



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS

Beatriz Marcelino dos Santos

**Fungos conidiais em folhedo associado a ambientes cavernícolas da Floresta  
Nacional Serra dos Carajás, Pará, Brasil**

Recife-PE  
2023

Beatriz Marcelino dos Santos

**Fungos conidiais em folheto de ambiente cavernícola da Floresta Nacional  
Serra dos Carajás, Pará, Brasil**

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

Orientadora: Elaine Malosso

Coorientador: Matheus de Jesus Sá Silva

Recife- PE

2023

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

Santos, Beatriz Marcelino dos.

Fungos conidiais em folhedo associado a ambientes cavernícolas da Floresta Nacional Serra dos Carajás, Pará, Brasil / Beatriz Marcelino dos Santos. - Recife, 2023.

51 p. : il., tab.

Orientador(a): Dra. Elaine Malosso

Coorientador(a): MSc. Matheus de Jesus Sá Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências Ambientais - Bacharelado, 2023.

1. Ascomycetos assexuais. 2. Biodiversidade . 3. Cavernas. I. Malosso, Dra. Elaine. (Orientação). II. Silva, MSc. Matheus de Jesus Sá . (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

Beatriz Marcelino dos Santos

**Fungos conidiais em folheto de ambiente cavernícola da Floresta Nacional  
Serra dos Carajás, Pará, Brasil**

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

Aprovada em: 22/09/2023

**COMISSÃO EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Elaine Malosso (Orientadora) Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente



ROGER FAGNER RIBEIRO MELO  
Data: 02/10/2023 12:52:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Roger Fagner Ribeiro Melo/ Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente



ANA CARLA DA SILVA SANTOS  
Data: 29/09/2023 23:06:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Dra. Ana Carla da Silva Santos/ Universidade Federal de Pernambuco

Recife - PE

2023

“Dedico esta monografia à minha mãe Edjane Marcelino (*in memoriam*): maior exemplo de ser humano íntegro e ético.”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço de todo meu coração às pessoas especiais que participaram para a realização do meu TCC. Foram momentos de dedicação e aprendizado, que sem o apoio e carinho de cada um de vocês, eu não teria conseguido.

A minha família Marcelino Farias, em especial a minha avó Maria José, aos meus padrinhos George e Joseane Marcelino, aos meus irmãos Ellton Alexandre e Pedro Henrique, a minha sobrinha Alicia Vitoria e ao meu pai Mauro Roberto, obrigada por serem a base sólida que me sustenta. O seu amor e encorajamento são inestimáveis.

A minha orientadora Elaine Malosso, pelo incentivo, dedicação, persistência e por todo ensinamento.

Ao meu amigo e coorientador Matheus Jesus, pela lealdade, companheirismo e dedicação.

Aos meus amigos do laboratório de Hifomicetos, Celine Cecilia, Gisele Oliveira, Milena Lima e Wanderson Luiz, obrigada por compartilharem os desafios e as descobertas deste trabalho.

Aos meus amigos de graduação, Adalbenice Andrade, Clara Xavier, Vinicius Buregio e Gustavo Monteiro, agradeço pela amizade e pelo incentivo ao longo de toda a jornada acadêmica. Vocês foram fundamentais para o meu crescimento e sucesso.

Aos meus amigos de moradia, Amanda Bezerra, Gabriel Mendonça e Mauro Henrique, obrigada por fazerem os dias de estudos mais leves e as noites de descanso mais agradáveis. A amizade de vocês, foi um refúgio durante os momentos mais intensos.

Aos meus amigos de vida, Juliana Andrade, Marcela Barbosa, Marcela Faustino, Maria Gabrielly, Mariana Soares e Hildemario Castro. Agradeço por estarem ao meu lado em todas as fases da minha vida.

As famílias Bezerra, Faustino, Peixoto e Xavier, agradeço por fazerem parte da minha vida e por compartilharem suas experiências e sabedoria comigo.

A UFPE, por todo apoio estrutural que contribuiu para a minha formação acadêmica.

Este TCC não é apenas um reflexo do meu esforço, mas também do apoio incondicional de todos vocês. Estou profundamente grata por cada momento compartilhado e por cada palavra de incentivo. Obrigada por fazerem parte da minha história.

A Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas.

BRASIL, 2000.

## RESUMO

A Amazônia faz parte de um dos biomas mais diversos em espécies de plantas, animais e micro-organismos, sendo considerada uma das florestas tropicais mais importantes do mundo. A Amazônia oferece condições essenciais para o desenvolvimento dos fungos. Entre os fungos capazes de decompor a matéria orgânica estão os microfungos, ou fungos conidiais, que promovem a ciclagem de nutrientes a partir da decomposição da serapilheira. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo ampliar o conhecimento sobre a diversidade de fungos conidiais em folhedo do entorno das cavernas ferríferas da Floresta Nacional Serra dos Carajás, Pará. Foi realizada uma expedição em junho de 2022 para essa Unidade de Conservação. As amostras de folhedo coletadas foram levadas ao Laboratório de Hifomicetos de Folhedo da UFPE e submetidas à técnica de lavagem delicada em água corrente. O folhedo foi colocado em câmaras úmidas e incubado em temperatura ambiente. O material incubado foi examinado em estereomicroscópio e microscópio de luz durante 30 dias diariamente. A inspeção diária de fragmentos foliares, ao microscópio, permitiu o registro de 20 táxons de fungos conidiais, além de 3 morfotipos não identificados, sendo os táxons predominantes *Volutella buxi* e *Thozetella* sp. Todos os táxons identificados estão sendo registrados pela primeira vez para os ambientes associados às cavernas da Floresta Nacional Serra dos Carajás, porém, todos os fungos encontrados neste estudo já haviam sido registrados para o Brasil. O presente estudo contribuiu para o conhecimento da riqueza dos fungos conidiais da Floresta Nacional Serra dos Carajás.

