



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA

CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM

ÊNFASE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARIA CAROLINA DA ROSA PINTO

**DIVERSIDADE DE MUCOROMYCOTA EM ÁREAS
DA MATA ATLÂNTICA DA PARAÍBA, BRASIL**

Recife

2023

MARIA CAROLINA DA ROSA PINTO

**DIVERSIDADE DE MUCOROMYCOTA EM ÁREAS DA MATA ATLÂNTICA DA
PARAÍBA, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de graduada em Ciências Ambientais.

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

Coorientador (a): Ma. Leslie Waren Silva de Freitas (UFPE).

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Pinto, Maria Carolina da .
Diversidade de Mucoromycota em áreas da Mata Atlântica da Paraíba,
Brasil
/ Maria Carolina da Pinto. - Recife, 2024.
43 : il., tab.

Orientador(a): André Luiz Cabral Monteiro de Santiago
Coorientador(a): Leslie Waren Silva de Freitas
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas
/Ciências Ambientais - Bacharelado, 2024.

1. Mucorales. 2. Mucoromycotina. 3. REBIO. 4. Solo. 5.
Taxonomia. I. Santiago , André Luiz Cabral Monteiro de .
(Orientação). II. Freitas, Leslie Waren Silva de . (Coorientação). IV.
Título.

570 CDD (22.ed.)

MARIA CAROLINA DA ROSA PINTO

**DIVERSIDADE DE MUCOROMYCOTA EM ÁREAS DA MATA ATLÂNTICA DA
PARAÍBA, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de graduada em Ciências Ambientais.

Aprovado em: 08/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Dr. André Luiz C. M. de A. Santiago (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Catarina Letícia Ferreira de Lima (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Ma. Isaias de Oliveira Junior (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me dar a força que precisei para conquistar tudo que consegui até então.

Agradecer a mim mesma, por não desistir, por ser persistente para alcançar meus objetivos e ser resiliente.

Aos meus pais, Kely Rosa e Sebastião Pinto, que sempre apoiaram as minhas decisões e são meu exemplo para tudo.

Ao meu namorado, David Lucas, por estar sempre do meu lado, fazendo com que minha vida atarefada seja mais leve.

À minha gata, Momo, que está sempre comigo e exalando sempre energias boas e retendo ruins.

À minha irmã Leila Pinto, por ajudar nas traduções e estar presente, mesmo que não fisicamente, nesse momento.

Às minhas amigas de grupo e de vida Chrisley Gomes, Dryanne Melo e Luna Marcelino. Obrigada por me escutar, me aconselhar e me apoiar nessa jornada.

À minha amiga, Gabriela Leite, minha confidente, que me acompanhou em todos os momentos bons e ruins da minha vida. Para sempre juntas.

Ao meu orientador, prof. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago, pelos ensinamentos desde as salas de aulas até o laboratório e por sempre ser uma pessoa solícita comigo.

À minha coorientadora, amiga e mãe científica, Leslie Freitas, por tantos ensinamentos dentro e fora da universidade e pelos bons momentos de descontração na nossa rotina.

À banca formada por Catarina Lima, Isaias Junior e Layanne Ferro que participaram e ajudaram nesse processo de defesa e finalização do meu TCC.

Ao professor e amigo, Roger Melo, por me fazer gostar de micologia no meu primeiro ano na UFPE e por sempre me auxiliar com os dados de projetos. Gratidão por sua amizade e parceria sempre.

Às amigas de laboratório e do Departamento de Micologia: Catarina Lima, Isabela Ferreira, Robervânia Santos, Suzana Brito, Maria Alice Santos, Nicole Brito e Mariana Franco – Gratidão por tantos ensinamentos, pela amizade e parceria.

Aos meus colegas do curso de Ciências Biológicas com ênfase em Ciências

Ambientais que estiveram compartilhando comigo momentos bons e difíceis que a graduação nos proporciona.

A todos os colegas do Departamento de Micologia da UFPE, que, de alguma forma, me auxiliaram e me fizeram dar boas risadas durante todo esse processo.

À FACEPE, pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Pernambuco, por mudar a minha visão sobre a vida, pelas oportunidades e pelo suporte para realização desse trabalho.

Gratidão, de verdade!

RESUMO

O domínio Mata Atlântica é um dos mais importantes *hotspots* mundiais, conhecido pela ampla biodiversidade e por abrigar elevado número de espécies endêmicas de diversos grupos de organismos, incluindo os fungos. Estudos sobre a taxonomia e ecologia de Mucoromycota são fragmentados, tendo sido principalmente desenvolvidos nos estados de São Paulo e Pernambuco sem registros para o estado da Paraíba. Dessa forma, esse estudo teve o objetivo principal de conhecer e comparar a diversidade, a riqueza e abundância de espécies de Mucoromycota em três fitofisionomias da Reserva Biológica Guaribas, na Paraíba, que inclui uma área antropizada, através da mensuração de dados estatísticos, ecológicos e populacionais. Foram realizadas duas expedições para a coleta de amostras de solo nas áreas das Secretarias de Meio Ambiente I (SEMA I), II (SEMA II) e III (SEMA III). Em cada área, três quadrantes de 25 m² foram distribuídos aleatoriamente e, em cada um desses quadrantes, foram coletadas cinco amostras de solo, em pontos equidistantes. Para o isolamento, cinco miligramas de solo de cada mostra foram adicionados ao meio de cultura ágar germen de trigo, adicionado de cloranfenicol, contido em placas de Petri, em triplicata. Foram identificados 37 táxons pertencentes a dez gêneros de Mucoromycota. *Cunninghamella bertholletiae* foi a espécie mais abundante e também a mais frequente nas áreas de coleta, dentre todas as isoladas. Doze espécies exibiram diferenças morfológicas, com relação aos outros fungos, e são provavelmente novas. Além disso, três espécies estão sendo reportadas pela primeira vez para o Brasil. Foram observadas elevadas riqueza e diversidade de espécies de Mucoromycota em comparação com outros estudos desenvolvidos em áreas de Mata Atlântica e em outros biomas brasileiros. Foi verificada elevada similaridade, no que se refere à composição das espécies de Mucoromycota, no solo das três fitofisionomias da Reserva Biológica Guaribas (REBIO Guaribas). Entretanto, os dados levantados demonstraram que a antropização pode ter influenciado a diversidade, mas não a riqueza e abundância de espécies de Mucoromycota na área estudada. Os resultados do presente estudo contribuem para o conhecimento da composição das comunidades de Mucoromycota em áreas de Mata Atlântica, com informações importantes a serem utilizadas em futuros estudos de taxonomia, conservação e manejo da REBIO Guaribas.

Palavras-chave: Mucorales; Mucoromycotina; REBIO; Solo; Taxonomia.

ABSTRACT

The Atlantic Forest domain is one of the most important hotspots in the world, known for its widebiodiversity and for presenting a high number of endemic species across several taxonomic groups, including fungi. Studies on the taxonomy and ecology of Mucoromycota in the BrazilianAtlantic Forest are fragmented, most of which have been conducted in the states of São Paulo and Pernambuco. Until this study, there were no records for the state of Paraíba. The main objective of this study was to assess and compare the diversity, richness, and abundance of Mucoromycota species in three phytophysiognomies within the Guaribas Biological Reserve in Paraíba. These phytophysiognomies include an anthropized area. The assessment was based on statistical, ecological, and population data. Two expeditions were conducted to collect soil samples from specific areas: Secretarias de Meio Ambiente I (SEMA I), II (SEMA II), and III (SEMA III). In each area, three randomly distributed quadrants of 25 m² were established, and five soil samples were collected from equidistant points within each quadrant. For the isolation five milligrams of soil from each sample was added into wheat germ agar culture medium plus chloramphenicol, in Petri dishes (in triplicate). A total of 37 taxa belonging to ten genera of the subphylum Mucoromycotina were identified. *Cunninghamella bertholletiae* was the most abundant and frequent species among all isolated fungi. Additionally, twelve species exhibited morphological differences and are likely new species. Furthermore, three species are being reported for the first time in Brazil. The study revealed high species richness and diversity of Mucoromycota compared to other studies conducted in Atlantic Forest areas and other Brazilian biomes. The composition of Mucoromycota species in the soil of the phytophysiognomies within Guaribas Biological Reserve (REBIO Guaribas) showed a high degree of similarity regarding Mucoromycota composition, in the soil of REBIO's three phytophysiognomies. Anthropization positively influenced the abundance of Mucoromycota in REBIO, while diversity was inversely affected, and it did not significantly impact the species richness of these fungi in the studied area. The results of the present study contribute to the knowledgeof the composition of Mucoromycota communities in areas of the Atlantic Forest, with important information to be used in future studies of taxonomy, conservation and management of the REBIO Guaribas.

Keywords: Mucorales; Mucoromycotina; REBIO; Solo; Taxonomia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização das áreas de pesquisa da REBIO - Guaribas, PB	22
Figura 2 -	Vegetação de tabuleiro da SEMA I. REBIO - Guaribas, PB	22
Figura 3 -	Vegetação da floresta ombrófila densa aluvial da SEMA II. REBIO - Guaribas, PB	23
Figura 4 -	Vegetação da floresta ombrófila em áreas de tensão ecológica da SEMA III. REBIO - Guaribas, PB	23
Figura 5 -	Índice de similaridade Sorensen dos fungos zigospóricos do solo da REBIO Guaribas, nas áreas de coleta SEMA I, SEMA II e SEMA III – PB	30
Figura 6 -	<i>Absidia</i> sp 1. A—D. A. Esporângio. B. Columela. C. Rizoides. D. Esporos. <i>Backusella constricta</i> . E—I. E. Esporângio. F. Columelas. G. Esporangíolos uni e multiesporados. H. Rizoides. I. Esporos. <i>Cunninghamella clavata</i> . J—N. J-K. Esporangíolos uniesporados. L. Vesícula. M. Rizoides. N. Esporos. <i>Gongronella butleri</i> . O—Q. O-P. Esporângios. Q. Esporos. <i>Rhizopus microsporus</i> . R—S. R. Esporângio deliquescente. S. Esporos. <i>Umbelopsis isabellina</i> . T—V. T. Esporângio. U. Esporóforos e columelas. V. Esporos. Barras: A, B, C, E, F, H, J, L, M, N, O, P, R= 20 µm. D, G, I, K, Q, S, U, V= 10 µm.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela - 1	Número de Unidades Formadoras de Colônia por grama de solo (UFC.g-1) de Mucoromycota no solo da REBIO Guaribas, na Paraíba.	26
Tabela - 2	Frequência de ocorrência (FO) de Mucoromycota no solo dos pontos observados da Reserva Biológica de Guaribas, na Paraíba.	28
Tabela - 3	Diversidade de Shannon (H), Equitabilidade (J), Dominância (D) e Riqueza (S) nas áreas da REBIO - Guaribas, Paraíba.	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	MUCOROMYCOTA DOWELD	13
2.1.2	Mucorales Dumort	15
2.1.3	Umbelopsidales Spatafora, Stajich & Bonito	17
2.2	MATA ATLÂNTICA	18
2.3	MUCOROMYCOTA DA MATA ATLÂNTICA	20
3	OBJETIVOS	20
3.1	Objetivo Geral	20
3.1.2	Objetivos específicos	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1	ÁREAS DE ESTUDO	21
4.2	COLETA DE SOLO	23
4.3	ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DOS MUCOROMYCOTA	24
4.4	DADOS ECOLÓGICOS/POPULACIONAIS/ESTATÍSTICOS	24
4.5	EXTRAÇÃO DE DNA, AMPLIFICAÇÃO E SEQUENCIAMENTO DO rDNA	25
4.6	ANÁLISES FILOGENÉTICAS	25
5	RESULTADOS	26
6	DISCUSSÃO	32
7	CONCLUSÕES	35
8	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

Mucoromycota Doweld abriga espécies do antigo filo Zygomycota Moreau, que é desconsiderado desde 2007, por ser polifilético (Hibbett *et al.*, 2007; Hoffmann *et al.*, 2011). Os representantes desse primeiro filo são caracterizados pela produção do zigosporo, um esporo sexuado formado por copulação gametangial, e também pela reprodução assexuada, a qual ocorre a produção de esporangiosporos, esporângios ou merosporos (Benny, 2009; Hoffmann *et al.*, 2013). Mucoromycota abriga o subfilo Mucoromycotina Benny que compreende as ordens Endogonales Moreau ex R.K. Benj., Umbelopsidales Spatafora, Stajich & Bonito e Mucorales Dumort., essa última citada possuindo mais de 380 espécies descritas, sendo a maior em número de táxons (Tedersoo *et al.*, 2018; Wijayawardene *et al.*, 2022).

