern Brazil. The specimen was isolated from soil of the Florestas do Jussará, a fragment of upland forest located in the municipality of Gravatá, located in Pernambuco. In Brazil, *Mucor minutus* have previously been isolated only in the state of São Paulo from soil of the Atlantic Forest. A detailed description and illustration of the specimen are presented. This article contributes to knowledge of the Mucoralean distribution.

Key words

Semiarid; Mucoromyceta; Mucoraceae; taxonomy.

Academic editor: [academic editor to complete] | publication data

[copyeditor/layout editor to complete]

Citation: [copyeditor/layout editor to complete]

Introduction

Mucor Fresen. is the most representative genus within Mucorales Dumort. with approximately 91 described species (Wijayawardene et al. 2020). Taxa of this genus are characterized by producing simple or branched sporangiophores arising directly from the substrate that bear globose and/or subglobose, nonapophysate sporangia. A few species produce rhizoids (ex: *M. luteus* Linnem. Ex Wrzosek and *M. irregularis* Stchigel, Cano, Guarro & Ed. Álvarez) (Benny et al. 2014). The species of this genus are typically saprobic, commonly isolated from the soil, stored grains and decomposing fruits (Alves et al. 2005, Schoenlein-Crusius et al. 2006, Jacobs & Botha 2008, Santiago et al. 2013, Lima et al. 2015). However, some taxa have proved to be potential agents of opportunistic cutaneous and systemic mucormycosis (Hoffmann et al. 2013, Walther et al. 2013), such as *Mucor circinelloides*, *M. indicus*, *M. irregularis* and *M. lusitanicus* (Wagner et al. 2019).

Initially, taxonomic studies of *Mucor* were based mainly on morphological characteristics but also on growth temperatures and mating experiments (Schipper, 1978), leading to the description of 39 species and 11 forms. Subsequently, the knowledge of this genus was expanded, with the addition of 22 new taxa (Mehrotra & Mehrotra 1978, Mirza et al. 1979, Subrahmanyam 1983, Chen & Zheng 1986, Schipper & Samson 1994, Watanabe 1994, Zalar et al. 1997, Pei 2000, Alves et al. 2005). With the advancement of molecular studies, the polyphilia of *Mucor* was verified (O'Donnell et al. 2001, Kwasna et al. 2006), and several 33 species have been described ever since (Jacobs & Botha, 2008, Budziszewska & Piatkowska, 2010, Álvarez et al. 2011, Hermet et al. 2012, Madden et al. 2012, Walther et al. 2013, Voglmayr & Cléménçon 2016). In the past five years, sixteen species of *Mucor* have been proposed, including six species isolated from Brazil: *M. merdicola* C.A. de Souza & A.L. Santiago, *M. caatinguensis* A.L. Santiago, C.A. de Souza & D.X. Lima (Lima et al., 2016), *M. circinatus* D.X. Lima, G. Walther & A.L. Santiago (Lima et al., 2017), *M.*

pernambucoensis (Lima et al., 2018), *M. souzae* (Crous et al., 2018) and *M. merdophylus* D.X. Lima, R.W. Barreto, H.B. Lee & A.L. Santiago (Lima et al., 2020), increasing knowledge of the diversity of Mucorales. Currently, around 90 species of *Mucor* are accepted (Wijayawardene et al. 2020).

Mucor minutus (Baijal & B.S. Mehrotra) Schipper may be differentiated from other species of *Mucor* by concomitantly producing long sporangiophores sympodially and monopodially branched, in addition to small sporangiophores repeatedly sympodially branched, columellae obovoid to ellipsoidal, infrequently pyriform, as well as sporangiospores subspherical or slightly ellipsoidal (Schipper 1975). So far, this species was reported in Australia, India, Malaysia and Korea (Bissett et al., 2016, Verkleij 2020, Williams and Liu 1976, Nguyen et al., 2017). In Brazil, *M. minutus* was previously isolated by Schoenlein-Crusius et al. (2006), in an area of Atlantic Forest, located in the municipality of Cubatão, state of São Paulo.

During a study on the diversity of Mucorales in an upland forest area located in Pernambuco, Northeastern Brazil, a specimen morphologically similar to *M. minutus* was isolated. The species identity was confirmed by sequencing the ITS region of rDNA. Here we present a detailed description and illustration of *M. minutus* isolated from soil samples in an upland forest area in the semiarid region of Brazil.

Methods

Soil collection - Soil samples were collected in January 2018, in Florestas do Jussará, an upland forest area located in the municipality of Gravatá (8°12'S, 35°32'W), located at 85.5 km from Recife (Fig. 1). The climate is tropical with a dry summer with an average annual temperature of 22 °C. The average annual rainfall is 725 mm, with rains concentrated between March and July (Siqueirafilho & Machado, 2001). The vegetation is subcaducifolia, occurring formations of transition between deciduous forest and the hypoxophilous caatinga (Rodrigues et al., 2008). The samples were placed in clean sterile bags and stored in polystyrene boxes for transport to the laboratory.