**Palavras-chave:** Ascomicetos assexuais. Biodiversidade. Cavernas.

## ABSTRACT

The Amazon is part of one of the most diverse biomes in species of plants, animals and microorganisms, being considered one of the most important tropical forests in the world. The Amazon offers essential conditions for the development of fungi. Among the fungi capable of decomposing organic matter are microfungi, or conidial fungi, which promote the cycling of nutrients from the decomposition from litter. Thus, the present study aimed to increase knowledge about the diversity of conidial fungi in leaf litter from caves in the Serra dos Carajás National Forest, Pará. One expedition was carried out in June 2022 to this Conservation Unit. The collected leaf litter samples were taken to the Leaf the Laboratório de Hifomicetos de Folheto at UFPE and subjected to the delicate washing technique in running water. The veneer was placed in humid chambers and incubated at room temperature. The incubated material was examined under a stereomicroscope and light microscope for 30 days daily. Daily inspection of leaf fragments under a microscope allowed the recording of 20 taxa of conidial fungi, in addition to 3 unidentified morphotypes, the predominant taxa being *Volutella buxi* and *Thozetella* sp. All identified taxa are being recorded for the first time for environments associated with the caves of the Serra dos Carajás National Forest, however, all fungi found in this study had already been recorded for Brazil. The present study contributed to the knowledge of the richness of conidial fungi in the Serra dos Carajás National Forest.

**Keywords:** Asexual ascomycetes. Biodiversity. Caves.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	FLONA de Carajás e as demais áreas protegidas da região que compõem o “Mosaico de Carajás”.	18
Figura 2 –	Indicação dos platôs de canga. Em preto, áreas de canga remanescentes; em vermelho, áreas de canga suprimidas; em cinza claro, delimitação da Floresta Nacional de Carajás. Em verde, o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos.	19
Figura 3 –	Distribuição de cavernas por Unidade da Federação	26
Figura 4 –	Mapa da FLONA de Carajás, com indicação da localização das cavernas amostradas.	33
Figura 5 –	Visão geral da entrada da caverna S11D001 olhando para o exterior (imagens a, b e c) e para o interior (imagens d, e e f).	34
Figura 6 –	Visão geral da entrada da caverna Gruta N1 olhando para o exterior (imagens a e b) e para o exterior (imagens c, d, e e f)	34
Figura 7 –	Visão geral da entrada da caverna N10002 olhando para o exterior (imagens a, b e c) e para o interior (imagens d, e e f).	35
Figura 8 –	Etapas do processamento das amostras do folhedo terrestre.	36
Figura 9 –	Etapas do processamento das amostras do folhedo terrestre.	37
Figura 10 –	<i>Wiesneriomyces laurinus</i> . <b>A.</b> Aspecto geral do esporodóquio. <b>B</b> conídio em cadeia. <i>Arthrobotrys sp.</i> <b>C.</b> Conidióforos e aglomerados de conídios. <b>D.</b> Célula conidiogênicas. <b>E</b> Conídios.	41
Figura 11 –	Índice de similaridade de Bray-Curtis entre as cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua em Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA).	44
Figura 12 –	Diagrama de Venn (%), com a riqueza de fungos conidiais em folhedo terrestre nas cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na FLONA de Carajás, Parauapebas (PA)	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coordenadas geográficas das cavernas da FLONA de Carajás.	32
Tabela 2 –	Ocorrência de fungos conidiais em folhedo terrestre nas cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na FLONA de Carajás, Parauapebas (PA).	39
Tabela 3 –	Riqueza de Espécies, Ocorrência, Dominância de Berger-Parker, Diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e Equitabilidade de Pielou ( $J'$ ), aplicados às espécies de fungos conidiais nas cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA).	42
Tabela 4 –	Temperatura do solo das cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA).	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CANIE	Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
FLONA	Floresta Nacional
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
RIC	Região de Integração de Carajás

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEORICA</b>	<b>17</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E LEGALDA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS	17
2.2	AS CAVERNAS	22
2.2.1	Caracterização e diversidade das cavernas	22
2.2.2	Caracterização e diversidade das cavernas do Brasil	25
2.3	OS FUNGOS	28
2.4	A SERAPILHEIRA	29
2.5	OS FUNGOS CONIDIAIS EM SERAPILHEIRA	30
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
3.1	ÁREA DO ESTUDO	32
3.2	COLETA, PREPARAÇÃO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS	35
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
4.1	DIVERSIDADE DE FUNGOS CONIDIAIS DA FLONA DE CARAJÁS, PA.	38
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento existente sobre as Florestas Tropicais, sobretudo no Brasil, está concentrado nas florestas úmidas, como a Amazônia e a Mata Atlântica. A Amazônia faz parte de um dos biomas mais diversos em espécies de plantas, animais e micro-organismos, sendo considerada uma das florestas tropicais mais importantes do mundo devido aos seus serviços ecossistêmicos como regulação do clima, conservação do solo e sequestro de carbono. No entanto, devido às intervenções antrópicas, grande parte da sua biodiversidade foi e continua sendo comprometida (ICMBio, 2017).

A região que abrange a Amazônia é caracterizada por temperaturas elevadas, que se mantêm constantes ao longo do ano. Por exemplo, Belém (PA) que está distante 100 km do oceano Atlântico, apresenta temperatura média anual de 25 °C (INÊS et al., 2012). Além disso, em meio à densa floresta ombrófila, fitofisionomia predominante na Floresta Nacional Serra dos Carajás, PA (FLONA de Carajás), é possível distinguir em clareiras, nos topos aplainados das serras, uma vegetação rara, de fisionomia herbácea-arbustiva, que se desenvolve sobre a canga hematítica. Essa vegetação abriga diferentes tipos de aves, répteis, anfíbios e mamíferos. A FLONA de Carajás dispõe de uma elevada taxa de biodiversidade distribuída em cavernas, platôs e divisores de água desta unidade de conservação (AB'SABER, 1986; CAMPOS; CASTILHO, 2012; MOTA et al., 2015).