A maioria das espécies de Mucoromycota são caracterizadas pela formação do micélio cenocítico, com hifas de crescimento rápido que possuem septos que delimitam estruturas de reprodução (Benny, 2014; Voigt *et al.*, 2014), apesar de que, septos irregularmente espaçados são observados nas colônias envelhecidas (de Souza *et al.*, 2017). As colônias dos espécimes desse filo possuem aspecto cotonoso ou flocoso, com coloração varia de acordo com a espécie, o seu tempo de vida e a temperatura do ambiente, variando também entre cores como o amarelo, branco, cinza, creme, marrom e algumas apresentando pontos pretos (Benny *et al.*, 2016).

A maioria dos espécimes de Mucoromycota são decompositores, sendo cosmopolitas e de fácil dispersão, podem ser encontrados no solo e em excremento de animais, principalmente de herbívoros, além de que alguns táxons são isolados de frutos em decomposição, alimentos estocados (Hoffmann *et al.*, 2013; Santiago *et al.*, 2013), e outros podem parasitar animais, incluindo humanos, e parasitar outros fungos (Trufem *et al.*, 2006; Santiago e Souza-Motta, 2008). Algumas espécies de Mucoromycota são estudadas por seus potenciais biotecnológicos, fazendo parte de produções de alimentos fermentados (queijos e tofus), produção de enzimas (amilases e proteases) e ácidos orgânicos (Kwasna *et al.*, 2006; Hoffmann *et al.*, 2013; Hermet *et al.*, 2014; Benny, 2016), além de que, muitas espécies dessa ordem foram isoladas em diferentes áreas no Brasil, especialmente nos domínios da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Flora e Funga do Brasil, 2024).

A Mata Atlântica abrange 15,3% do território Brasileiro e estende-se por 17

estados (IBGE, 2021). No entanto, devido à extensa atividade humana, resta apenas 28% da cobertura vegetal natural da Mata Atlântica preservada (Rezende *et al.*, 2018). A concentração dos espécimes endêmicos que sofrem com essa pressão antrópica conferiu à Mata Atlântica o status de “hotspot” e colocou em alerta as áreas desse domínio, para que haja maiores esforços em prol da conservação de sua biodiversidade (Myers, 2000). As fitofisionomias da Mata Atlântica se devem a alguns fatores como o relevo, que pode variar do nível do mar até 2.900 m de altitude (Mantovani, 2003), tipo de solo, regime pluviométrico e proximidade da costa. Nesse contexto, a vegetação desse domínio pode ser definida por dois tipos principais: floresta ombrófila, que pode ser densa, aberta e mista, e a floresta estacional decidual e semidecidual (Morellato e Haddad, 2000; Ministério do Meio Ambiente, 2017). Trata-se de uma floresta tropical com clima quente e úmido, com a umidade relativa do ar elevada, precipitação abundante e alta luminosidade, e que normalmente forma camadas densas de serapilheira em cima do solo a partir da queda de substratos vegetais (Pereira, 2009). Normalmente, o solo é úmido e raso, porém, em áreas como florestas de tabuleiros, podem ser arenosos (De Andrade Lima, 1970; Rios e Thompson, 2013; Tavares, 1964).

A comunidade fúngica no solo realiza um papel importante dentro dos ecossistemas pelo mundo globais, que é a decomposição da matéria orgânica nesse substrato (Mummey *et al.*, 2010). Estima-se que 7.000 espécies de fungos sejam típicas do solo, estando esses microrganismos entre os mais abundantes com relação à biomassa (Bridge e Spooner, 2001). Há algumas estimativas do número dos fungos existentes e que são baseadas, dentre outros aspectos, na riqueza de plantas vasculares. É estimado que haja entre 2,2 a 3,8 milhões de espécies de fungos no mundo, dentre as quais mais 150.000 espécies são conhecidas (Phukhamsakda *et al.*, 2022). Considerando-se que elevadas diversidade e riqueza de espécies de fungos são esperadas em ecossistemas tropicais (Hawksworth e Lücking, 2017), é possível que o conhecimento da riqueza de fungos na Mata Atlântica brasileira, que conta com o registro de 64 espécies de fungos, seja insuficiente (Flora e Funga do Brasil, 2024).

Até o presente, 118 espécies de Mucoromycota foram reportadas no Brasil, com maiores riquezas registradas para os estados de Pernambuco e São Paulo, havendo 64 registros em áreas de Mata Atlântica, 21 relatos para Caatinga e 16 para o Cerrado (Flora e Funga do Brasil, 2024). Essa riqueza de fungos mucoráceos registrada na Mata Atlântica, com relação aos outros biomas supracitados, é consequente de um maior número de inventários terem sido realizados nesse bioma, a maioria no estado de São Paulo (Antunes *et al.*, 1993; Schoenlein-Crusius e Milanez, 1997; 1998; Trufem, 1981), com nenhum registro desses fungos para o estado da Paraíba. Dessa forma, esse trabalho se baseia nas seguintes hipóteses: (I) Existem elevadas diversidade e riqueza de espécies Mucoromycota nas três fitofisionomias da REBIO Guaribas, as quais variam de acordo com cada fitofisionomia; (II) A composição de espécies de Mucoromycota varia entre as três fitofisionomias da REBIO; (III) A antropização influencia negativamente na diversidade, abundância e riqueza de espécies desses fungos na REBIO; (IV) A REBIO Guaribas abriga espécies novas e/ou ainda não registradas de Mucoromycota para o Brasil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MUCOROMYCOTA DOWELD

De acordo com a classificação mais recente, os fungos zigospóricos estão alocados em oito filos: Basidiobolomycota Doweld, Calcarisporiellomycota Tedersoo *et al.*, Entomophthoromycota Humber, Glomeromycota C. Walker & A. Schüßler, Kickxellomycota Tedersoo *et al.*, Mucoromycota, Mortierellomycota Tedersoo *et al.*, Spatafora & Stajich e Zoopagomycota Gryganskyi, M.E. Smith (Wijayawardene *et al.*, 2022). Dentre esses, Mucoromycota possui o maior número de espécies e também é o que abriga o subfilo Mucoromycotina que compreende as classes Endogonomycetes Doweld, Mucoromycetes Doweld e Umbelopsidomycetes Tedersoo, com 18 famílias, 64 gêneros e mais de 380 espécies (Spatafora *et al.*, 2016; Tedersoo *et al.*, 2018; Wijayawardene *et al.*, 2022).

Táxons de Mucoromycota podem ser encontrados nos mais variados ecossistemas e substratos como o solo, excrementos, detritos de plantas, grãos estocados e em frutos de plantas (Spatafora *et al.*, 2016), onde podem atuar como sapróbios, de extrema importância para o ciclo do carbono, simbiontes

ectomicorrízicos ou como parasitos de plantas, animais, humanos, e até de outros fungos (Benny, 2001; Benny *et al.*, 2014; Hoffmann *et al.*, 2013; Terhonen *et al.*, 2014; Spatafora *et al.*, 2016). Esses fungos possuem relevância na taxonomia, servindo como exemplares para investigar vários eventos evolutivos em escala genômica. Por exemplo, duplicações de todo o genoma foram identificadas repetidamente em Mucoromycotina (Ma *et al.*, 2009; Corrochano *et al.*, 2016), o que contribuiu para a grande expansão da contagem de genes entre alguns membros deste filo e assim solucionando questões evolutivas de suas linhagens (Wang, 2023).

A reprodução desses fungos ocorre, geralmente, de forma assexuada (sendo desconhecida para a ordem Endogonales), pela produção de esporos produzidos no interior de esporângios, esporangiólos e merosporângios (Benjamin, 1979; Benny, 2009). Além de ocorrer pela formação de clamidosporos, células brotantes ou artrosporos (Benny *et al.*, 2014; Spatafora *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018). Já a reprodução sexuada, quando ocorre, ocorre-se por copulação gametangial, a qual a união de hifas geneticamente compatíveis formam-se o zigospórângio, uma estrutura com parede espessa, lisa ou ornamentada, de coloração escura, podendo permanecer em estado latente por longos períodos, germinando em condições favoráveis e em seu interior, encontra-se um único esporo sexuado, chamado de zigosporo (Benny, 2001, Benny *et al.*, 2016; Tedersoo *et al.*, 2018).

Segundo Benny *et al.* (2016) e Desirò *et al.* (2017), a ordem Endogonales possui espécies que podem ser sapróbias e simbiontes ectomicorrízicas de plantas embriófitas. Além desses organismos serem isolados de plantas, são isolados de solo e também de material orgânico em decomposição, além de que algumas podem ser encontradas em excrementos de ratos e em pequenos mamíferos. Desirò *et al.* (2017) e Yamamoto *et al.* (2020) descrevem que a formação dos esporocarpos, os quais são os corpos de frutificação na ordem Endogonales, possuem em seu interior os zigosporos produzidos em zigospórângios com suspensores apostos ou produzindo clamidosporos. Acredita-se que espécimes de Endogonales foram os representantes fúngicos primários que estabeleceram um modo de nutrição simbiótica entre fungos e plantas, até mesmo antes dos fungos micorrízicos arbusculares e dos ectomicorrízicos de Dikarya, os quais desempenham o papel crucial na colonização de ambientes terrestres (Spatafora *et al.*, 2016; Desirò *et al.*, 2017; Yamamoto *et al.*, 2020).

2.1.2 Mucorales Dumort.

Fungos da ordem Mucorales são os mais estudados dentro do subfilo Mucoromycotina. Estão distribuídos em 19 famílias: Backusellaceae K. Voigt & P.M. Kirk, Choanephoraceae J.Schröt., Circinellaceae H. Zhao, Y.C. Dai, B.K. Cui, F. Wu, Yuan Yuan & X.Y. Liu, Cunninghamellaceae Naumov ex R.K. Benj., Lentamycetaceae K. Voigt & P.M. Kirk, Lichtheimiaceae Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt, Mucoraceae Dumort., Mycocladaceae Kerst. Hoffm., Disher & K. Voigt, Mycotyphaceae Benny & R.K. Benj., Phycomycetaceae Arx, Pilobolaceae Corda, Protomycocladaceae H. Zhao, Y.C. Dai, B.K. Cui, F. Wu, Yuan Yuan & X.Y. Liu, Radiomycetaceae Hesselt. & J.J. Ellis, Rhizomucoraceae H. Zhao, Y.C. Dai, B.K. Cui, F. Wu, Yuan Yuan & X.Y. Liu, Rhizopodaceae K. Schum., Saksenaeeaceae Hesselt. & J.J. Ellis e Syncephalastraceae Naumov ex R.K. Benj., Syzygitaceae H. Zhao, Y.C. Dai, B.K. Cui, F. Wu, Yuan Yuan & X.Y. Liu e Thermomucoraceae H. Zhao, Y.C. Dai, B.K. Cui, F. Wu, Yuan Yuan & X.Y. Liu, abrigando 55 gêneros (Wijayawardene *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2023.)

A maioria das espécies de fungos mucoráceos destacam-se das outras ordens pela produção de micélio cenocítico com hifas de crescimento rápido, com colônias de aspecto cotonoso que formam estruturas assexuais em abundância, mesmo em meios de cultura pobres em nutrientes, com a coloração que varia em tons de amarelo, branco, cinza, laranja e marrom (Alvarez, 2013; Voigt *et al.*, 2014). Essas hifas cenocíticas podem apresentar septos na base de estruturas reprodutivas ou próximo aos pontos de ramificação dos esporóforos e quando o micélio está envelhecido, esses septos podem apresentar uma distribuição mais irregular (Hoffmann *et al.*, 2013; Santiago *et al.*, 2013; Benny, 2016). Observa-se nas culturas de algumas espécies, estruturas que auxiliam na fixação da absorção, como rizoides, ou disseminação, como estolões (Kirk *et al.*, 2008).