Isolation, purification and identification of *M. minutus*

Five mg of soil were added to Petri dishes containing wheat germ agar culture medium (Benny 2008) plus chloramphenicol (NeoFenicol-Neo Química; 100 mg.L⁻¹). The plates were stored on the laboratory bench at room temperature (26 ± 2 °C) for seven days. Fragments of mycelium were removed from the Petri dishes under a stereomicroscope (Leica EZ4) and transferred to Petri dishes with malt extract agar (MEA) (Benny 2008). The specimen was identified by comparing the macroscopic (colony color and appearance) and microscopic aspects (shape and size of the sporangiophores, columellae, sporangia and sporangiospores), according to the description of Schipper (1975).

DNA extraction, PCR and sequencing

Cultures grown in test tubes containing MEA were incubated at 28 °C for six days to obtain fungal biomass. After the material was transferred to 2 mL microtubes with screw caps, 0.5 g of acid-washed glass beads of two different diameters (150–212 µm and 425–600 µm, 1: 1; Sigma, USA) were added to each tube. The material was crushed by stirring at high speed in a FastPrep homogenizer. Genomic DNA was extracted as described by Góes-Neto et al. (2005). The mycelium was washed with chloroform: isoamyl alcohol (24: 1) and then homogenized in 2% cetyltrimethylammonium bromide buffer. The DNA was precipitated in isopropanol, washed with 70% ethanol and resuspended in 50 µL of ultrapure water. Primer pairs ITS1 and ITS4 were used for amplification of the small subunit (ITS) of nuclear ribosomal DNA (rDNA) (Van Tuinen et al. 1998, Santiago et al. 2014). The polymerase chain reactions were performed as described by Oliveira et al. (2014). The newly obtained sequences were deposited in the GenBank database. Phylogenetic reconstructions were obtained by analyzing the sequence data of the partial ITS rDNA gene. The fungal sequences were aligned with ClustalX (Larkin et al. 2007) and edited with BioEdit (Hall 1999). Prior to phylogenetic analysis, the optimal nucleotide replacement model was estimated using TOPALi 2.5 (Milne et al. 2004). The maximum likelihood (with support estimated by a bootstrap analysis with 1000

replicates) was performed using MrBayes 3.1.2 (Ronquist & Huelsenbeck 2003) and PhyML (Guindon & Gascuel 2003), released from TOPALi 2.5 (Fig.2)

Results

Mucor minutus (Baijal & B.S. Mehrotra) Schipper. Figure 3

Material examined: BRAZIL • 1 specimen; Pernambuco, Gravatá, Reserve Florestas do Jussará; 8°12'S, 35°32'W; 739 m a.s.l.; January 2018; Ana L.S. Melo Alves leg.; habitat: soil; URM8362, GenBank accession no. MW 436702.

Identification. Colony initially white, becoming gray, colonizing the entire Petri dish (9 cm in diameter and 1.5 cm in height) in five days in MEA at 25 °C. Long and short sporangiophores common. Long sporangiophores hyaline up to 20 µm in diameter, with monopodial and sympodial branches, smooth-walled.

Sporangia of the long sporangiophores brownish, globose, up to 160 µm in diameter, slightly equinulated. Columellae of the long sporangiophores hyaline, obovoid, globose and infrequently conical and flattened, 25–65 (–85) 25–80 (–95) µm in diameter. Short sporangiophores hyaline, repeatedly sympodially branched, up to 12 µm in diameter, smooth-walled. Sporangia of the short sporangiophores hyaline, up to 120 µm in diameter. Columellae of the short sporangiophores conical and subglobose, 9.5–19.5 (–36.5) × 7–9.5 (–25) µm in diameter. Sporangiospores hyaline, subglobose to ellipsoid, 2.5–5 (–7.2) × 2.3–3 (–4) µm in diameter. Zygospores not observed.