As cavernas podem ser formadas por diversos processos, como dissolução, erosão e movimentação de placas, em diferentes litologias como rochas carbonáticas, siliciclásticas e ferríferas (CULVER; WHITE, 2005; GUNN, 2006; PILÓ; AULER, 2009). No Brasil, há aproximadamente 5.000 cavernas já registradas (CECAV, 2011), mas estima-se que o total de cavernas seja superior a 100.000 (AULER, 2006). A partir do início dos anos 2000, estudos sistemáticos em regiões de litologia ferrífera revelaram um grande potencial para cavernas, principalmente associadas às coberturas de canga (PILÓ e AULER, 2009). As cavernas ferruginosas são originadas, principalmente, por processos de dissolução e erosão, sendo a grande maioria de dimensões reduzidas quando comparadas a cavernas em outras litologias (AULER; PILÓ, 2005; PILÓ; AULER, 2005; PILÓ; AULER, 2009).

Além disso, as cavernas apresentam características únicas como confinamento espacial, ausência de luz direta, temperatura e umidade constantes e escassez de matéria orgânica (JURADO; SÁIZ-JIMÉNEZ, 2016; MORAIS, 2006; OGÓREK; LEJMAN; MATKOWSKI, 2013; POPOVIĆ et al., 2015; TAYLOR; STOIANOFF; FERREIRA et al., 2013.) A presença de plantas na entrada das cavernas é de extrema importância para a ecologia dos ecossistemas cavernícolas. Essas plantas ajudam na manutenção do ambiente interior das cavernas, pois o vento e cursos d'água carregam os detritos vegetais disponíveis sobre o solo para o interior e estes são fonte de alimento para muitos invertebrados e micro-organismos existentes na caverna (ICMBio, 2021).

Deste modo, os fungos podem ser vistos em todos os nichos do ambiente cavernícola, como o ar, rocha, sedimentos, solo, água, guano, matéria orgânica e na biota presente na caverna (JURADO; SÁIZ-JIMÉNEZ, 2016; NOVÁKOVÁ, 2009; OGÓREK; LEJMAN; MATKOWSKI, 2013). A colonização dos fungos nesse ambiente é devida aos substratos orgânicos que podem apresentar crescimento de hifas e formação de micélio (JURADO; SÁIZ-JIMÉNEZ, 2016). As correntes de ar que circulam nas cavernas podem carregar esporos fúngicos, sendo assim um fator importante na determinação da origem dos fungos na caverna (VANDERWOLF et al., 2013). Eles são capazes de formar associações com outros micro-organismos (RAJI et al., 2019), contribuindo para a alimentação da comunidade cavernícola (NOVÁKOVÁ, 2009; ZHANG, Z., et al., 2017; ZHANG, Z., et al., 2020). Além disso, estão envolvidos na ciclagem de nutrientes (OGÓREK; LEJMAN; MATKOWSKI, 2013; TAYLOR; STOIANOFF; FERREIRA, 2013) e são capazes de controlar as populações de alguns invertebrados (TAYLOR; STOIANOFF; FERREIRA, 2013). Com isso, os fungos consistem em um dos grupos mais importantes encontrados nas cavernas (NOVÁKOVÁ, 2009).

Muitos ambientes apresentam uma diversidade de micro-organismos que são capazes de ciclar os nutrientes da matéria orgânica e apresentam reprodução assexuada. Fungos conidiais podem se dispersar por conídios ou fragmentos de hifas e estão presentes em diferentes tipos de habitats, como os terrestres e aquáticos, ocorrendo na serapilheira. As folhas em decomposição

depositadas sobre o solo ou na água, são colonizadas por diversas espécies que contribuem para a degradação de vários substratos. Assim, os fungos conidiais participam da ciclagem de nutrientes e enriquecimento do solo (RAJI et al., 2019).

Os fungos conidiais são responsáveis por boa parte da decomposição da matéria orgânica, atuando nas transformações bioquímicas nos ecossistemas. A atividade de degradação libera compostos mais simples, os quais podem ser reabsorvidos pelas plantas. Esses fungos também aumentam a assimilabilidade dos substratos, facilitando seu consumo pelos detritívoros e, assim, dinamizando a ciclagem de nutrientes ou servindo de alimento por meio da produção de biomassa (ALEXOPOULOS et al., 1996).

Mesmo que os estudos relacionados aos fungos conidiais de folhedo terrestre estejam colaborando para ampliar o conhecimento da microbiota mundial, pouco se sabe sobre a situação desses fungos na FLONA de Carajás. Além de toda sua importância para o meio ambiente, os estudos taxonômicos de fungos conidiais em folhedo, no Brasil, ainda são escassos (MARQUES et al., 2008; BARBOSA et al., 2009; COSTA et al., 2016a, b; COSTA & GUSMÃO, 2017; BARBOSA et al., 2022). Diante disso, o objetivo desse estudo é conhecer a diversidade de fungos conidiais de serapilheira na entrada de cavernas da FLONA de Carajás, um ecossistema associado à Floresta Amazônica.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

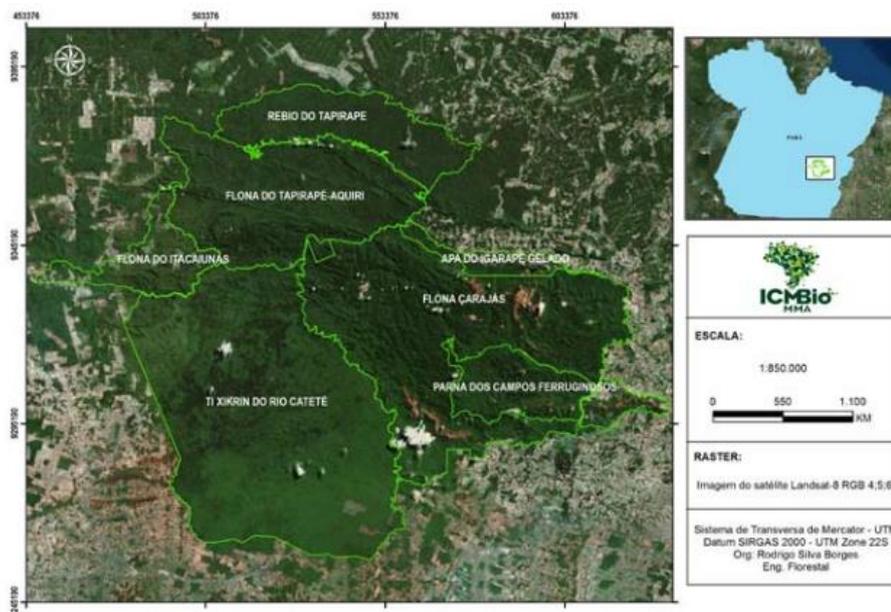
### **2.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E LEGAL DA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS**