Os esporóforos podem ser circinados ou eretos, com ramificações simples, simpodiais, monopodiais ou racemosas (Viriato, 2003). As columelas e as vesículas, são estruturas formadas na porção apical do esporóforo e apresentam formas variadas: clavadas, cônicas, esféricas, espatuladas, globosas, hemisféricas, obovoides, ovoides ou piriformes, as quais podem exibir parede lisa, incrustada e com ou sem projeções apicais (Benny *et al.*, 2001; Hoffmann *et al.*, 2013). Em relação aos esporangiosporos, na maioria das espécies são hialinos, podendo ser lisos ou com espinhos, estrias ou verrugas (Benny *et al.*, 2001). Esses esporos são

produzidos dentro dos esporângios, que são estruturas globosas ou subglobosas localizadas no ápice dos esporangióforos. Os esporângios podem apresentar parede deliquescente, evanescente ou persistente, podendo ser lisos ou equinulados e possuem um número contável de esporos (Benny *et al.*, 2014; Walther *et al.*, 2019). Além de suas variações morfológicas, como os esporangiólos que são esporângios pequenos, com poucos esporos ou uniesporados e os merosporângios que são esporângios alongados, em formato cilíndrico ou claviformes os quais possuem um número contável de merosporangiosporos dispostos em cadeia (Alvarez, 2013; Benny *et al.*, 2014; Walther *et al.*, 2019).

Fungos mucoráceos podem se reproduzir sexuada e assexuadamente, embora a reprodução sexuada não seja observada em algumas espécies (Benny *et al.*, 2016). A primeira ocorre pela formação de um único zigósporo, uma estrutura com parede espessa e comumente marrom ou preta, mas podendo ser amarela, laranja ou até vermelha, em algumas espécies, ornamentada ou não. Essa reprodução é induzida pelo ácido trispórico, que estimula o contato das hifas geneticamente compatíveis por copulação gametangial, resultando na formação de um zigoto (zigósporo), o qual é formado no interior do zigosporângio (Benny *et al.*, 2014; Voigt *et al.*, 2016; Walther *et al.*, 2019). Porém, comumente, as espécies conhecidas reproduzem-se assexuadamente, produzindo esporos que são formados por clivagem, no interior de esporângios, esporangiólos ou merosporângios (Hoffmann *et al.*, 2013; Benny *et al.*, 2014; 2016). Os fungos desta ordem também desenvolvem-se pela germinação de clamidiosporos, artrosporos (raramente) ou por células leveduriformes (espécies dimórficas) (Hoffmann *et al.*, 2013; Benny *et al.*, 2014; 2016).

Espécies de Mucorales podem ser sapróbias, parasitas facultativas e patógenas oportunistas, muitas delas são utilizadas como modelos de estudos evolutivos (Voigt *et al.*, 2016), além de grande importância biotecnológica, alimentícia, médica e ecológica. Na área de biotecnologia, representantes de Mucorales são utilizados no processo de produção de enzimas, como amilases, inulinasas, lipases, pectinases e renina (Hoffmann *et al.*, 2013). Espécies de *Mucor* e *Rhizopus* podem ser usadas para a produção do biodiesel, pois têm a capacidade de acumular lipídios em sua membrana plasmática, e outros metabólitos relevantes produzidos por Mucorales são os carotenoides, etanóis e ácidos orgânicos (Benny *et al.*, 2014; Voigt *et al.*, 2016). Alguns táxons dessa ordem podem ser utilizados na

biossorção de compostos aromáticos policíclicos, hidrocarbonetos e como bioremediadores de resíduos na indústria têxtil (Benny *et al.*, 2014).

Na agricultura, alguns táxons são causadores de doenças em plantas, frutas e sementes (Lima *et al.*, 2020), como o *Mucor inaequisporus* Dade, que cobre morangos com seu micélio amarelo, causando podridão, amolecendo e deixando os frutos impróprios para consumo (Ren *et al.*, 2023). Tem-se também *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. conhecido pela capacidade de causar o apodrecimento de vegetais armazenados, assim, gerando prejuízos econômicos (Duarte, 2013). Em contraste, espécies benéficas são utilizadas tradicionalmente na produção de alimentos fermentados (Hesseltine, 1992; Heo *et al.*, 2023; Scaife *et al.*, 2023), além de espécimes endofíticos que trazem benefícios às plantas, como proteção e resistência (González Tello, 2011; Jin *et al.*, 2013; Freire *et al.*, 2015). Esses fungos atuam ativamente na ciclagem de nutrientes dos substratos, sendo responsáveis pela troca de nitrogênio e carbono nos ecossistemas (Lima *et al.*, 2018).

No contexto da importância dos fungos mucoráceos para medicina, foi relatado que a infecção por SARS-CoV-2 emergiu como um novo fator de risco para o desenvolvimento de mucormicose, conforme evidenciado, principalmente na Índia, durante a segunda onda da pandemia de COVID-19 (Prakash e Chakrabarti, 2021; Who, 2023). Com esse aumento de infecções, a mucormicose se tornou a infecção fúngica mais comum com consequências fatais, juntamente com a aspergilose e a candidemia. Em resposta a esta ameaça, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou a lista prioritária de patógenos fúngicos (FPPL), em outubro de 2022, e essa lista inclui 19 fungos que representam o maior risco para a saúde e, no grupo de alta prioridade, estão os fungos mucoráceos (Who, 2023). As espécies causadoras de mucormicoses possuem uma grande plasticidade genética, como no caso do *Rhizopus arrhizus*, sendo bastante resistentes a diversas drogas antifúngicas (Gina *et al.*, 2021; Kidd; Abdolrasouli; Hagen, 2023).

2.1.3 Umbelopsidales Spatafora, Stajich & Bonito

Umbelopsidales abriga duas famílias: Pygmaeomycetaceae E. Walsh & N. Zhang e Umbelopsidaceae W. Gams & W. Mey., as quais se diferenciam principalmente pela presença de microclamidoporos no grupo Pygmaeomycetaceae, enquanto espécies de Umbelopsidaceae, geralmente, irão produzir os esporângios (Walsh *et al.*, 2020; Wijaywardene *et al.*, 2022).

A maioria das espécies de Umbelopsidales formam colônias com tons de rosa ou vinho, além de esporângios avermelhados ou ocráceos, enquanto as columelas possuem, normalmente, um tamanho bem pequeno (Voigt *et al.*, 2014; Tedersoo *et al.*, 2018). Os esporangióforos dos representantes dessa ordem comumente apresentam estreitamento apical havendo um inchaço na porção basal, e esses esporangióforos ramificam-se de forma verticilada ou cimosa (Voigt *et al.*, 2014). A reprodução assexuada ocorre pela produção de esporangiosporos dentro dos esporângios e, por diferenciação de hifas, as quais formam os clamidosporos, que possuem grande quantidade de conteúdo lipídico. Já a reprodução sexuada ainda não é conhecida para os representantes dessa família (Meyer e Gams, 2003; Spatafora *et al.*, 2016; Tedersoo *et al.*, 2018)

As espécies de *Umbelopsis* são de grande relevância biotecnológica, podem ser utilizadas na produção de biodiesel ou de ácidos graxos poliinsaturados (Gardeli *et al.*, 2017; Dourou *et al.*, 2017; Papanikolaou e Aggelis, 2019), sendo a *Umbelopsis isabellina* (Oudem.) W. Gams uma das mais importantes espécies que produz esse composto (Klempova *et al.*, 2013). As cepas dessa espécie também são capazes de produzir GLA e β -caroteno utilizando-se o fubá como substrato, assim, auxiliando na produção de um bioproduto que possui valor comercial e alto teor de metabólitos, com custo reduzido (Slaný *et al.*, 2020).

Os representantes da ordem Umbelopsidales são encontrados em serrapilheira e também em solos rizosféricos, com evidências de possam ocorrer como endófitos radiculares (Wang; Liu; Zheng, 2014; Benny *et al.*, 2016; Spatafora *et al.*, 2016).

2.2 MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica é um dos domínios com a maior riqueza de organismos do planeta, sendo considerado um dos 25 hotspots mundiais de biodiversidade devido a seu alto grau de endemismo (Myers, 2000). Essa é a segunda maior floresta pluvial do continente americano, a qual, originalmente, cobria 1,5 milhões de km², sendo 92% dessa área localizada no Brasil (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2001). Hoje, as áreas remanescentes desse bioma estão distribuídas de forma fragmentada, cobrindo apenas de 15% do território original (IBGE, 2021). No Brasil, a Mata Atlântica está presente em áreas costeiras, planalto e serras, englobando conjuntos de ecossistemas que pode variar de acordo com a flora, o clima e a geografia do

local (Oliveira-Filho e Fontes, 2000).

Em geral, o clima da Mata Atlântica é tropical úmido sem estação seca, as massas de ar decorrentes do oceano influenciam esse domínio, acarretando vários microclimas ao longo de sua área (Morelato e Haddad, 2000; Bio-Bras, 2011). A temperatura média anual varia de 10°C a 20°C e a precipitação média anual está acima de 1000 mm, sendo bem distribuída ao longo do ano (Pereira, 2009). O solo é ácido, possui pouca oxigenação, sempre úmido e pouco iluminado (provavelmente devido as árvores de grande porte) mas, sua fertilidade se deve a camada de matéria orgânica que cobre a superfície do solo, chamada de serapilheira (Rios e Thompson, 2013).

De acordo com a Lei nº 11.428/2006, a Mata Atlântica integra as seguintes formações florestais nativas: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual e floresta estacional decidual (Brasil, 2006). Com exceção do Maranhão, todos os outros estados Nordestinos abrigam essas fitofisionomias de formações pioneiras. No Nordeste, a área original de Mata Atlântica era de 76.938 Km² (Pôrto; Cabral; Tabarelli, 2004), mas atualmente está distribuída em fragmentos espalhados pela costa, protegidos em pequenas zonas (Almeida, 2000; Santos, 2006).

Embora a Mata Atlântica possua a terceira maior formação vegetacional do Brasil (Galindo-Leal e Câmara, 2005), ações como a retirada ilegal de madeira, a caça e a introdução de plantas exóticas têm resultado na alarmante degradação das florestas brasileiras, tornando esse um dos domínios mais ameaçados do planeta. Restando apenas de 8-10% de sua cobertura original no Brasil, que é restrita a pequenos fragmentos em áreas rurais, urbanas e periurbanas (Tabarelli e Roda, 2005; Muylaert *et al.*, 2018). Nesse contexto, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* que possui áreas com biotas cruciais para esforços de conservação reforçados (Myers, 2000). Porém, sua biodiversidade ainda é considerada pouco conhecida, estimando-se um número muito maior de espécies a serem ainda catalogadas (Romanelli *et al.*, 2022).

Nesse contexto, há poucos estudos taxonômicos de fungos do filo Mucoromycota nesse bioma. Foram relatadas cerca de 120 espécies de fungos deste filo no Brasil, distribuídas entre 26 gêneros, sendo 64 destas espécies que ocorrem em área de Mata Atlântica (Flora e Funga do Brasil, 2024).

2.3 MUCOROMYCOTA DA MATA ATLÂNTICA

Os estudos específicos da ocorrência de Mucoromycota em solos da Mata Atlântica no Brasil foram iniciados na década de 1980, na Fundação Parque Zoológico do Estado em São Paulo, por Trufem (1981). Em seguida, outros pesquisadores estudaram algumas Unidades de Conservação da Mata Atlântica nesse mesmo estado, como Antunes *et al.* (1993), que identificaram 32 táxons e dentre eles, 10 foram de fungos mucoráceos, na cidade de Paranapiacaba. Santos, Wellbaum e Schoenlein-Crusius (1998) relataram 9 espécies de fungos mucoráceos em três áreas, sendo uma delas remanescente da Mata Atlântica, na Ilha dos Eucaliptos, na represa de Guarapiranga. Schoenlein-Crusius e Milanez (1997, 1998) identificaram 13 táxons referentes a 266 registros de fungos mucoráceos dos quais 90 destes foram de solo da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, São Paulo.