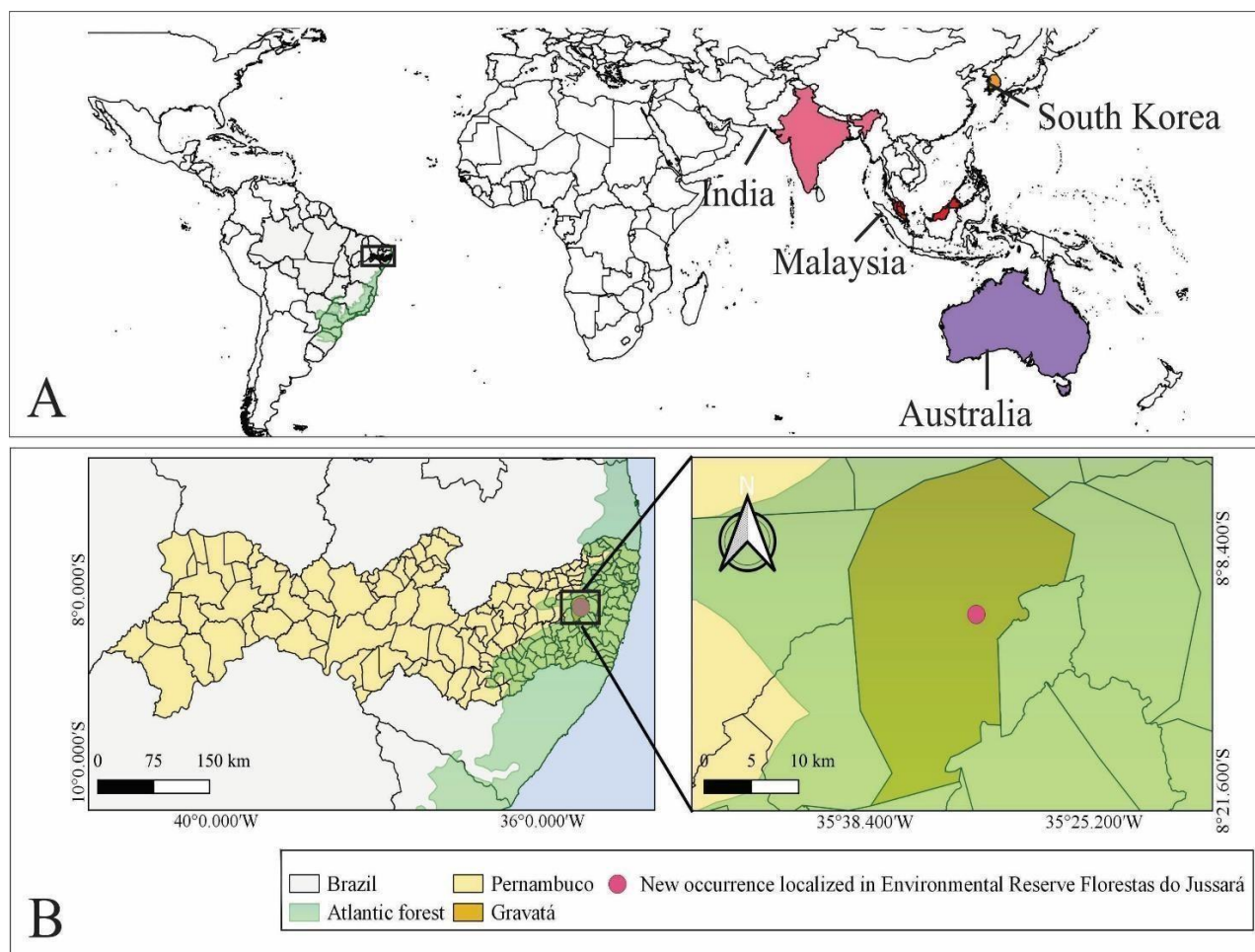


Fig. 1. Occurrence of *Mucor minutus* in Australia, India, Malaysia and South Korea, and first occurrence in the Pernambuco semiarid region at Reserva Florestas do Jussará, Gravata-Pernambuco.