A FLONA de Carajás, localizada no sudeste do Pará, é uma unidade de conservação federal criada em 1998, abrangendo partes dos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte. A região da FLONA de Carajás é conhecida por apresentar um alto nível de biodiversidade (CAMPOS; CASTILHO, 2012) e representa cerca de 0,098% da área total do Bioma Amazônico (AB'SABER, 1986; CAMPOS; CASTILHO, 2012; MOTA et al., 2015). Também exibe um rico capital natural em extensão territorial,

sistemas hídricos e elevada concentração de minérios (PONTES et al., 2019; GIANNINI et al., 2020). Essas elevadas concentrações de minérios tornam a FLONA de Carajás uma das maiores potências econômicas do país, pois dispõe de uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo (CARVALHO et al., 2014). O minério de ferro encontrado na região de Carajás apresenta uma das purezas mais elevadas do planeta, exibindo teores acima de 60%, valores acima da média mundial que é cerca de 30%, (MACAMBIRA, 2003; SCHAEFER et al., 2016).

Além disso, a FLONA de Carajás faz parte do “Mosaico Carajás”, juntamente com outras áreas protegidas, que são: 1) Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado; 2) Reserva Biológica do Tapirapé, 3) Floresta Nacional de Itacaiúnas; 4) Floresta Nacional de Tapirapé-Aquiri; 5) Floresta Nacional Serra de Carajás e 6) Terra Indígena Xikrin do Cateté, totalizando cerca de 1.207.000 hectares (ICMBio, 2017), (Figura 1).

**Figura 1.** FLONA de Carajás e as demais áreas protegidas da região que compõem o “Mosaico de Carajás”.

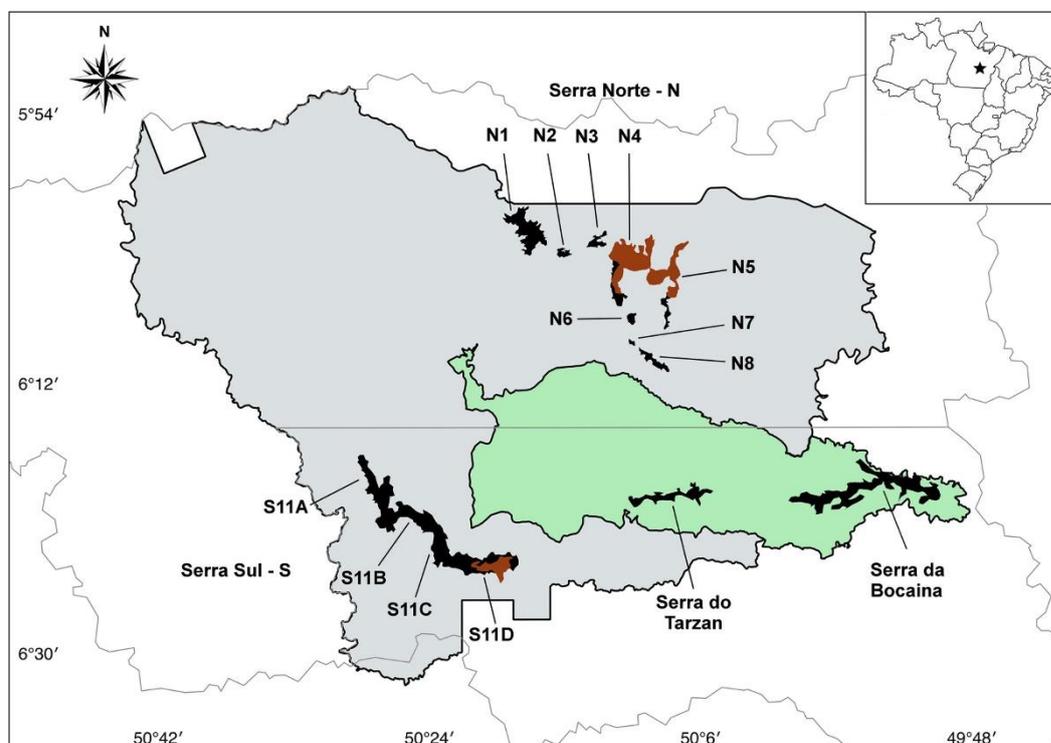


**Fonte:** ICMBio (2017).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região da FLONA de Carajás é do tipo Am, ou seja, tropical, quente e úmido, com precipitação

elevada. A estação seca ocorre entre maio e novembro e o total de precipitação registrado na região é de 2.033 milímetros ao ano (ALVARES et al. 2023). Além disso, a Serra dos Carajás possui uma altitude equivalente a 700 metros e abriga uma vegetação de tipo aberto, herbáceo-arbustiva. Essa vegetação é associada à conglomerados ricos em ferro e são conhecidas por *canga* (RIZZINI, 1979; SECCO & MESQUITA, 1983; VIANNA, 2016), que compreende uma flora peculiar com elevado número de espécies endêmicas e o total de quase 10% das 7.071 espécies referidas para o estado do Pará. As cangas são vistas como um revestimento ferrífero formado por fragmentos de ferro (MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995), que abrangem cerca de 5% de toda a FLONA de Carajás (CAMPOS; CASTILHO, 2012). Esse complexo de cangas é distribuído entre a Serra Norte (N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7 e N8) e Serra Sul (S11A, S11B, S11C e S11D), (Figura 2).

**Figura 2.** Indicação dos platôs de canga. Em preto, áreas de canga remanescentes; em vermelho, áreas de canga suprimidas; em cinza claro, delimitação da Floresta Nacional de Carajás. Em verde, o Parque Nacional dos Campos Ferruginosos.



Fonte: MOTA, N. F. O. (2018).