Nos anos 2000, Schoenlein-Crusius *et al.* (2006) relataram 40 espécies de fungos mucoráceos na Mata Atlântica, no município de Cubatão, São Paulo. Anos depois, Lima, D. *et al.* (2021) e Lima, D. *et al.* (2018b) realizaram estudos sobre aspectos ecológicos e a diversidade de Mucorales na Reserva Biológica de Saltinho e Reserva Biológica Dois Irmãos, respectivamente. Além de Freitas *et al.* (2020) que propuseram a nova espécie, *Gongronella pedratalhadensis* L.W.S. Freitas, H.B. Lee & A.L. Santiago, isolada da Reserva de Pedra Talhada, em Alagoas. Outros registros de Mucoromycota em áreas de Mata Atlântica, em Pernambuco, foram fornecidos por Freitas *et al.*, 2020; Lima, D. *et al.*, 2018a; Lima, D. *et al.*, 2018b e Lima, D. *et al.*, 2021.

3. OBJETIVOS

3.1.2 Objetivo Geral

Conhecer as comunidades de fungos mucoráceos do solo de diferentes fitofisionomias da Reserva Biológica (REBIO) Guaribas, localizada no estado da Paraíba.

3.1.2 Objetivos específicos

- Entender como as comunidades de Mucoromycota são estruturadas no solo de diferentes fitofisionomias de áreas da Mata Atlântica na

Reserva Biológica Guaribas.

- Entender se existem diferenças na composição de espécies, riqueza, frequência de ocorrência, diversidade e abundância de Mucoromycota entre o solo das diferentes fitofisionomias da REBIO Guaribas.
- Verificar se a antropização influencia a riqueza e diversidade de espécies de Mucoromycota na REBIO Guaribas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo se localizam na Reserva Biológica Guaribas, a qual está sob a gerência executiva do IBAMA (Fig. 1). Criada em 25 de janeiro de 1990, pelo Decreto Federal No 98.884/90, essa Reserva tem 4.028,55 hectares, abrangendo os municípios de Mamanguape e Rio Tinto, na Paraíba e englobando três áreas descontínuas: SEMA I (06°39'47" - 06°42'57"S, 41°06'46" - 41°08'00"W - 616,4 ha), SEMA II (06°40'40" - 06°44'59"S, 41°12'47" - 41°07'11"W - 3.378,2 ha), localizadas no município de Mamanguape, e SEMA III (06°47'32" - 06°48'36"S, 41°06'32" - 41°45'02"W - 327 ha), localizada no município de Rio Tinto.

Em SEMA I (Fig. 2), observam-se vegetais herbáceos, arbustivos, sendo a vegetação característica de tabuleiros costeiros, enquanto, na SEMA II (Fig. 3), ocorrem vegetações de porte médio, mais robustas, de alta densidade, características de uma vegetação ombrófila densa. A SEMA III também possui vegetação característica de floresta ombrófila (assim como a da SEMA II), porém é uma área de transição e tensão ecológica, pois a região é fortemente influenciada pela monocultura da cana-de-açúcar, além de ocorrerem incêndios frequentes nessa área.

O clima caracterizado como tipo As', segundo o sistema de Köppen, sendo quente e úmido, tropical chuvoso com temperatura média anual em torno de 24–27°C e precipitação acima de 1700 mm anuais; a estação chuvosa tem início no mês de fevereiro e se estende até julho (Koppen e Geiger, 1936; Nimer, 1979; da Paraíba, 1985).

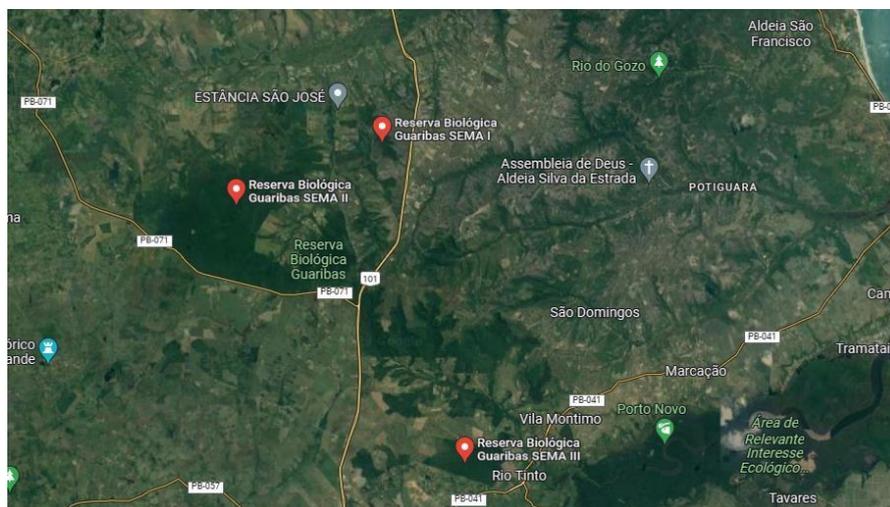


Figura 1 - Localização das áreas de pesquisa da REBIO - Guaribas, PB.
Fonte: *Google maps*, 2023



Figura 2 - Vegetação de tabuleiro da SEMA I. REBIO - Guaribas, PB.
Fonte: a autora, 2022



Figura 3 - Vegetação da floresta ombrófila densa aluvial da SEMA II. REBIO - Guaribas, PB. Fonte: a autora, 2022.



Figura 4 – Vegetação da floresta ombrófila em área de tensão ecológica da SEMA III. REBIO - Guaribas, PB. Fonte: a autora, 2022.

4.2 COLETA DE SOLO

Foram realizadas duas expedições para coleta de amostras de solo, sendo uma em setembro e outra em novembro de 2022, na SEMA I, SEMA II e SEMA III. Em cada área, três quadrantes de 25 m² (5 x 5 m) foram distribuídos aleatoriamente, respeitando-se a distância mínima de 10 m entre os mesmos. Em cada um desses quadrantes, foram coletadas cinco amostras de solo, em pontos equidistantes, a uma

profundidade de 5 cm, totalizando 15 amostras de solo. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos esterilizados, conservadas em caixas de poliestireno com gelo até serem transportadas para o Laboratório de Fungos Zigospóricos, do Departamento de Micologia, da Universidade Federal de Pernambuco.

4.3 ISOLAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DOS MUCOROMYCOTA

O isolamento dos fungos foi realizado logo após as expedições para coletas de solo. Cinco mg de solo de cada mostra foram adicionados ao meio de cultura ágar gérmen de trigo (Benny, 2008), adicionado de cloranfenicol (100 mg.L^{-1}), contido em placas de Petri, em triplicata. O crescimento das colônias foi acompanhado por 72 horas, em temperatura ambiente ($28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Para a purificação, fragmentos das colônias foram transferidos separadamente para o meio batata dextrose ágar (BDA) adicionado de cloranfenicol (100 mg.L^{-1}), contido em placas de Petri e, após confirmada a pureza, transferidos para tubos de ensaio contendo o meio BDA (Lacaz *et al.*, 2002). Os espécimes foram identificados pela observação das características macroscópicas (coloração e aspecto das colônias) e microscópicas (microestruturas), de acordo com a literatura específica.

4.4 DADOS ECOLÓGICOS/POPULACIONAIS/ESTATÍSTICOS

Para a estimativa da diversidade de espécies de Mucoromycota nas áreas SEMA I, SEMA II e SEMA III foram utilizados o índice de diversidade de Shannon-Wiener (Shannon, 1948), equitabilidade (Pielou) e similaridade de Sørensen (Sørensen, 1978). A comparação entre a diversidade, abundância e riqueza de espécies do solo entre as áreas da REBIO Guaribas foi realizada com auxílio programa Past-4.5 (the Past of the Future - Natural History Museum) (Hammer *et al.*, 2001).

A frequência de ocorrência das espécies em cada área foi calculada 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, cada espécie foi classificada como: muito frequente ($>10 \%$), frequente (5-10 %), pouco frequente, ($\geq 1 | < 5 \%$) e rara ($< 1 \%$) (Sarma e Hyde, 2001).

4.5 EXTRAÇÃO DE DNA, AMPLIFICAÇÃO E SEQUENCIAMENTO DO rDNA

As espécies estão com as análises moleculares em andamento, pois há um grande volume de espécimes para confirmação genética. As espécies novas, bem como espécies raras e novas ocorrências serão identificadas de acordo com a taxonomia clássica e com base em análises moleculares, utilizando-se as regiões ITS e LSU do rDNA sequenciadas para confirmação genética. Para a extração do DNA, a biomassa foi obtida de culturas puras seguindo a metodologia de Oliveira *et al.* (2014), sendo o micélio transferido para microtubos com 2 ml de volume, com tampa de rosca, acrescidos de 0,5 g de contas de vidro (*glass beads*) para a trituração do material por agitação em alta velocidade em um *FastPrep*®-24 (MP Biomedicals). Após a trituração do material, foi realizada a extração do DNA genômico conforme Oliveira *et al.* (2016). O micélio foi homogeneizado em tampão de lise de brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) (2% CTAB, 20 mM de ácido etilenodiaminotetracético [EDTA], 0,1 M Tris-HCl, pH 8,0, 1,4 M NaCl) (Doyle e Doyle, 1987; 1990), seguido de lavagem com clorofórmio: álcool isoamílico (24:1) para subsequentemente separar o sobrenadante contendo DNA dos resíduos de hifas. O sobrenadante foi misturado com igual volume de isopropanol, seguido de precipitação de DNA após incubação a -20°C por 30 min. Após centrifugação a 13.000 rpm por 15 min, o pellet de DNA resultante foi lavado com etanol 70% e ressuspenso em 50 µL de água ultrapura.

Para amplificação das regiões ITS e LSU do rDNA, foram utilizados os pares de primers ITS1/ITS4 e LR1/LSU2 (Van Tuinen *et al.*, 1998; Santiago *et al.*, 2014), respectivamente. Os produtos amplificados foram purificados com PureLink – PCR Purification Kit – Invitrogen e estão sendo sequenciados na plataforma de sequenciamento, no Laboratório Central de Sequenciamento da Universidade Federal de Pernambuco. As sequências serão comparadas com as disponíveis no *GenBank* utilizando a ferramenta *Blastn*.

4.6 ANÁLISES FILOGENÉTICAS

As sequências obtidas serão alinhadas com outras recuperadas do *GenBank* (www.ncbi.nlm.nih.gov) com o auxílio do programa *Clustal X* (Larkin *et al.*, 2007) e editadas usando o *BioEdit* (Hall, 1999). Antes das análises filogenéticas, o modelo

de substituição de nucleotídeos será estimado utilizando Topali 2.5 (Milne *et al.*, 2004). A caracterização molecular final será realizada com a avaliação filogenética, com a construção de árvores Bayesianas (1×10^6 gerações) em MrBayes 3.1.2 (Ronquist & Huelsenbeck, 2003), com o auxílio do programa Topali 2.5.

5. RESULTADOS

Foram identificadas 37 espécies e duas variedades de Mucoromycota ($7,96 \times 10^4$ UFC.g⁻¹), distribuídas em 10 gêneros: *Absidia*, *Backusella*, *Circinella*, *Cunninghamella*, *Gilbertella*, *Gongronella*, *Isomucor*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Syncephalastrum* e *Umbelopsis* (Tabela 1, figura 6). As doze espécies que estão sem epíteto específico exibiram características morfológicas que as distinguem das outras espécies, sendo provavelmente novas. *Backusella indica* (Baijal & B.S. Mehrotra) G. Walther & de Hoog, *Gongronella eborensis* M.R. Martins, C. Santos, C. Soares, Cl. Santos & N. Lima e *G. zunyiensis* C.B. Dong, Y.F. Han & Z.Q. Liang estão sendo reportadas pela primeira vez para o Brasil.