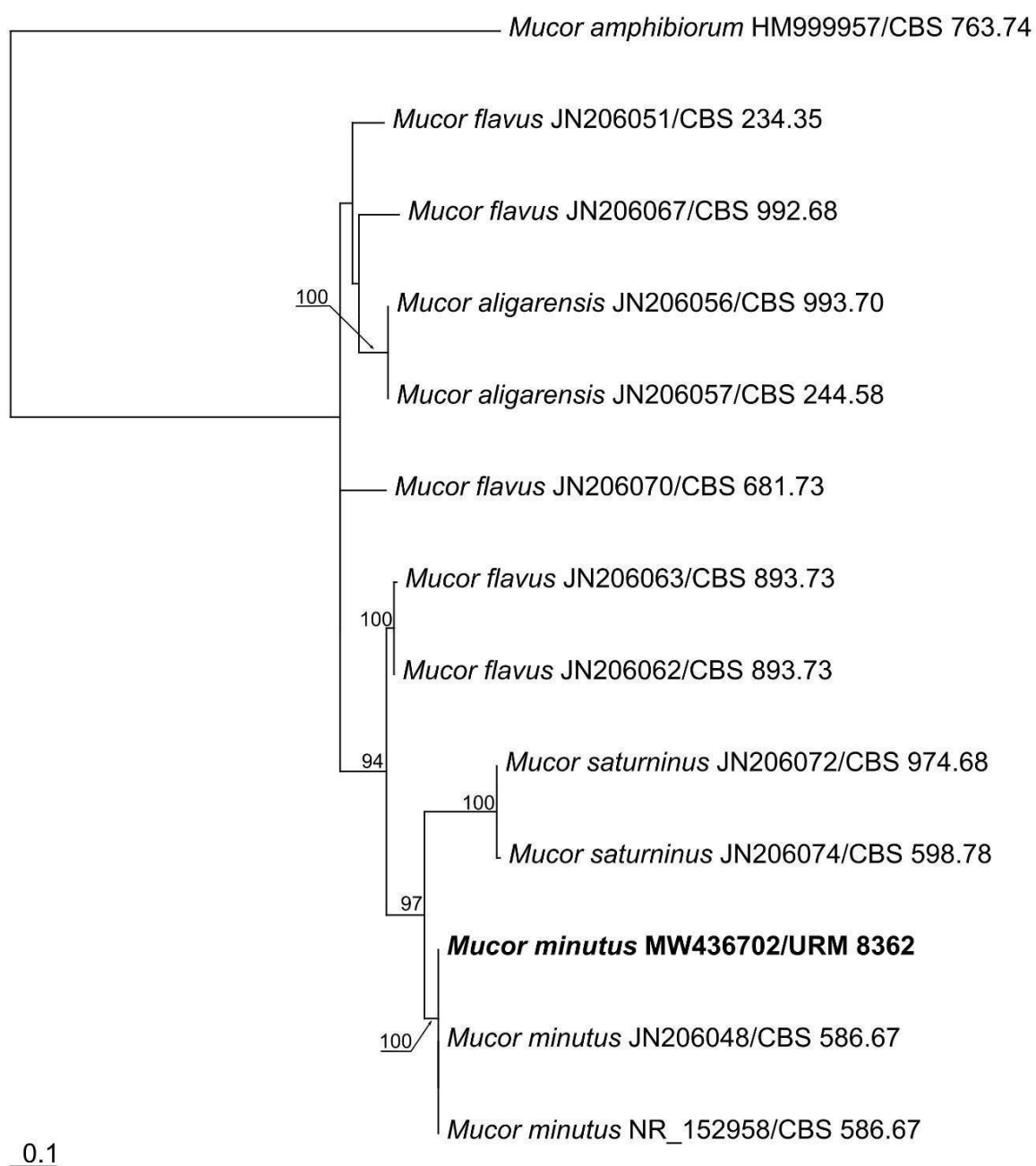


Fig. 2. Phylogenetic tree of *Mucor* taxa constructed using the rDNA (ITS) sequences with *Mucor amphibiorum* as an external group. Supporting values are for maximum probability analysis. The sequence obtained in this study is in bold.