Além das espécies vegetais, muitas espécies animais foram identificadas na FLONA de Carajás. Dentre as 146 espécies de mamíferos relatadas na área, pelo menos uma é endêmica, o cuxiú (*Chiropotes utahickae*). Em relação as aves, 575 espécies são confirmadas para a UC, sendo oito endêmicas, como o arapaçu-de-loro-cinza (*Hylexetastes brigida*), arapaçu-docarajás (*Xiphocolaptes carajensis*), araponga-da-amazônia (*Procnias alba wallacei*), entre outros (ICMBio, 2016).

Há diversos estudos relacionados aos fungos na região amazônica, como os que produzem compostos com atividade sobre bactérias Gram positivas e Gram negativas (ATHAYDE, 2011; GARBIN, 2011; LIMA et al., 2011; SIQUEIRA, 2011), leveduras de interesse médico (GARBIN, 2011; SILVA et al., 2010; TONIAL, 2010), fitopatógenos (FIGUEIREDO, 2006; SIQUEIRA, 2011) e, também, os que tem atividade herbicida (SANTOS et al., 2008). Segundo o estudo realizado por Cordeiro (2016) sobre a atividade antibacteriana do fungo endofítico *Scedosporium apiospermum* de *Bauhinia guianensis* na FLONA de Carajás, os micro-organismos que vivem sob alto nível de stress ambiental e frequentes interações com outros micro-organismos apresentam alta diversidade metabólica.

Em relação à FLONA de Carajás, a Região de Integração de Carajás (RIC) é composta por 12 municípios: Bom Jesus do Tocantins, Brejo Grande do Araguaia, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Eldorado dos Carajás, Marabá, Palestina do Pará, Parauapebas, Piçarra, São Domingos do Araguaia, São Geraldo do Araguaia e São João do Araguaia (SILVA; NEGRÃO; GOMES, 2015). Entre eles, destacam-se Parauapebas, Marabá e Canaã dos Carajás que possuem os maiores PIBs desta região, decorrente, predominantemente, das exportações de minério de ferro (IBGE, 2010). A bacia hidrográfica de Parauapebas, possui uma área de 6.196 km<sup>2</sup>, perpassando por alguns municípios da (RIC) como Canaã dos Carajás, Curionópolis, Marabá, Parauapebas. De acordo com Siqueira et al (2012), o rio Parauapebas é a principal fonte de fornecimento de água de abastecimento público para os municípios circundantes, nasce na Serra Arqueada e corre na direção sul-norte.

A FLONA de Carajás está situada em uma área conhecida por sua rica província mineral, que contém cavidades naturais subterrâneas ferruginosas que abrigam uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo. Juntamente com as serras do Quadrilátero Ferrífero, localizadas em Minas Gerais, essa região representa 97% das reservas de ferro do país (PORTO; SILVA, 1989). Além disso, os platôs da FLONA de Carajás são compostos, principalmente, por solos rochosos que foram modificados pelo intemperismo, o que os torna mais resistentes.

As cavidades naturais subterrâneas ferruginosas do sudeste do Pará foram descobertas em 1967 pela empresa *United States Steel*, em parceria com a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), que obteve direito sobre o minério da região de Carajás (ICMBIO, 2016). Em 1977, a Vale do Rio Doce assumiu o empreendimento na região de Carajás com apoio e incentivos fiscais e financeiros do governo brasileiro por meio do Programa Grande Carajás (SANTOS, 1986; SANTOS, 2010; MADEIRA et al. 2015).

Entretanto, em 1997, a CVRD foi autorizada pelo Senado Federal a ter o direito real de uso intransferível de 411.948,87 hectares de terras de domínio da União adjacentes à província mineral de Carajás. Além da autorização para extração de jazidas. O Senado impôs, também, a conservação e proteção dos ecossistemas e terras indígenas existentes na região (BRASIL, 1986).

A FLONA de Carajás teve um espaço concedido à empresa CVRD, devido à sua privatização em 1997, visando continuar a explorar os recursos naturais de forma sustentável, conforme o decreto de criação nº 1.298, de 27 de outubro de 1994, que estabelece:

*"Art. 2º Os objetivos de manejo da Floresta Nacional de Carajás são aqueles estabelecidos no Decreto nº 1.298, de 27 de outubro de 1994".*

*"Parágrafo único. Consideradas as peculiaridades geológicas da área da Floresta Nacional de Carajás, incluem-se dentre seus objetivos de manejo a pesquisa, a lavra, o beneficiamento, o transporte e a comercialização de recursos minerais".*

Portanto, as leis ambientais sobre a liberação da atividade extrativista de mineração determinam que as atividades propostas pelas empresas devem dar suporte à conservação da biota e dos serviços associados, sem causar grandes impactos ambientais. Em vista disso, as cavidades subterrâneas são classificadas de acordo com seu grau de relevância, que varia de máximo à baixo. Essa classificação é baseada em serviços biológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, ecológicos, geológicos, histórico-culturais e socioeconômicos (BRASIL, 2008; BRASIL, 2009).

As definições dos ambientes físicos das cavernas em relação às atividades mineradoras devem ser determinadas diante de sua fragilidade. Logo, é necessário caracterizar a relação entre a caverna e a fonte de vibração, bem como fazer um mapeamento geoestrutural da caverna e monitoramentos sismográficos para estabelecer a área segura (ICMBIO, 2016).

## **2.2 CAVERNAS**

### **2.2.1 Caracterização e biodiversidade das cavernas**

As cavernas podem ser formadas em carbonatos, evaporitos, arenitos, formações de ferro bandadas e duricrust laterítico causadas por dissolução química e influência das águas subterrâneas (MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995, FORD; WILLIAMS, 2007, PALMER, 2007, DUBLYANSKY; SPOTL, 2015). A ausência parcial ou total de luz nas áreas mais afastadas da entrada das cavernas, junto com a limitação de recursos, auxilia para a singularidade desses locais. Segundo a hipótese de limitação de recursos defendida por Huppopp (2000), esse conjunto de características justifica, indiretamente, a presença de alguns organismos no ambiente subterrâneo com maior longevidade e reduzida taxa metabólica. Entretanto, pouco se sabe sobre o fluxo de nutrientes nos ambientes subterrâneos (GILBERT, 1986; SIMON; BENFILD; MACKO, 2003), restringindo, assim, o entendimento deste ecossistema.