Maior abundância absoluta (UFG.g⁻¹ de solo) foi verificado no solo SEMA III ($3,2 \times 10^4$), seguido pelo solo das SEMA II ($3,08 \times 10^4$) e I ($1,68 \times 10^4$). Com relação ao número de espécies, SEMA I foi área mais rica (27 spp.), seguida por SEMA II (26) e III (18), entretanto, estas diferenças não foram significativas. Considerando-se as 3 áreas em conjunto, *Cunninghamella bertholletiae* foi a espécie mais abundante ($2,02 \times 10^4$ UFC), seguida por *Syncephalastrum racemosum* ($1,34 \times 10^4$ UFC) e *C. elegans* ($1,22 \times 10^4$), sendo essas espécies frequentes no solo da REBIO Guaribas.

Tabela 1. Número de Unidades Formadoras de Colônia por grama de solo (UFC.g⁻¹) de Mucoromycota no solo da REBIO Guaribas, na Paraíba.

Mucoromycota	SEMA I	SEMA II	SEMA III	TOTAL
<i>Absidia aguabelensis</i> J.D. Leitão, T.R.L. Cordeiro, Hyang B. Lee & A.L. Santiago	2×10^2	1×10^3	2×10^2	$1,4 \times 10^3$
<i>A. cornuta</i> D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago	0	$1,4 \times 10^3$	1×10^3	$2,4 \times 10^3$
<i>Absidia</i> sp. 1	2×10^2	6×10^2	$1,2 \times 10^3$	2×10^3
<i>Backusella constricta</i> D.X. Lima, C.A.F. de Souza & A.L. Santiago	2×10^2	1×10^3	6×10^2	$1,8 \times 10^3$
<i>B. indica</i>	2×10^2	2×10^2	0	4×10^2
<i>Backusella</i> sp. 1	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Backusella</i> sp. 2	2×10^2	0	0	2×10^2

<i>Circinella muscae</i> (Sorokin) Berl. & De Toni	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Cunninghamella bertholletiae</i>	5×10^3	$8,8 \times 10^3$	$6,4 \times 10^3$	$2,02 \times 10^4$
<i>C. clavata</i> R.Y. Zheng & G.Q. Chen	2×10^2	4×10^2	8×10^2	$1,4 \times 10^3$
<i>Cunninghamella elegans</i>	2×10^3	$4,2 \times 10^3$	6×10^3	$1,22 \times 10^4$
<i>C. phaeospora</i> Boedijn	2×10^2	2×10^2	0	4×10^2
<i>Cunninghamella</i> sp. 1	2×10^2	4×10^2	6×10^2	$1,2 \times 10^3$
<i>Gilbertella persicaria</i> (E.D. Eddy) Hesselt.	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Gongronella brasiliensis</i> C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago	0	2×10^2	6×10^2	8×10^2
<i>G. butleri</i> (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco	6×10^2	2×10^2	1×10^3	$1,2 \times 10^3$
<i>G. eborensis</i> M.R. Martins, C. Santos, C. Soares, Cl. Santos & N. Lima	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>G. lacrispora</i> Hesselt. & J.J. Ellis	0	4×10^2	0	4×10^2
<i>G. pedratalhadensis</i> L.W.S. Freitas, H.B. Lee & A.L. Santiago	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>G. zunyiensis</i> C.B. Dong, Y.F. Han & Z.Q. Liang	0	0	2×10^2	2×10^2
<i>Gongronella</i> sp. 1	6×10^2	1×10^3	$1,4 \times 10^3$	3×10^3
<i>Isomucor trufemiae</i> J.I. de Souza, Pires-Zottarelli & Harakava	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Mucor fragilis</i> Bainier	0	2×10^2	0	2×10^2
<i>M. guilliermondii</i> Nadson & Philippow	0	4×10^2	0	4×10^2
<i>M. irregularis</i> Stchigel, Cano, Guarro & Ed. Álvarez	0	2×10^2	0	2×10^2
<i>Mucor</i> sp. 1	0	4×10^2	0	4×10^2
<i>Mucor</i> sp. 2	0	0	2×10^2	2×10^2
<i>M. nederlandicus</i> Vánová	0	8×10^2	0	8×10^2
<i>Rhizopus arrhizus</i> var. <i>arrhizus</i> A. Fisch.	0	2×10^2	0	2×10^2
<i>R. arrizhus</i> var. <i>delemar</i> (Boidin ex Wehmer & Hanzawa) J.J. Ellis	6×10^2	$2,4 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	$4,4 \times 10^3$
<i>R. microsporus</i> Tiegh.	6×10^2	$1,6 \times 10^3$	$2,2 \times 10^3$	$4,4 \times 10^3$
<i>R. stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill.	$1,4 \times 10^3$	8×10^2	6×10^2	$2,8 \times 10^3$
<i>Syncephalastrum racemosum</i>	3×10^3	$3,6 \times 10^3$	$6,7 \times 10^3$	$1,34 \times 10^4$
<i>Syncephalastrum</i> sp. 1	2×10^2	2×10^2	4×10^2	8×10^2
<i>Syncephalastrum</i> sp. 2	4×10^2	0	0	4×10^2
<i>Umbelopsis isabellina</i> (Oudem.) W. Gams	2×10^3	0	0	2×10^3
<i>Umbelopsis</i> sp. 1	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Umbelopsis</i> sp. 2	3×10^3	1×10^2	0	3×10^3
TOTAL	$1,68 \times 10^4$	$3,08 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$	$7,96 \times 10^4$
RIQUEZA DE ESPÉCIES	27	26	18	

Fonte: a autora, 2023.

Com elevados números de UFC.g⁻¹ de solo, importante destacar que *C. bertholletiae* e *C. elegans* foram as espécies mais frequentes em todas as áreas de estudo. Na SEMA I, *S. racemosum*, *Umbelopsis isabellina* e *Rhizopus stolonifer* foram as espécies mais abundantes, sendo *R. stolonifer* e *U. isabellina* as mais frequentes nessa área (Tabela 2). Já na SEMA II, maiores abundâncias foram observadas para *S. racemosum*, *R. arrizhus* var. *delemar* e *R. microsporus*, sendo a *Absidia cornuta*, *R. stolonifer* e *R. arrizhus* var. *arrizhus* as mais frequentes nessa área. Na SEMA III, as espécies mais abundantes foram as mesmas da área II, porém as mais frequentes foram *G. butleri* e *R. stolonifer*. Embora *S. racemosum* seja a espécie mais abundante, quando observado a análise total da REBIO (Tabela 1), essa espécie é pouco frequente quando observado as áreas individualmente (Tabela 2).

Tabela 2. Frequência de ocorrência (FO) de Mucoromycota no solo dos pontos observados da Reserva Biológica de Guaribas, na Paraíba.

Espécies	Áreas					
	SEMA I	Classificação	SEMA II	Classificação	SEMA III	Classificação
<i>Absidia aguabelensis</i>	1,67	Pouco frequente	8,3	Frequente	1,7	Pouco frequente
<i>Absidia cornuta</i>	—	—	11,7	Muito frequente	8,3	Frequente
<i>Absidia</i> sp. 1	1,67	Pouco frequente	5,0	Frequente	10,0	Muito frequente
<i>Backusella constricta</i>	1,67	Pouco frequente	8,3	Frequente	5,0	Pouco frequente
<i>Backusella indica</i>	1,67	Pouco frequente	1,7	Pouco frequente	—	—
<i>Backusella</i> sp. 1	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Backusella</i> sp. 2	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Circinella muscae</i>	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Cunninghamella Bertholletiae</i>	41,67	Muito frequente	73,3	Muito Frequente	53,3	Muito Frequente
<i>Cunninghamella clavata</i>	1,67	Pouco frequente	3,3	Pouco frequente	6,7	Frequente
<i>Cunninghamella elegans</i>	16,67	Muito frequente	35,0	Muito Frequente	50,0	Muito Frequente
<i>Cunninghamella phaeospora</i>	1,67	Pouco frequente	1,7	Muito frequente	0,0	Muito frequente
<i>Cunninghamella</i> sp. 1	1,67	Pouco frequente	3,3	Pouco frequente	5,0	Muito frequente

<i>Gilbertella persicaria</i>	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Gongrenella brasiliensis</i>	—	—	1,7	Pouco frequente	8,3	Frequente
<i>Gongronela butleri</i>	5,00	Frequente	10,0	Muito frequente	20,0	Muito frequente
<i>Gongronela eborensis</i>	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Gongronela lacrispora</i>	—	—	3,3	Pouco frequente	—	—
<i>Gongronela pedratalhadensis</i>	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Gongronela zunyiensis</i>	—	—	—	—	1,7	Pouco frequente
<i>Gongronella sp.1</i>	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Isomucor truffemiae</i>	—	—	1,7	Pouco frequente	—	—
<i>Mucor fragilis</i>	—	—	3,3	—	—	—
<i>Mucor guillermondii</i>	—	—	1,7	—	—	—
<i>Mucor irregularis</i>	—	—	3,3	Pouco frequente	—	—
<i>Mucor sp. 1</i>	—	—	—	—	1,7	Pouco frequente
<i>Mucor sp. 2</i>	—	—	6,7	Frequente	0,0	Muito frequente
<i>Mucor subtilissimus</i>	—	—	1,7	Pouco frequente	—	—
<i>Rhizopus arrizhus</i> var. <i>arrizhus</i>	5,00	Muito frequente	20,0	Muito frequente	11,7	Muito frequente
<i>Rhizopus arrizhus</i> var. <i>delemar</i>	1,67	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Rhizopus microsporus</i>	11,67	Muito frequente	6,7	Frequente	5,0	Frequente
<i>Rhizopus stolonifer</i>	25,00	Muito frequente	30,0	Muito frequente	56,7	Muito frequente
<i>Syncephalastrum racemosum</i>	1,67	Pouco frequente	1,7	Pouco frequente	3,3	Pouco frequente
<i>Syncephalastrum sp. 1</i>	3,33	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Syncephalastrum sp. 2</i>	3,33	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Umbelopsis isabellina</i>	16,67	Muito frequente	1,7	Pouco frequente	—	—
<i>Umbelopsis sp. 1</i>	3,33	Pouco frequente	—	—	—	—
<i>Umbelopsis sp. 2</i>	10,00	Muito frequente	—	—	—	—
<i>Umbelopsis sp. 3</i>	25,00	Muito frequente	—	—	1,7	Pouco frequente

Fonte: a autora, 2023.

Observando o valor de suporte das análises estatísticas, é possível inferir que não houve diferença significativa ($p = 0,27$), com relação a riqueza de espécies de Mucoromycota entre as áreas. Já para a diversidade (0,02) e a abundância (0), a hipótese nula foi rejeitada, ou seja, existem diferenças na diversidade e abundância de fungos zigospóricos entre as áreas da REBIO.

Tabela 3. Diversidade de Shannon (H'), Equitabilidade (J), Dominância (D) e Riqueza (S) nas áreas da REBIO - Guaribas, Paraíba.

	SEMA I	SEMA II	SEMA III
Shannon (H')	2,71	2,523	2,309
Equitabilidade (J)	0,8049	0,7837	0,7989
Dominância (D)	0,09992	0,1296	0,1362
Riqueza (S)	27	26	18

Fonte: a autora, 2023.

A SEMA III exibiu o maior índice de dominância de espécies (0,1362), sendo a diversidade de Shannon-Wiener mais elevada na SEMA I (Tabela 3). A equitabilidade de espécies foi mais elevada na SEMA I, mas semelhante nas outras duas áreas (Tabela 3). Com relação à composição de espécies de Mucoromycota, as áreas de floresta ombrófila (SEMA II e III) apresentaram mais de 80% de similaridade, de acordo com o índice de similaridade Sorensen (Figura 5).