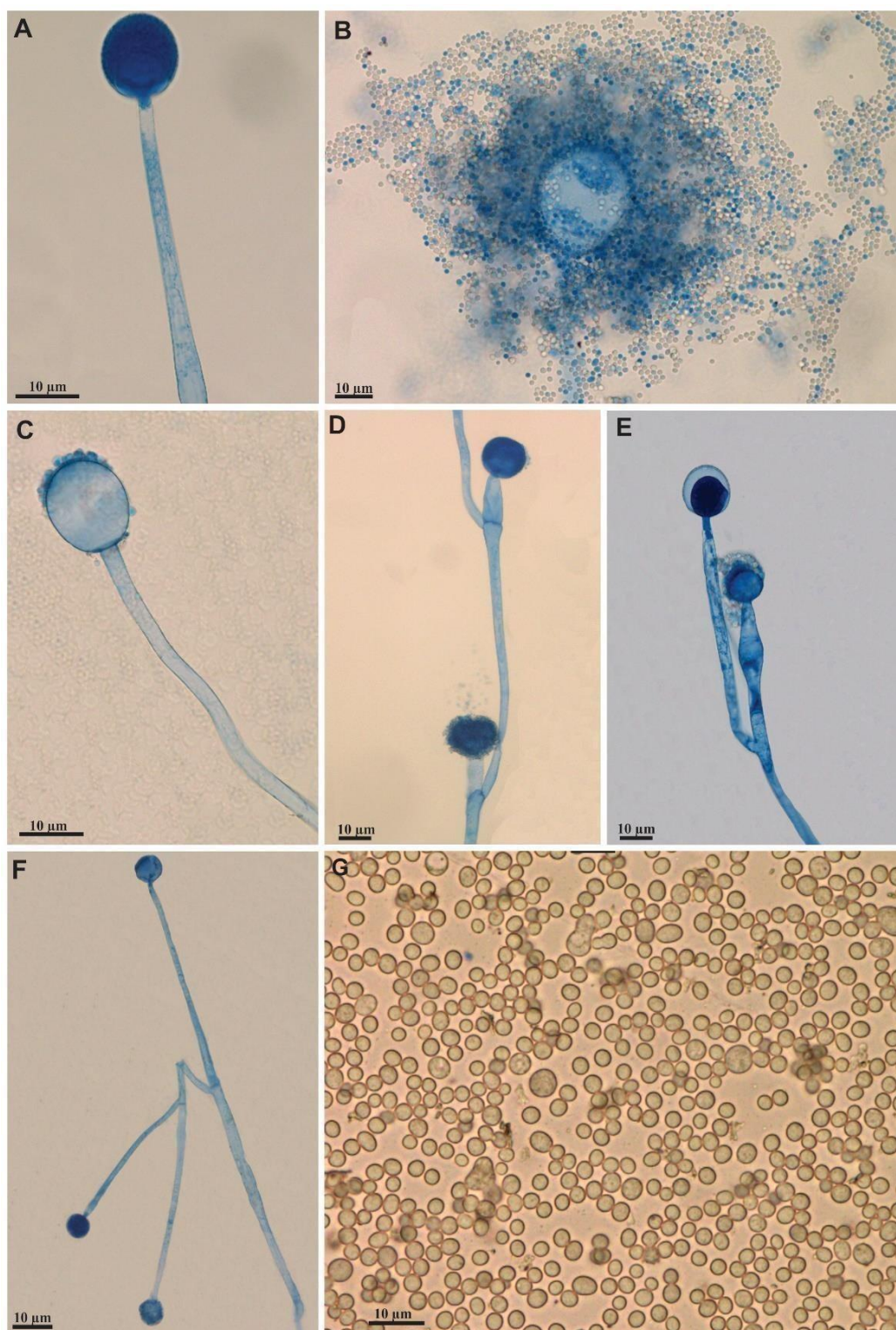


Fig. 3. a-g. *Mucor minutus* (URM 7894) – a. sporangiophore with sporangium; b. sporangium with esporangiospores; c. sporangiophore with columella d,e,f. sporangiophores monopodially branched; g. sporangiospores.

Discussion

In the BLASTn analysis, the URM8362 sequence showed 100% identity with the sequences of *M. minutus* holotype (CBS 586.67, JN2060 and CBS 586.67, NR_152958), and the morphological characteristics of *M. minutus* described here have a good correspondence with the description of Schipper (1975). However, some morphological differences were observed between URM 8362 and the holotype. Long sporangiophores up to 20 μm diameter were observed in our specimen, smaller than those described by Schipper (1975), which can reach up to 30 μm in diameter. The sporangia of the long sporangiophores of URM 8362 are smaller than those described by Schipper (1975) which are up to 175 μm in diameter. URM 8362 exhibits columellae of the long sporangiophores obovoid, globose and infrequently conical and flattened, up to $85 \times 95 \mu\text{m}$ in diameter, while Schipper (1975) reported columellae of the long sporangiophores obovoid to ellipsoid, infrequently pyriform up to $135 \times 97 \mu\text{m}$ in diameter. The columellae of short sporangiophores described here are conical and subglobose, up to $36.5 \times 25 \mu\text{m}$ in diameter, unlike those reported for the holotype, which are cylindrical to ellipsoid, some conical for flattened, up to 125 μm in diameter. Nguyen et al. (2017), observed the presence of one to three septa below the columellae, unlike our isolate and the holotype (Schipper 1975), which have no septum below the columellae.

This manuscript contributes to knowledge of the distribution of *M. minutus*, a rare species reported in only five countries so far. The genus *Mucor* is still poorly represented in the Brazilian upland forest areas that are being constantly degraded mainly by human action, which makes urgent the knowledge of its mycobiota.

Acknowledgements

This manuscript was financed by the Project 'Mucoromycotina Diversity in the different ecosystems of the Atlantic Forest of Pernambuco' (FACEPE - First Projects Program PPP/ FACEPE/APQ - 0842-2.12/14). The authors also thank the National Council for Scientific and Technological Development for the productivity grant awarded to André LCM de A. Santiago and for the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for the grant granted to Ana LS de M. Alves.

References

- Álvarez E, Cano J, Stchigel AM, Sutton DA, Fothergill AW, Salas V, Rinaldi MG, Guarro J (2011) Two new species of *Mucor* from clinical samples. *Medical Mycology*, 49 (1): 62–72. [http://doi.org/10.3109 / 13693786.2010.499521](http://doi.org/10.3109/13693786.2010.499521)
- Alves MH, Takaki GMC, Okada K, Pessoa IHF, Milanez AI (2005) Detection of extracellular protease in *Mucor* species. *Revista Iberoamericana de Micologia*, 22 (2): 114–117. [http://dx.doi.org/10.1016/S1130-1406\(05\)700206](http://dx.doi.org/10.1016/S1130-1406(05)700206)
- Benny GL (2008) The methods used by Dr. R.K. Benjamin, and other Mycologists to isolate Zygomycetes. *Smooth* 26: 37–61. <https://doi.org/10.5642/aliso.20082601.08>
- Benny GL, Humber RA, Voigt K (2014) Zygomycetous Fungi: Phylum Entomophthoromycota and Subphyla Kickxellomycotina, Mortierellomycotina, Mucoromycotina, and Zoopagomycotina. In: McLaughlin D, Spatafora J (eds) *Systematics and Evolution. The Mycota (A Comprehensive Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research)*, vol 7A. Springer, Berlin, Heidelberg. 209– 250. http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-642-55318-9_8
- Bissett A, Fitzgerald A, Meintjes T, Mele P, Reith F, Dennis P (2016) Introducing BASE: the Biomes of Australian Soil Environments soil microbial diversity database. *Gigascience*, 5(1), 16–126. <https://doi.org/10.1186/s13742016-0126-5>
- Chen GQ, Zheng RY (1986) A new species of *Mucor* with giant spores. *Acta Mycologica Sinica Supplement* 1: 56– 60.
- Crous PW, Wingfield MJ, Burgess TI, Hardy GESTJ, Gené J, Guarro J, Base IG, García D, Gusmão LFP, Souza-Motta CM, Thangave R, Adamčík S, Barili A, Barnes CW, Bezerra JDP, Bordallo JJ, Cano-Lira JF, Oliveira RJV, Ercole