Pesquisas em cavernas tropicais mostram que os ambientes subterrâneos, podem receber matéria orgânica por meio de animais, excretas de morcegos, gotejamento de água (JURADO et al., 2010, PAULA; MONTOYA; RODRIGUES; BICHUETTE; SELEGHIM, 2016). Desta forma, as cavernas são classificadas como ambientes oligotróficos e a matéria orgânica penetra nestes sistemas carregada, de forma contínua ou temporária, por agentes físicos (como ações do vento, gravidade, percolação de água de superfície) ou biológicos (animais que visitam ou se abrigam em cavernas, introduzindo recursos energéticos através de suas fezes, ou até mesmo carcaças) (CULVER, 1982; FERREIRA; MARTINS, 1999; GNASPINI, 1989; HOWARTH, 1983). Assim, essa matéria orgânica se torna os recursos alimentares que mantêm as populações de todos os níveis tróficos nos ecossistemas subterrâneos. O tipo e a qualidade do recurso, e a forma de disseminação deste recurso no sistema, são determinantes da composição e estrutura das comunidades cavernícolas (CULVER, 1982; FERREIRA & MARTINS, 1999; HOWARTH, 1983).

Devido à dinâmica evolutiva contemplada pelos processos relacionados à formação e desenvolvimento das cavernas, os processos erosivos e dissolutivos que levam ao surgimento e alargamento da caverna envolvem movimentos tectônicos, agentes hídricos e agentes eólicos que influenciam na entrada e retirada de materiais clásticos e orgânicos. Já a geodiversidade implica nas diversidades de formas geológicas dos ambientes cavernícolas, que estão correlacionadas com ações das recargas aquíferas, águas superficiais e subterrâneas (OLIVEIRA, 2019).

Diante disso, as cavernas compõem ambientes com alto índice de biodiversidade, contendo animais e micro-organismos e, em seu entorno, várias espécies de plantas, (CULVER; SKET, 2000; FORD, 2006; PALMER, 2007; MELO et al 2011; GALÃO; BICHETTE, 2015; SOUZA; SILVA et al. 2015; SOUZA; SILVA; FERREIRA, 2016).

Segundo Holsinger e Culver (1988), os organismos existentes nos ambientes cavernícolas podem ser classificados em três categorias: troglóxenos, troglófilos e troglóbios. As espécies troglóxenas, utilizam o espaço da caverna apenas para abrigo, reprodução ou alimentação, os troglófilos são espécies adaptadas ecologicamente ao ambiente cavernícola, mas podem se

desenvolver no ambiente externo à caverna, e as espécies troglóbias são organismos restritos ao ambiente subterrâneo e que, em geral, podem apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e comportamentais.

As cavernas são reservatórios de alta especificidade de espécies, animais e plantas, endêmicas e ameaçadas (DEHARVENG, 2005), de singularidade genética (GILBERT; DEHARVENG, 2002) e abrigam táxons não convencionais como peixes cegos, crustáceos, insetos, vermes e muitos outros grupos (GUNN, 2004). Dessa forma, a influência das cavernas nos ecossistemas circundantes é de extrema importância, devido às interações nelas existentes. Por exemplo, um estudo realizado por Medellín et al. (2017) mostra que os serviços ecossistêmicos prestados pelos morcegos, nas cavernas da América do Norte, auxiliam no controle de pragas, polinização e dispersão de sementes.

Tomczyk-Żake e Zielenkiewicz (2015) estudaram a diversidade microbiana nas Cavernas de Herrenberg, Naracoorte, cavernas de lava no Havaí e nos Açores, entre outras e relatam que os princípios ecológicos sobre a competição das espécies que utilizam a mesma fonte de energia para sobrevivência entram em paradoxo quando se trata da alta diversidade existente nos ambientes cavernícolas. Segundo Barton (2007), é improvável que todas as reações de alta energia necessárias para o crescimento de um micro-organismo sejam realizadas dentro das cavernas. Para suprir a falta de nutriente nos ambientes cavernícolas, as populações microbianas estabelecem relações mutualísticas (GROTEHUIS et al. 1991; MOHN; TIEDJE, 1992). Dessa forma, alguns micro-organismos, ao interagir com minerais, produzem biofilme e participam na formação de estalactites e estalagmites que levam a expansões das cavernas.

Um levantamento mundial sobre os fungos de cavernas, realizado por Vanderwolf et al. (2013), relata que a maioria dos trabalhos observou a ocorrência de *Histoplasma* spp. e *Geomyces* spp. causadoras de doenças de grande relevância. Outros gêneros menos frequentes são: *Absidia*, *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Beauveria*, *Botrytis*, *Candida*, *Chaetomium*, *Chrysosporium*, *Cladosporium*, *Coprinus*, *Cunninghamella*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Gliocladium*, *Humicola*,

*Isaria, Laboulbenia, Microsporum, Mortierella, Mucor, Mycena, Paecilomyces, Penicillium, Phoma, Rhachomyces, Rhizopus, Scopulariopsis Stachybotrys Trichoderma, Trichophyton e Verticillium,*