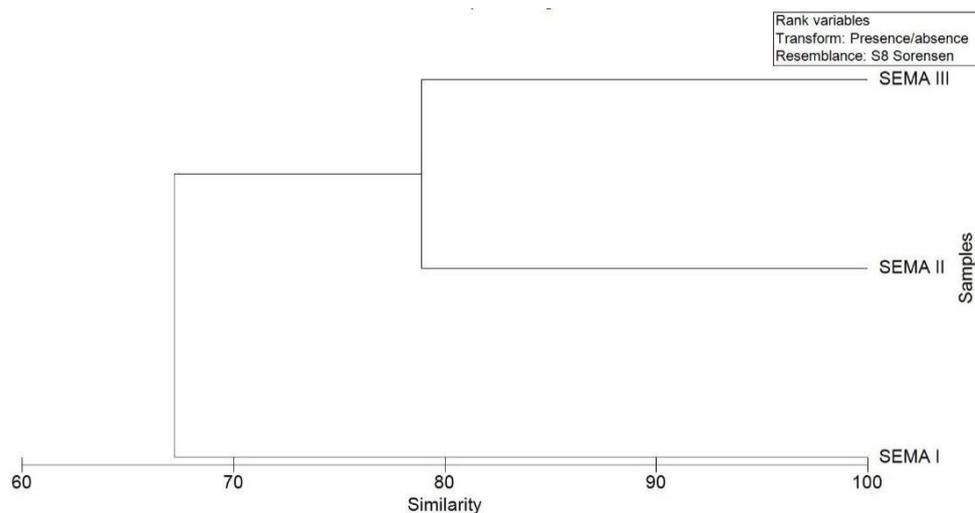


Figura 5 - Índice de similaridade Sorensen dos fungos zigospóricos do solo da REBIO Guaribas, nas SEMA I, SEMA II e SEMA III – PB. Fonte: a autora, 2024

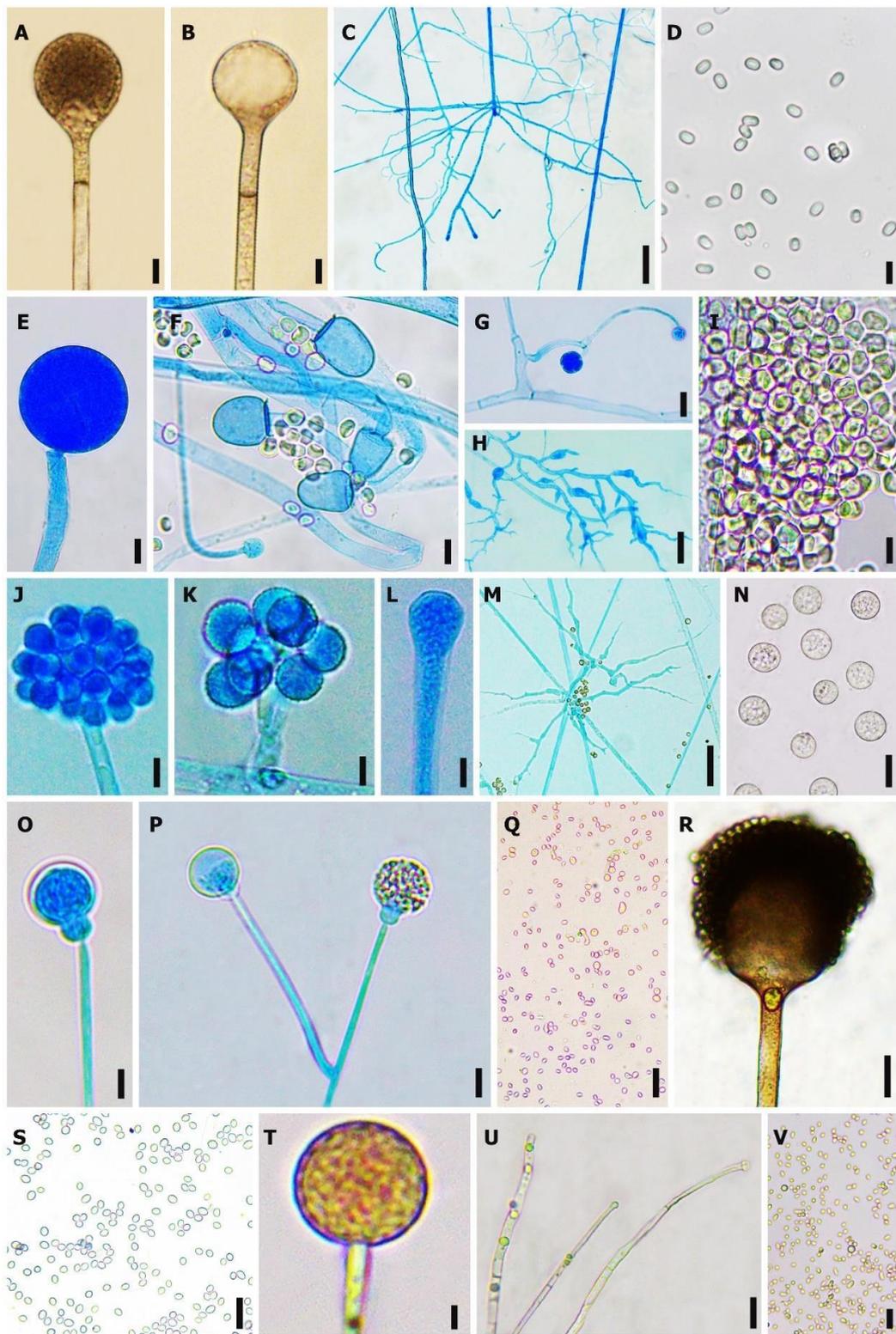


Figura 6. *Absidia* sp. 1. A—D. A. Esporangióforo com esporângio. B. Esporangióforo com columela. C. Rizoides. D. Esporangiosporos. *Backusella constricta*. E—I. E. Esporóforo com esporângio. F. Esporóforos com columelas. G. Esporangiófolos uni e multiesporado. H. Rizoides. I. Esporangiosporos. *Cunninghamella clavata*. J—N. J-K. Esporóforo com esporangiófolos uniesporados. L. Esporóforo com vesícula. M. Rizoides. N. Esporangiófolos. *Gongronella butleri*. O—Q. O-P. Esporangióforo com esporângio. Q. Esporangiosporos. *Rhizopus microsporus*. R—S. R. Esporangióforo com esporângio. S. Esporangiosporos. *Umbelopsis isabellina*. T—V. T. Esporangióforo com esporângio. U. Esporangióforos com columelas. V. Esporangiosporos. Barras: A, B, C, E, F, H, J, L—P, R, T= 20 µm. D, G, I, K, Q, S, U, V= 10 µm. Fonte: a autora, 2024.

6. DISCUSSÃO

O solo de Mata Atlântica possui uma biota composta por microrganismos diversos, como algas, bactérias e fungos (Michereff; Andrade; Menezes, 2005) que participam da manutenção desse substrato. Dentre esses microrganismos, os fungos desempenham um papel importante, decompondo a matéria orgânica e realizando a ciclagem de nutrientes, disponibilizando-os para os demais organismos (Hill *et al.*, 2000). Diversos trabalhos foram realizados sobre o isolamento e identificação de Mucoromycota no solo de áreas de Mata Atlântica, sendo este substrato o principal habitat da maioria dos fungos, inclusive dos Mucoromycota (Trufem, 1981; Schoenlein-Crusius e Milanez, 1997; Santos *et al.*, 1998; Schoenlein-Crusius *et al.*, 2006; Lima *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018b; Freitas *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021).

No total, foram identificadas 37 espécies de Mucoromycota da REBIO Guaribas, sendo esse o segundo trabalho mais rico em número de espécies desse filo em uma área de Mata Atlântica, já que Schoenlein-Crusius *et al.* (2006) registraram 38 espécies desse filo a partir de amostras de solo e serrapilheira coletadas no Vale do Rio Mogi e no Vale do Rio Pilões, em São Paulo. Entretanto, esses autores realizaram 13 expedições para coleta de amostras de solo nessas duas áreas, enquanto, apenas duas foram realizadas no presente estudo. Além disso, para esse trabalho, foram apenas registradas espécies do solo, e não de serrapilheira.

A maioria das espécies isoladas neste trabalho foram previamente isoladas no Brasil, em áreas de Mata Atlântica e também em diversos domínios, como a Caatinga (Florae Funga do Brasil 2024), o que sugere que as mesmas tenham a capacidade de se adaptarem em ecossistemas com diferentes condições ambientais. No entanto, *Absidia aguabelensis* e *Gongronella lacrispora* estão sendo registradas pela primeira vez para o bioma Mata Atlântica. *Absidia aguabelensis* foi previamente isolada do solo de uma área de brejo de altitude, no município de Águas Belas - PE (Leitão *et al.* 2021), enquanto *G. lacrispora* foi reportada no solo de Caruaru - PE, no semiárido nordestino (Upadhyay, 1970). Onze novas espécies de Mucoromycota foram isoladas na REBIO Guaribas (a serem confirmadas pelas análises filogenéticas) e essas podem ser endêmicas da Mata Atlântica. Além disso, *Backusella indica*, *Gongronella eborensis* e *G. zunyiensis* estão sendo reportadas pela primeira vez para o Brasil, o que amplia o conhecimento sobre a distribuição dessas espécies.

Rhizopus stolonifer e *Syncephalastrum racemosum*, isolados nesse trabalho, foram encontrados em ambas as áreas de floresta umbrófila e de tabuleiro. Espécies desses gêneros são frequentemente reportadas em ambientes extremos, até mesmo em áreas impactadas (Zibilske e Wagner, 1982; Santiago e Souza-Motta, 2006), podendo crescer em até a 43°C, para o gênero *Syncephalastrum*, e até 51°C, para o gênero *Rhizopus* (Zheng; Chen; Hu, 1988; Zhenget al., 2007). Essas espécies foram encontradas em sedimento de manguezal, no Brasil (Lima et al., 2018b) e isoladas em ambientes com temperaturas anuais mais altas, como as das áreas de Caatinga (Santiago; Santos; Maia, 2013), indicando a elevada adaptabilidade das mesmas aos diferentes habitats e temperaturas, e, talvez, por isso, elas tenham ocorrido todas as áreas da REBIO.

A partir do índice de similaridade, observando a composição de espécies de Mucoromycota entre as fitofisionomias da REBIO Guaribas, as áreas SEMAS II e II possuem elevada similaridade entre si, o que pode explicar o fato de a riqueza de espécies ser estatisticamente a mesma para as três áreas da REBIO. Isso significa que a antropização não influencia na riqueza de espécies de Mucoromycota da REBIO, já que SEMA III é uma área defloresta ombrófila impactada. Interessante destacar que a área impactada foi a que exibiu maior número de UFC de Mucoromycota por grama de solo, o que mostra que não há uma influência negativa da antropização na abundância desses fungos.

Destaca-se que algumas espécies foram exclusivas em algumas áreas da REBIO, enquanto outras foram comuns a 2 ou 3 fitofisionomias. Tal fato pode ter uma relação direta com os componentes do solo (não analisados nesse trabalho), que possivelmente devem variar com relação às diferentes fitofisionomias observadas na REBIO. Além disso, não se pode descartar o fato de que a amostragem desse trabalho foi baixa, pois apenas duas expedições para coleta de solo foram realizadas nas áreas de coleta, de forma que uma mostragem maior poderia revelar diferenças na distribuição desses fungos dentre as áreas da REBIO, inclusive uma riqueza de espécies mais elevada do que a observada.

Cunninghamella bertholletiae a espécie mais frequente ($Fi = 41,67\%$) na zona de tabuleiro e nas zonas de floresta umbrófila ($Fi = 73,3\%$ e $53,3\%$). Freitas et al. (2020) também reportaram essa espécie com elevada frequência de ocorrência no solo de duas áreas de Mata Atlântica, na Reserva Biológica de Pedra Talhada, Alagoas, ($Fi = 24,91\%$), e no Parque Nacional e Histórico do Monte Pascoal ($Fi =$

19,85%), na Bahia. Apesar de ambas as áreas estarem dentro deste bioma, possuem características fitofisionômicas diferentes do presente estudo. Entretanto, de Lima *et al.* (2018b) relataram *Gongronella butleri* como mais frequente ($F_i = 16,6\%$), seguida por *G. brasiliensis* ($F_i = 7,14\%$), ambas no solo de uma área de Floresta ombrófila, em Pernambuco. Contrastando com esses resultados, as espécies mais frequentes na REBIO Guaribas para as áreas desta fitofisionomia foram *Cunninghamella bertholletiae* [$F_i = 73,3\%$ (SEMA II) e $F_i = 53,3\%$ (SEMA III)] e *C. elegans* [$F_i = 35\%$ (SEMA II) e $F_i = 50\%$ (SEMA III)]. Ou seja, encontramos diferenças de dados entre áreas com vegetação, clima e luminosidade parecidas.