E, Hubka V, Iturrieta-González I, Kubátová A, Martín MP, Moreau PA, Death A, Ordoñez ME, Rodríguez A, Stchige AM, Vizzini A, Abdollahzadeh J, Abreu VP, Adamčíková K, Albuquerque GMR, Alexandrova AV, Álvarez Duarte E, Armstrong-Cho C, Banniza S, Barbosa SR, Bellanger JM, Bezerra JL, Cabral TS, Caboň M, Caicedo E, Cantillo T, Carnegie AJ, Carmo LT, Castañeda-Ruiz RF, Clement CR, Čmoková A, Conceição LB, Cruz RHSF, Damm U, Silva BDB, Silva GA, Silva RMF, Santiago ALCMA, Oliveira LF, De souza CAF, Déniel F, Dima B, Dong G, Edwards J, Félix CR, Fournier J, Gibertoni TB, Hosaka K, Iturriaga T, Jadan M, Jany JL, Jurjević Z, Kolařík M, Kušan I, Landell MF, Leite Cordeiro TR, Lima DX, Loizides M, Luo S, Machado AR, Madrid H, Magalhães WTO, Marinho P, Matočec N, Mešić A, Miller AN, Morozova OV, Neves RP, Nonaka K, Nováková A, Oberlies NH, Oliveira-Filho JRC, Oliveira TGL, Papp V, Pereira OL, Perrone G, Peterson SW, Pham THG, Raja HA, Raudabaugh DB, Řehulka J, Rodríguez-Andrade E, Saba M, Schauflerová A, Shivas RG, Simonini G, Siqueira JPZ, Sousa JO, Stajsic V, Svetasheva T, Tan YP, Tkalčec Z, Ullah S, Valente P, ValenzuelaLopez N, Abrinbana M, Viana Marques DA, Wong PTW, Xavier de Lima V, Groenewald JZ (2018) Fungal Planet description sheets: 716– 784. *Persoonia* 40: 240– 393. <https://dx.doi.org/10.3767/2Fpersoonia.2018.41.12>

Góes-Nto A, Loguercio-Leite C, Guerrero RT (2005) DNA extraction from frozen field collected and dehydrated herbarium fungal basidiomata: performance of SDS and CTAB- base methods. *Biotemas* 18 (2): 19–32. <https://doi.org/10.5007/25x>

Guindon S, Gascuel O (2003) A simple, fast, and accurate algorithm to estimate large phylogenies by maximum likelihood. *Systematic Biology* 52 (5): 696–704. <https://doi.org/10.1080/10635150390235520>

Hall TA (1999) BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98 / NT. *Nucleic Acids Symposium* 41:

95–98. <http://doi.org/10025329089>

Hermet A, Méheust D, Mounier J, Barbier G, Jany JL (2012) Molecular systematics in the genus *Mucor* with special regards to species encountered in cheese. *Fungal Biology* 116 (6): 692–705. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2012.04.002>

Hoffmann K, Pawlowska J, Walther G, Wrzosek M, De Hoog GS, Benny GL, Kirk PM, Voigt K (2013) The family structure of the Mucorales: a synoptic revision based on comprehensive multigene-genealogies. *Persoonia* 30: 57– 76. <https://doi.org/10.3767/1003158513X66625>

Jacobs K, Botha A (2008) *Mucor renisporus* sp. nov., a new coprophilous species from Southern Africa. *Fungal Diversity* 29: 27–35. <https://doi.org/10.53528897>

Kwasna H, Ward E, Bateman GL (2006) Phylogenetic relationships among Zygomycetes from soil based on ITS1/2 rDNA sequences. *Mycological Research* 110 (5) 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.02.004>