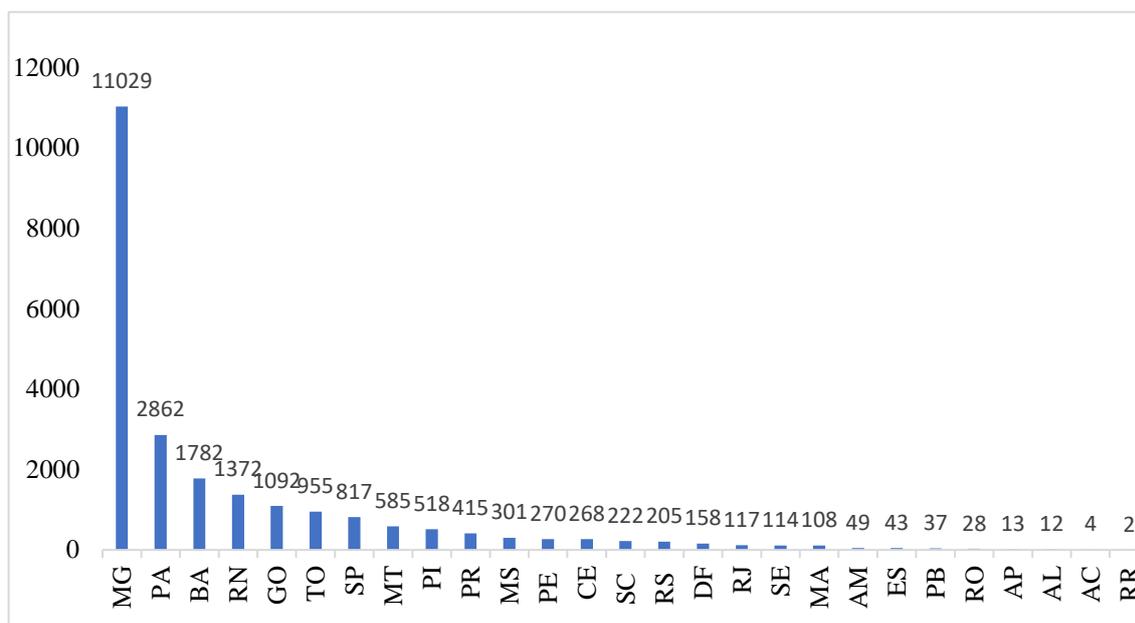
Medellin et al. (2017) dizem que os estudos realizados em ambientes cavernícolas são mais focados em cavernas marinhas e subaquáticas. Entretanto, as pesquisas relacionadas à relevância das cavernas globais e os organismos nelas existentes ainda são muito escassos e os micro-organismos presentes nas cavernas são condicionados a viver com a perda de habitat, poluição, perturbação, extração de pedreiras e mineração.

### 2.2.2 Caracterização e biodiversidade das cavernas do Brasil

Há vários estudos relacionados aos animais de ambientes cavernícolas, como a distribuição de pseudoescorpiões encontrados nas cavernas da Bahia (SCHIMONSKY; BICHETTE, 2019), monitoramento dos morcegos das cavernas da Caatinga (LEAL; BERNARD, 2021), distinção taxonômica da fauna subterrânea do Parque Nacional das Grutas do Peruaçu, no estado de Minas Gerais (MONTE; BICHUETTE, 2020), em que, na realização do estudo, foram encontrados em todas as cavernas visitadas, as classes de *Actinopterygii* (Osteichthyes) à *Diplopoda*.

Essa diversidade de animais se dá pela quantidade de cavernas existente no Brasil. Segundo o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), houve um aumento de 3% no número de cavernas cadastradas no ano de 2022, com relação a 2021. Atualmente, o estado de Minas Gerais possui o maior número de cavernas (CANIE, 2022), com 10.570 (46,72%), seguido pelo Pará com 2.858 (12,63%), Bahia, com 1.694 (7,49%), e Rio Grande do Norte, com 1.362 cavernas (6,02%), conforme mostrado na Figura 3.

**Figura 3-** Distribuição de cavernas por Unidade da Federação.



**Fonte:** A autora, (2023).

Algumas dessas cavernas estão localizadas em Unidades de Conservação (UCs). Segundo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, as unidades de conservação são áreas territoriais, incluindo seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, criadas e protegidas pelo poder público com objetivos de conservação. Além disso, as UCs são divididas em dois grupos: unidades de proteção integral, que se refere a preservação total da natureza, permitindo apenas o uso indireto dos recursos, e as unidades de uso sustentável, que conciliam a preservação da natureza com o uso sustentável.

Segundo o levantamento da CANIE (2022), apenas 7.750 das cavernas registradas estão localizadas em unidades de conservação, de forma que 56% delas (4.368) encontram-se em unidades de uso sustentável e 44% (3.382) em UCs de proteção integral. A FLONA de Carajás está situada em uma unidade de conservação de uso sustentável, de acordo com o Decreto N°. 2.486 de 02 de fevereiro de 1998.

Os estudos desenvolvidos nas cavernas localizadas na FLONA de Carajás estão correlacionados com a fauna associada aos geossistemas ferruginosos (ICMBio, 2017). São exemplos desses estudos os relacionados à dinâmica populacional e de comunidades, como tendências, flutuações, probabilidade de sobrevivência, que permitam avaliar os efeitos da fragmentação do ambiente ou da relevância de áreas contínuas para a persistência da fauna nas áreas de mineração (ICMBio, 2017). Também a avaliação da contribuição da anta (*Tapirus terrestris*) no estabelecimento de espécies da flora e na criação de micro-habitat para espécies específicas da flora nos geoambientes ferruginosos (ICMBio, 2013). O levantamento da riqueza de espécies de vertebrados aquáticos e das populações indicadoras de qualidade ambiental foi realizado por Ferraz e Luz (2016). Além disso, a quantificação da intensidade dos impactos das estruturas implantadas e da atividade minerária no entorno da área de influência direta do empreendimento por meio, por exemplo, de informações sobre a riqueza e abundância de espécies, composição da dieta e comportamento reprodutivo também foi realizada (ICMBio, 2017).

Essa variedade de estudos se dá pela predominância de rochas ferruginosas na FLONA de Carajás, pois, segundo o CECAV (2022), cerca de 3.060 cavernas existentes no Brasil são oriundas de rochas ferruginosas, onde há uma alta taxa de atividade extrativista para fins econômicos. De acordo com CANIE (2021), a FLONA de Carajás possui 1.513 cavidades subterrâneas ligadas ao minério de ferro. Porém, com o estabelecimento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000), as atividades mineradoras existentes na FLONA de Carajás oferecem riscos de perdas de ecossistema, habitat e espécies.

Nos últimos anos tem havido um aumento nos estudos sobre a diversidade fúngica associada a morcegos em cavernas, principalmente devido ao impacto da síndrome do nariz branco em várias espécies de morcegos, causada por um fungo ascomiceto conhecido como *Pseudogymnoascus destructans* (BLEHERT; GARGAS, 2016, MINNIS; DL LINDER, 2019). Outra pesquisa, realizada por Carvalho et al. (2022), analisou a diversidade de fungos

ectoparasitas de morcegos em uma caverna tropical do Brasil. Já Taylor et al. (2023) realizaram um estudo micológico para um plano de manejo de uma caverna neotropical no Brasil, com o objetivo de monitorar as cavernas turísticas e identificar riscos biológicos para a preservação da saúde humana. Apesar de existirem vários estudos relacionados a outros tipos de organismos vivos nas cavernas, a escassez de pesquisas relacionadas exclusivamente aos fungos conidiais em ambientes cavernícolas no Brasil dificulta a compreensão sobre a origem e diversidade fúngica nesses ambientes.