Interessante notar que um número considerável de espécies foram classificadas como pouco frequentes, com relação a frequência de ocorrência. Das 37 espécies relatadas, 28 foram pouco frequentes em, pelo menos, uma das áreas em que foram encontradas. Destaca-se *Syncephalastrum racemosum* apresentou baixa frequência nas três áreas da REBIO. Esse resultado reforça o conhecimento sobre as comunidades de Mucoromycota em solo, cuja maioria das espécies é rara ou pouco frequente em comparação com as espécies de outros grupos de fungos (ex: ascomicetos) (Lima *et al.*, 2018).

Com relação à diversidade, na área de tabuleiro da SEMA I, a comunidade de Mucoromycota foi estatisticamente mais diversa e abundante, o que pode ter ocorrido por que esse ecossistema é diferente dos demais. Esse fato pode ter relação com características bióticas, como a própria vegetação, e abióticas, como o clima, temperatura e luminosidade. Interessante notar que, diferente do que foi observado para a riqueza de espécies, a diversidade de espécies foi diferente entre SEMAS II e III, o que indica que a antropização teve influência negativa na diversidade de Mucoromycota. Segundo Marengo *et al.* (2019), as ações antrópicas como a compactação do solo pela agropecuária, podem influenciar negativamente o desenvolvimento de todo um ecossistema, ocasionando mudanças na composição microbiana da rizosfera, assim prejudicando a flora e funga nativas.

De toda forma, a diversidade encontrada na área antropizada ($H' = 2,309$) pode ser considerada elevada quando comparada com áreas preservadas de outros estudos realizados no Brasil. Lima *et al.* (2018b) estimou em $H' = 2,249$ a diversidade de fungos zigospóricos no solo de uma floresta ombrófila, na REBIO de Saltinho, e $H' = 1,691$, na Reserva Ecológica de Dois Irmãos, em uma zona de tabuleiro, enquanto, na área de tabuleiro da REBIO Guaribas, o resultado foi maior ($H' = 2,71$)

que o do estudo supracitado. Porém, o valor supracitado da área de tensão ecológica ficou abaixo do observado por de Freitas *et al.* (2020), que estimou, em uma área antropizada na REBIO Pedra Talhada, $H' = 2,34$, sendo essa a maior diversidade de Mucoromycota encontrada na Mata Atlântica brasileira.

De acordo com resultados obtidos, pode-se dizer que as hipóteses elencadas nesse trabalho foram em parte confirmadas. Foram observadas elevadas riqueza e diversidade de espécies de Mucoromycota em comparação com outros estudos desenvolvidos em áreas de Mata Atlântica e em outros biomas brasileiros, o que confirma a primeira hipótese desse trabalho. A segunda hipótese elencada não foi totalmente confirmada, pois pode-se dizer que as três áreas da REBIO são similares (acima de 60%), com relação à composição de espécies de Mucoromycota, embora não sejam iguais. A terceira hipótese foi parcialmente confirmada, pois foi verificado que a antropização não influenciou negativamente a abundância dos Mucoromycota na REBIO, ocorrendo o contrário no que se refere à diversidade, e não foi observada influência da antropização na riqueza de espécies desses fungos na REBIO. Por último, devido à ausência dos resultados do sequenciamento dos espécimes isolados a confirmação total da quarta hipótese do trabalho, ou seja, de que a REBIO Guaribas abriga espécies novas e raras de Mucoromycota segue em espera. Entretanto, foram isoladas espécies raras, nunca registradas no Brasil, o que confirma parcialmente essa última hipótese.

7. CONCLUSÕES

Diante dos dados obtidos, dentro das condições experimentais estabelecidas, pode-se concluir que:

- Existem elevadas riqueza e diversidade Mucoromycota no solo da REBIO Guaribas.
- A composição das comunidades de Mucoromycota entre as três áreas é similar, com maior similaridade entre SEMA II e SEMA III.
- A antropização influencia a diversidade de Mucoromycota, mas não a riqueza e abundância desses fungos na REBIO Guaribas.
- A REBIO Guaribas é um reservatório para espécies raras e possivelmente novas de Mucoromycota.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da mata atlântica**. Editus, 2016.
- ALVAREZ, E. D. Mucoromycotina Subphylum: overview and recent taxonomic aspects. **Boletín micológico**, v. 28, n. 1, p. 16–25. 2013.
- DE ANDRADE LIMA, Dárdano. **Recursos vegetais de Pernambuco**. Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1970.
- ANTUNES, M. F. R.; NINOMIYA, A.; SCHOENLEINCRUSIUS, I. H. Efeitos de queimada sobre a micota de solo na mata atlântica na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP. **Hoehnea**, v. 20, n. 1/2, p. 1-8, 1993.
- ARAÚJO, J. C. V. **Estudos Taxonômicos sobre *Tylopilus balloui* sensu lato (Boletaceae, Basidiomycota) para áreas de dunas e tabuleiro da Mata Atlântica do Brasil**. 2023. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023.
- BENJAMIN, R. K. Zygomycetes and their spores. **The whole fungus. The sexual-asexual synthesis**, v. 2, p. 573-616, 1979.
- BENJAMIN, R. K. Zygomycetes and their spores. **The Whole Fungus: The sexual-asexual synthesis**. Kendrick, B. National Museum of Natural Sciences and National Museum of Canada, Ottawa, v. 2, p. 573-622, 1979.
- BENNY, G. L. Zygomycota: trichomycetes. In: **Systematics and Evolution: Part A**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001. p. 184-195.
- BENNY, Gerald L. Methods used by Dr. RK Benjamin, and other mycologists, to isolate zygomycetes. **Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany**, v. 26, n. 1, p. 37-61, 2008.
- BENNY, G. L. Zygomycetes. 2009. Disponível em: <http://www.zygomycetes.org>. Acesso em 22 dez. 2023.
- BENNY, G. L.; HUMBER, Richard A.; VOIGT, Kerstin. 8 Zygomycetous fungi: phylum entomophthoromycota and subphyla kickxellomycotina, mortierellomycotina, mucoromycotina, and zoopagomycotina. In: **Systematics and Evolution: Part A**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 209-250.
- BENNY, G. L. et al. Challenges and future perspectives in the systematics of Kickxellomycotina, Mortierellomycotina, Mucoromycotina, and Zoopagomycotina. Li, D.W. **Biology of microfungi**, p. 65-126, 2016.
- BIOBRAS. Abraçando a Vida. Mata Atlântica. 2011 Disponível em:

<http://biobras.org.br/portal/?p=1382>. Acesso em 18 nov. 2024.

BRASIL. Plano de Manejo Área de Proteção Ambiental Barra do Rio Mamanguape. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Brasília, DF, 2014.

BRIDGE, P.; SPOONER, B. Soil fungi: diversity and detection. **Plant and soil**, v. 232, p. 147-154, 2001.

CORROCHANO, L. M. et al. Expansion of signal transduction pathways in fungi by extensive genome duplication. **Current Biology**, v. 26, n. 12, p. 1577-1584, 2016.

DESIRÒ, A. et al. Multigene phylogeny of Endogonales, an early diverging lineage of fungi associated with plants. **IMA fungus**, v. 8, p. 245-257, 2017.

DOUROU, M. et al. Storage lipid and polysaccharide metabolism in *Yarrowia lipolytica* and *Umbelopsis isabellina*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, p. 7213-7226, 2017.

DUARTE, E. A. El Subphylum Mucoromycotina: generalidades y aspectos taxonómicos recientes **Boletín micológico**, v. 28, p. 16-25, 2013.

Flora do Brasil. 2023. Mucorales. In: Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em 17 jan. 2024

FREIRE, K. T. L. S. et al. Fungos endofíticos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.(Cactaceae) sadia e infestada por *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896)(Hemiptera: Dactylopiidae). **Revista Gaia Scientia**, v. 9, p. 104-110, 2015.

FREITAS, L. W. S. et al. **Diversidade de fungos zigospóricos em áreas nativas e antropizadas da Mata Atlântica do Nordeste brasileiro**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

Fundação SOS Mata Atlântica; INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2001. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1995-2000**. Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, São Paulo, Brasil, 43pp.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. Mata Atlântica. **Biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005.

GARDELI, C. et al. Lipid production and characterization by *Mortierella* (*Umbelopsis*) *isabellina* cultivated on lignocellulosic sugars. **Journal of applied microbiology**, v. 123, n. 6, p. 1461-1477, 2017.

GINA, A. G. S. et al. **Infecções por zigomicetos da ordem mucorales: patogênese, epidemiologia e terapêutica**. 2021. p.73. Dissertação de Mestrado. Universidade Lusófona de Humanidade e Tecnologias, Lisboa, 2021.

GONZÁLEZ, V.; TELLO, M. L. The endophytic mycota associated with *Vitis vinifera* in central Spain. **Fungal diversity**, v. 47, n. 1, p. 29-42, 2011.

HALL, Tom A. et al. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. In: **Nucleic acids symposium series**. 1999. p. 95-98.

HAMMER, Øyvind; HARPER, David AT. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 1, 2001.

HAWKSWORTH, D. L.; LÜCKING, Robert. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. **Microbiology spectrum**, v. 5, n. 4, p. 10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016, 2017.

HEO, S. et al. Quality characteristics of soybean fermented by *Mucor*, *Rhizopus*, and *Aspergillus* from meju. **Heliyon**, v. 9, n. 3, 2023.

HERMET, A. et al. Application of capillary electrophoresis single-stranded conformation polymorphism (CE-SSCP) analysis for identification of fungal communities in cheese. **Food microbiology**, v. 41, p. 82-90, 2014.

HESSELTINE, C. W. Food fermentations: mucorales in ragi and related products. In: **Frontiers in industrial mycology**. Boston, MA: Springer US, 1992. p. 24-39.

HIBBETT, D. S. et al. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. **Mycological research**, v. 111, n. 5, p. 509-547, 2007.

HILL, G. T. et al. Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. **Applied soil ecology**, v. 15, n. 1, p. 25-36, 2000.

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

HOFFMANN, K. et al. The family structure of the Mucorales: a synoptic revision based on comprehensive multigene-genealogies. **Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi**, v. 30, n. 1, p. 57-76, 2013.

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

IBAMA. Plano de Manejo Reserva Biológica Guaribas. Brasília, p. 520, 2003.

IBGE. Biomas Brasileiros. 2021. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 nov. 2023.

JIN, Hui et al. Diversity and dynamics of fungal endophytes in leaves, stems and roots of *Stellera chamaejasme* L. in northwestern China. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 104, p. 949- 963, 2013.

KIDD, S. E.; ABDOLRASOULI, Alireza; HAGEN, Ferry. Fungal nomenclature: Managing change is the name of the game. In: **Open Forum Infectious Diseases**. US: Oxford University Press, 2023. p. ofac559.

KINDEL, A.; GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da mata atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 551-563, 2001.

KIRK, P. M. et al. **Dictionary of the Fungi**. 10^o Edição. UK, Wallingford: CABI, 2008.

KLEMPOVA, T. et al. Biosynthesis of gamma-linolenic acid and beta-carotene by Zygomycetes fungi. **Biotechnology Journal**, v. 8, n. 7, p. 794-800, 2013.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. Das geographische System der Klimate. **Handbuch der klimatologie**. Verlag von Gebrüder Borntraeger, v. 35, n. 17, p. 1–44. 1936.

KWAŚNA, H.; ELAINE, W. A. R. D.; BATEMAN, G. L. Phylogenetic relationships among Zygomycetes from soil based on ITS1/2 rDNA sequences. **Mycological research**, v. 110, n. 5, p. 501-510, 2006.

LACAZ, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C. M.; HEIS-VACCARI, E.M.; MELO, N. T. **Tratado de micologia médica**. 9^o Edição. São Paulo: Sarvier, 2022.

LARKIN, Mark A. et al. Clustal W and Clustal X version 2.0. **bioinformatics**, v. 23, n. 21, p. 2947-2948, 2007.