- Larkin MA, Blackshields L, Brown NP, Chenna R, McGettigan PA, McWilliam H, Valentin F, Wallace IM, Wilm UM, Lopez R, Thompson JD, Gibson TJ, Higgins DG (2007) Clustal W and Clustal X version 2.0. *Bioinformatics* 23: 2947–2948. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm404>
- Lima DX, Santiago ALCMA, Souza-Motta CM (2015) Diversity of Mucorales in natural and degraded semi-arid soils. *Brazilian Journal of Botany* 38: 1–9. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0156-8>
- Lima DX, Voigt K, De souza CAF, Oliveira JRV, Souza-motta CM, Santiago ALCMA (2016) Description of *Backusella constricta* sp. nov. (Mucorales, ex Zygomycota) from the Brazilian Atlantic Rainforest, including a key to species of *Backusella*. *Phytotaxa* 289: 59–68. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.289.1.4>
- Lima DX, Souza-Motta CM, Wagner L, Voig K, De Souza CAF, Oliveira RJV, Silva GA, Santiago ALCMA, Walther G (2017) *Circinella simplex*—a misapplied name of *Mucor circinatus* sp. nov. *Phytotaxa* 329 (3): 269–276. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.329.3.8>
- Lima CML, Lima DX, De Souza CAF, Oliveira RJV, Cavalcanti IB, Gurgel LMS, Santiago ALCMA (2018) Description of *Mucor pernambucoensis* (Mucorales, Mucoromycota), a new species isolated from the Brazilian upland rainforest. *Phytotaxa* 350 (3): 274–282. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.350.3.6>
- Lima DX, Corderiro TRL, De Lima CLF, De Souza CAF, Santiago ALCMA, Souza-Motta CM (2020). A new occurrence of *Mucor nidicola* (Madden, Stchigel, Guarro, Sutton et Starks)(Mucorales, Mucoromycota) in the Upland Rainforest of the Brazilian Northeast and first report as a saprobe in soil. *Check List* 16 (1):163–167. <https://doi.org/10.15560/16.1.163>
- Madden A, Stchigel AM, Guarro J, Sutton D, Starks P (2012) *Mucor nidicola* sp. nov., a novel fungal species isolated from an invasive paper wasp nest. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 62 (7): 1710–1714. <https://doi.org/10.1099/ijls.0.033050-0>
- Mehrotra BS, Mehrotra BM (1978) Another azygosporic species of *Mucor* from India. *Sydowia* 31: 94–96.
- Milne L, Wright F, Rowe G, Marshall D, Husmeier D, McGuire G (2004) TOPALi: Software for automatic identification of recombinant sequences within DNA multiple Alignments. *Bioinformatics* 20 (11): 1806–1807. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bth155>
- Mirza JH, Khan SM, Begum S, Shagufta S (1979) Mucorales of Pakistan. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan, 183 pp.
- Nguyen TTT, Jung HY, Lee YS, Voigt K, Lee HB (2017) Phylogenetic Status of Two Undescribed Zygomycete Species from Korea: *Actinomucor elegans* and *Mucor minutus*, *Mycobiology*, 45 (4): 344–352. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.344>

- O'Donnell K, Lutzoni FM, Ward TJ, Benny GL (2001) Evolutionary relationships among mucoralean fungi (Zygomycota): evidence for family polyphyly on a large scale. *Mycologia* 93(2): 286–297. <https://doi.org/10.1080/00275514.2001.12063160>
- Oliveira R, Lima T, Cunha I, Coimbra V, Silva G, Bezerra J, Cavalcanti M (2014) *Corniculariella brasiliensis*, a new species of coelomycetes in the rhizosphere of *Caesalpinia echinata* (Fabaceae, Caesalpinioideae). Brazil. *Phytotaxa* 178 (3): 197–204. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.178.3.5>
- Pei KQ (2000) A new variety of *Mucor variosporus* and the validation of *M. luteus* Linnemann and *M. variosporus* Schipper. *Mycosystema* 19: 10– 12.
- Rodrigues PCG, Chagas MGS, Silva FBR, Pimentel RMM (2008) Ecology of Brejos de Altitude de Pernambuco. *Geography Magazine* 25: 20–34. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000082&pid=S21757860201200020002100023&lng=en. Accessed on: 2020-12-18.
- Ronquist F, Huelsenbeck JP (2003) MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19: 1572–1574. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btg180>
- Santiago ALCMA, Santos PJP, Maia LC (2013) Mucorales from the semiarid of Pernambuco, *Brazilian Journal of Microbiology* 44 (1): 299–305. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013005000027>
- Santiago ALCMA, Hoffmann K, Lima DX, Oliveira RJV, Vieira HEE, Malosso E, Maia LC, Silva GA (2014) A new species of *Lichtheimia* (Mucoromycotina, Mucorales) isolated from Brazilian soil. *Mycological Progress* 13 (2): 343–352. <https://doi.org/10.1007/s11557-013-0920-8>
- Schoenlein-crusius IH, Milanez AI, Trufem SFB, Pires-Zottarelli CLA, Piccolo RAG, Santos ML, Giustra KC (2006) Microscopic fungi in the atlantic rainforest in cubatão, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology* 37 (3): 267–275. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000300014>
- Schipper MAA (1975) *Mucor mucedo*, *Mucor flavus* and related species. *Studies in Mycology* 10: 1– 33.
- Schipper MAA (1978) On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. *Studies in Mycology* 17: 1– 69.
- Schipper MAA, Samson RA (1994) Miscellaneous notes on Mucoraceae. *Mycotaxon* 50: 475– 491.
- Siqueira Filho JA, Machado ICS (2001) Reproductive biology of *Canistrum aurantiacum* E. Morren (Bromeliaceae) in remnants of the Atlantic Forest, Northeast Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 15 (3): 427–443. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000300011>
- Subrahmanyam A (1983) Studies on themomycology. *Mucor thermohyalospora* sp. nov. *Bibliotheca mycological* 91: 421–423.

Tuinen DV, Jacquot E, Zhao B, Gollotte UM, Gianinazzi-Pearson V (1998) Characterization of root colonization profiles by a microcosm community of arbuscular mycorrhizal fungi using 25S rDNA-targeted nested PCR. *Molecular Ecology* 7 (7): 879–887. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00410.x>

Voglmayr H, Clémenton H (2016) Identification and taxonomic position of two mucoralean endoparasites of *Hysterangium* (Basidiomycota) based on molecular and morphological data. *Mycological Progress* 15 (1): 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11557-015-1150-z>

Verkley G (2020) Fungal Biodiversity Center (CBS) - Fungi strains. CBS Fungal Biodiversity Center. <https://www.gbif.org/occurrence/1212953149> accessed on 2020-11-18.

Wagner L, De hoog S, Alastruey-Izquierdo A, Voigt K, Kurzai O, Walther G (2019) A Revised Species Concept for Opportunistic *Mucor* Species Reveals Species-Specific Antifungal Susceptibility Profiles. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 3: 1–8. <https://doi.org/10.1128/AAC.00653-19>

Walther G, Pawłowska J, Alastruey-Izquierdo UM, Wrzosek H, RodriguezTudela JU, Dolatabadi S, Chakrabarti UM, De hoog GS (2013) DNA barcoding in Mucorales: an inventory of biodiversity. *Persoonia* 30: 11–47. <http://dx.doi.org/10.3767/003158513X665070>

Watanabe T (1994) Two new species of homothallic *Mucor* in Japan. *Mycology* 86 (5): 691–695. <https://doi.org/10.2307/3760541>

Williams TH, Liu PSW (1976) A host list plants diseases in Sabah, Malaysia. *Phytopathology paper No. 19*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, United Kingdom, 67 pp.

Wijayawardene NN, Hyde KD, Al-Ani LKT, Tedersoo L, Haelewaters D, Rajeshkumar KC, Zhao RL, Aptroot A, Leontyev DV, Saxena RK, Tokarev YS, Dai DQ, Letcher PM, Stephenson SL, Ertz D, Lumbsch HT, Kukwa M, Issi IV, Madrid H, Phillips AJL, Selbmann L, Pfliegler WP, Horváth E, Bensch K, Kirk PM, Kolaříková K, Raja HA, Radek R, Papp V, Dima V, Ma J, Malosso E, Takamatsu S, Rambold G, Gannibal PB, Triebel D, Gautam AK, Avasthi S, Suetrong S, Timdal E, Fryar SC, Delgado G, Réblová M, Doilom M, Dolatabadi S, Pawłowska J, Humber RA, Kodsueb R, Sánchez-Castro I, Goto BT, Silva DKA, de Souza FA, Oehl F, da Silva GA, Silva IR, Błaszowski J, Jobim K, Maia LC, Barbosa FR, Fiuza PO, Divakar PK, Shenoy BD, Castañeda-Ruiz RF, Somrithipol S, Lateef AA, Karunarathna SC, Tibpromma S, Mortimer PE, Wanasinghe DN, Phookamsak R, Xu J, Wang Y, Tian F, Alvarado P, Li DW, Kušan I, Matočec N, Maharachchikumbura SSN, Papizadeh M, Heredia G, Wartchow F, Bakhshi M, Boehm E, Youssef N, Hustad VP, Lawrey JD, Santiago ALCMA, Bezerra JDP, Souza-Motta CM, Firmino AL, Tian Q, Houbraken J, Hongsean S, Tanaka K, Dissanayake AJ, Monteiro JS, Grossart HP, Suija A, Weerakoon G, Etayo J, Tsurykau A, Vázquez V, Mungai P, Damm U, Li QR, Zhang H, Boonmee S, Lu YZ, Becerra AG, Kendrick B, Brearley FQ, Motiejūnaitė J, Sharma B, Khare R,

Gaikwad S, Wijesundara DSA, Tang LZ, He MQ, Flakus A , Rodriguez-Flakus P, Zhurbenko MP, McKenzie EHC, S tadler M, Bhat DJ, Liu JK, Raza M, Jeewon R, Nassonova ES, Prieto M, Jayalal RGU, Erdogdu M, Yurkov A, Schnittler M, Shchepin ON, Novozhilov YK, Silva-Filho AGS, Gentekaki E, Liu P, Cavender JC, Kang Y, Mohammad S, Zhang LF, Xu RF, Li YM, Dayarathne MC, Ekanayaka AH, Wen TC, Deng CY, Pereira OL, Navathe S, Hawksworth DL, Fan XL, Dissanayake LS, Kuhnert E, Grossart HP , Thines M (2020) Outilne of fungi and fungus-like taxa. *Mycosphere* 11 (1): 106–1456. https://mycosphere.org/pdf/MYCOSPHERE_11_1_8-1.pdf

Zalar P, Hennebert GL, Gunde-Cimerman N, Cimerman A (1997) *Mucor troglophilus*, a new species from cave crickets. *Mycotaxon* 65: 507–516.