LEITAO, J. D. et al. *Absidia aguabelensis* sp. nov.: A new mucoralean fungi isolated from a semiarid region in Brazil. **Phytotaxa**, v. 516, n. 1, p. 83-91, 2021.

LIMA, C. L. F. et al. **Diversidade de Mucorales em duas áreas de brejo de altitude de Pernambuco**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

LIMA, D. X. et al. Description of *Backusella constricta* sp. nov. Mucorales, ex Zygomycota from the Brazilian Atlantic Rainforest, including a key to species of *Backusella*. **Phytotax**, v. 289, n. 1, p. 59-68, 2016.

LIMA, D. X. et al. *Mucor irregularis*, a first record for South America. **Mycotaxon**, v. 133, n. 3, p. 429-438, 2018a.

LIMA, D. X. et al. Diversity of basal fungal order Mucorales (Mucoromycota) in a remaining area of the Brazilian Atlantic Rainforest. **Nova Hedwigia**, v. 107, n. 3/4, p. 459-471, 2018b.

LIMA, D. X. et al. Morphological and molecular evidence for two new species of *Absidia* from Neotropical soil. **Phytotaxa**, v. 446, n. 1, p. 61–71, 2020.

LIMA, D. X. et al. Communities of Mucorales (phylum Mucoromycota) in different

ecosystems of the Atlantic Forest. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, p. 796-806, 2021.

MA, L. et al. Genomic analysis of the basal lineage fungus *Rhizopus oryzae* reveals a whole- genome duplication. **PLoS genetics**, v. 5, n. 7, p. e1000549, 2009.

MAGNAGO, A. C.; NEVES, M. A.; SILVEIRA, R. M. B. *Boletellus nordestinus* (Boletaceae, Boletales), a new species from Northeastern Atlantic Forest, Brazil. **Studies in Fungi**, v. 4, n. 1, p. 47-53, 2019.

MANTOVANI, W. A degradação dos biomas brasileiros. In: W.C. Ribeiro (ed.). Patrimônio ambiental brasileiro. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, p. 367- 439. 2003.

MARENCO, R. P. et al. Compactação do solo e produtividade de massa seca pelo sorgo forrageiro cultivado em terras baixas. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2019.

MELO, J. I. M.; VIEIRA, D. D. Flora da Reserva Biológica Guaribas, PB, Brasil: Boraginaceae. **Hoehnea**, v. 44, p. 407-414, 2017.

MEYER, W.; WALTER, G. A. M. S. Delimitation of *Umbelopsis* (Mucorales, Umbelopsidaceae fam. nov.) based on ITS sequence and RFLP data. **Mycological research**, v.107, n. 3, p. 339-350, 2003.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. UFRPE, Imprensa Universitária, 2005.

MILNE, I. et al. TOPALi v2: a rich graphical interface for evolutionary analyses of multiple alignments on HPC clusters and multi-core desktops. **Bioinformatics**, v. 25, n. 1, p. 126-127, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>. Acesso em 27 dez. 2023.

MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest I. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000.

MUMMEY, D. L. et al. Spatial analysis reveals differences in soil microbial community interactions between adjacent coniferous forest and clearcut ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**: v. 42, n. 7, p. 1138-1147, 2010.

MUYLAERT, R. L. et al. ATLANTIC BATS: a data set of bat communities from the Atlantic Forests of South America. 2017.

MUYLAERT, R. L. et al. A note on the territorial limits of the Atlantic forest. **Oecologia Australis**, p. 302-311, 2018.

NIMER, E. 1979. Climatologia do Brasil. **IBGE**. p. 421.

NORMAN, Myers. Biodiversity hotspots revisited. **BioScience**, v. 53, n. 10, p. 916-

917, 2003.

OLIVEIRA, R. J. V. et al. *Corniculariella brasiliensis*, a new species of coelomycetes in the rhizosphere of *Caesalpinia echinata* (Fabaceae, Caesalpinioideae) in Brazil. **Phytotaxa**, v. 178, n. 3, p. 197-204, 2014.

OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; FONTES, Marco Aurélio L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000.

PAPANIKOLAOU, S.; AGGELIS, George. Sources of microbial oils with emphasis to *Mortierella* (*Umbelopsis*) *isabellina* fungus. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 35, p. 1-19, 2019.

DA PARAÍBA, Atlas Geográfico; DA PARAÍBA–SEVISA-PB, SANITÁRIA. Governo do Estado da Paraíba. **João Pessoa, 100p**, 1985.

PEREIRA, A. B. Mata Atlântica: uma abordagem geográfica. **Nucleus**, v. 6, n. 1, p. 1-27, 2009.

PEREIRA, C. M. R. **Fungos micorrízicos arbusculares em unidades de conservação de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil**. 2017. 133f. Tese (Curso de PósGraduação em Biologia de Fungos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

PHUKHAMSAKDA, Chayanard et al. The numbers of fungi: Contributions from traditional taxonomic studies and challenges of metabarcoding. **Fungal diversity**, v. 114, n. 1, p. 327-386, 2022.

PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. P.; TABARELLI, M. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. **História Natural, Ecologia e Conservação. Brasília, MMA**, 2004.

PRAKASH, H.; CHAKRABARTI, A. Epidemiology of mucormycosis in India. **Microorganisms**, v. 9, n. 3, p. 523, 2021.

REN, H. et al. First Report of *Mucor inaequisporus* (Mucorales, Mucoromycota) Causing Postharvest Rot of Strawberry Fruit in Kunming, China. **Plant Disease**, v. 107, n. 7, p. 2241, 2023.

REZENDE, C. L. et al. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. **Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**, p. 405-434, 2011.

Rios, E. P.; Thompson, M. (2013). *Biomass Brasileiros*. (1ª ed.). Editora Melhoramentos.

ROMANELLI, J. P. et al. Biodiversity responses to restoration across the Brazilian Atlantic Forest. **Science of The Total Environment**, v. 821, p. 153403, 2022.

RONQUIST, F.; HUELSENBECK, J. P. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. **Bioinformatics**, v. 19, n. 12, p. 1572-1574, 2003.

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.; MOTTA, Cristina Maria de Souza. Isolation of Mucorales from processed maize (*Zea mays* L.) and screening for protease activity. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 698-700, 2008.

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

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

SANTOS, V. B.; WELLBAUM, C.; SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H. Fungos filamentosos do solo da Ilha dos Eucaliptos na Represa do Guarapiranga em São Paulo, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 12, p. 101-110, 1998.

SANTOS, A. M. M. D. **Flora do Centro de Endemismo Pernambuco: Biogeografia e Conservação**. 2006. 157 p. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

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

SCAIFE, K. et al. In silico and in vitro safety assessment of a fungal biomass from *Rhizomucor pusillus* for use as a novel food ingredient. **Food and Chemical Toxicology**, v. 179, p. 113972, 2023.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; MILANEZ, A. I. Mucorales (Zygomycotina) da Mata Atlântica da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, Santo André, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 11, p. 95-101, 1997.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; MILANEZ, A. I. Fungos microscópicos da Mata Atlântica de Paranapiacaba, São Paulo, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, p. 73-79, 1998.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H. et al. Microscopic fungi in the Atlantic Rainforest in Cubatão, São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, p. 267-

275, 2006.

SHANNON, Claude Elwood. A mathematical theory of communication. **The Bell system technical journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948.

SILVA, M. J. S. **Comunidades de hifomicetos de folhedo submerso em áreas de Mata Atlântica em Pernambuco e na Paraíba, Nordeste Brasileiro**. 2022. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2022.

SLANÝ, O. et al. Production of high-value bioproducts enriched with γ -linolenic acid and β - carotene by filamentous fungi *Umbelopsis isabellina* using solid-state fermentations. **Annals of Microbiology**, v. 70, p. 1-11, 2020.

SOUTO, P. C. et al. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

SØRENSEN, Thorvald. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. **Biologiske skrifter**, v. 5, p. 1-34, 1948.

SPATAFORA, J. W. et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia**, v. 108, n. 5, p. 1028-1046, 2016.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.

TABARELLI, M.; RODA, S. A. Uma oportunidade para o Centro de Endemismo Pernambuco. **Natureza & Conservação**, v. 3, n. 2, p. 22-28, 2005.

TAVARES, S. **Contribuição ao estudo da cobertura vegetal dos tabuleiros do Nordeste**.

Boletim de Recursos Naturais, v. 2, p. 13-25, 1964.

TEDERSOO, L. et al. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Fungal diversity**, v. 90, p. 135-159, 2018.

TERHONEN, Eeva et al. Endophytic fungi of Norway spruce roots in boreal pristine mire, drained peatland and mineral soil and their inhibitory effect on *Heterobasidion parviporum* in vitro. **Fungal ecology**, v. 9, p. 17-26, 2014.

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

TRUFEM, S.F.B. Filo Zygomycota. In: GIULIETTI, A.M. (ed.) **Diversidade e caracterização dos fungos do semiárido brasileiro**. Recife, Instituto do Milênio do Semiárido, 2006. p. 97- 107.

UPADHYAY, H. P. Soil fungi from north-east and north Brazil—VIII. **Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi**, Alemanha, v. 6, n. 1, p. 65-73, 1970.

VIRIATO, A. **Mucorales (Zygomycota) coprófilos e de solo: diversidade e aspectos ecológicos**. 2003. 162. Dissertação (Programa de Pós graduação em Promoção de Saúde) - Universidade de Franca, São Paulo, 2003.

VOIGT, K.; KIRK, P.M. Fungi classification of Zygomycetes: reappraisal as coherent class based on a comparison between traditional versus molecular systematics. In: BATT, C.A. **Encyclopedia of food microbiology**, v. 2, p. 54–67, 2014.

VOIGT, K. et al. 15 genetic and metabolic aspects of primary and secondary metabolism of the zygomycetes. In: Hoffmeister D. (ed.) **Biochemistry and Molecular Biology. Biochemistry and molecular biology**, v. 3, p. 361-385, 2016.

WALSH, E. et al. Pygmaeomycetaceae, a new root-associated family in Mucoromycotina from the pygmy pine plains. **Mycologia**, v. 113, n. 1, p. 1-12, 2020.

WALTHER, G.; WAGNER, L.; KURZAI, O. Updates on the taxonomy of Mucorales with an emphasis on clinically important taxa. **Journal of Fungi**, v. 5, n. 4, p. 106, 2019.

WANG, Y.; LIU, X.; ZHENG, R. *Umbelopsis changbaiensis* sp. nov. from China and the typification of *Mortierella vinacea*. **Mycological progress**, v. 13, p. 657-669, 2014.

WANG, Y. et al. Divergent evolution of early terrestrial fungi reveals the evolution of Mucormycosis pathogenicity factors. **Genome Biology and Evolution**, v. 15, n. 4, 2023.

WHO. WHO Fungal Priority Pathogens List to Guide Research, Development and Public Health Action. 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240060241>. Acesso em 20 jan. 2024.

WIJAYAWARDENE, N. N. et al. Outline of Fungi and fungus-like taxa – 2021. **Mycosphere**, v. 13, n. 1, p. 53–453, 2022.

YAMAMOTO, K. et al. First detection of *Endogone* ectomycorrhizas in natural oak forests. **Mycorrhiza**, v. 27, p. 295-301, 2017.

YAMAMOTO, K.; DEGAWA, Y.; YAMADA, A. Taxonomic study of Endogonaceae in the Japanese islands: New species of *Endogone*, *Jimgerdemannia*, and *Vinositunica*, gen. nov. **Mycologia**, v. 112, n. 2, p. 309-328, 2020.

ZHAO, H. et al. Species diversity, updated classification and divergence times of the phylum Mucoromycota. **Fungal Diversity**, p. 1-109, 2023.

ZHENG, R. Y.; CHEN, G. Q.; HU, F. M. Monosporus varieties of Syncephalastrum. **Mycosystema**, v. 1, p. 35-52, 1988.

ZHENG, R. Y. et al. A monograph of Rhizopus. **SYDOWIA-HORN-**, v. 59, n. 2, p. 273, 2007.

ZIBILSKE, L. M.; WAGNER, G. H. Bacterial growth and fungal genera distribution in soil amended with sewage sludge containing cadmium, chromium, and copper. **Soil Science**, v. 134, n. 6, p. 364-370, 1982.