### 2.3 OS FUNGOS

Os fungos podem ser seres macroscópicos ou microscópicos, são eucarióticos, produtores de esporos e aclorofilados. Possuem reprodução assexuada (fase anamórfica) e sexuada (teleomórfica), e quando há os dois tipos reprodutivos, denominam-se de holomorfo. Podem apresentar-se de forma unicelular como as leveduras ou multicelulares como as hifas filamentosas (ALEXOPOULOS et al., 1996; ESPOSITO; AZEVEDO, 2010). São classificados como seres heterotróficos e possuem uma parede celular constituída por polissacarídeos, dentre eles estão as glucanas e quitinas. Além disso, possuem glicogênio como composto de armazenamento (FREE, 2013).

Os fungos possuem diversos tipos de estratégias para a sobrevivência e permanência no ambiente. Essas estratégias permitem que os fungos colonizem diversos tipos de substratos em diferentes tipos de ambientes. Segundo Ayerst (1969) e Dix (2012), a maioria dos fungos necessitam de um elevado nível de temperatura e umidade para o desenvolvimento adequado no meio. A diversidade de ambientes em que os fungos podem se desenvolver garante que esses organismos possam ter diversas funcionalidades, como simbiontes (micorrizas), predadores (nematófagos) e sapróbios (decompositores de matéria orgânica). Além disso, na agricultura, os fungos podem ser usados no controle biológico de diversos tipos de insetos (KENDRICK, 2000).

Por serem bastante complexos e terem passado por diversos tipos de classificações, atualmente não se sabe o número exato de fungos existente no

planeta. Alguns levantamentos sobre a diversidade de fungos revelam que apenas 8% da micota mundial foi descrita (KIRK et al., 2001, HAWKSWORTH; LÜCKING, 2017)

Segundo Heilmann-Clausen et al. (2015), há cinco áreas em que os fungos são considerados integrados diretamente para conservação: (1) promotores de habitats e processos para outros organismos, (2) indicadores de estágio de conservação de habitats, (3) provedores de ligações entre o ser humano e o mundo natural, devido ao valor medicinal e outras ferramentas biotecnológicas, (4) fontes de novas ferramentas e de novas perspectivas para a conservação de grupos de organismos e (5) indicadores de tendências desejadas ou indesejadas no funcionamento do ecossistema. Entretanto, há uma deficiência com relação aos estudos relacionados à diversidade e conservação desses organismos.

### 2.3 A SERAPILHEIRA

A serapilheira é composta por restos de folhas, galhos, frutos e outras matérias orgânicas que se acumulam sobre o solo. A quantidade de serapilheira e o processo de decomposição estão relacionados a fatores abióticos e bióticos, como o tipo de vegetação, precipitação, temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica e características do solo (VITOUSEK; SANFORD, 1986; FIGUEREDO FILHO et al., 2003; VIEIRA; SCHUMACHER, 2010). Observa-se também um aumento da deposição de serapilheira quando as árvores atingem a maturidade ou fecham suas copas (BRAY; GHORAN, 1964).

De acordo com Mason (1980), o processo de decomposição da serapilheira é dividido em três fases coincidentes: lixiviação, intemperismo e ação biológica. Segundo Vieira et al. (2013), (a) a lixiviação é a perda rápida de detritos pela ação da água da chuva, (b) o intemperismo é a ruptura mecânica dos detritos devido a fatores físicos e (c) a ação biológica é a fragmentação gradual e a oxidação dos detritos. Com o resultado desses processos, ocorre o

ciclo biogeoquímico, tendo a serapilheira como principal meio de transferência (VIEIRA et al., 2010; SCHUMACHER, 2010).

A decomposição foliar ocasiona o acúmulo de matéria orgânica no solo, permitindo a fertilidade e produtividade do local. Solos com baixa disponibilidade de nutrientes mantêm uma alta produtividade devido ao processo de ciclagem de nutrientes (SCHEER, 2008). Logo, a ciclagem proveniente da serapilheira é essencial para a sustentabilidade e manutenção do planeta, por ser particularmente importante para degradar polímeros complexos de celulose e auxiliar na manutenção da cadeia alimentar do planeta (ESPIG et al., 2009).

Em ambientes cavernícolas, em que a luz solar é escassa e a entrada de detritos externos é limitada, a serapilheira pode ser formada a partir de matérias que são transportadas para o interior da caverna por animais, vento e chuva. Além disso, a serapilheira neste ambiente é de extrema importância, pois estabiliza o solo e fornece um substrato para o crescimento de fungos e bactérias, que desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes (ALEXOPOULOS et al. 1996; MUELLER et al., 2004; SEIFERT et al., 2011). Logo, é crucial o estudo sobre a ciclagem de nutrientes provenientes da serapilheira, para compreender o funcionamento das estruturas dos ecossistemas florestais (VITAL et al., 2004).

#### 2.4 FUNGOS CONIDIAIS EM SERAPILHEIRA

Os fungos têm uma grande importância ecológica, pois são excelentes decompositores de matéria orgânica. As espécies conidiais, que possuem estruturas reprodutivas do tipo assexuado, são representadas pelos fungos de folhedo (GUSMÃO; MAIA, 2006) e já foram denominadas de fungos anamorfos, mitospóricos ou ascomicetos assexuados. Esses organismos são microscópicos e representam diversos grupos taxonômicos, além disso, são cosmopolitas (KIRK et al., 2008 e KIRK et al., 2001).

A classificação dos fungos anamorfos teve início no século XIX, devido ao trabalho realizado por Saccardo em sua obra *Sylloge Fungorum*. Essa

classificação era baseada na estrutura de reprodução, morfologia, septação nos conídios e pigmentação, porém, com os avanços tecnológicos relacionados ao estudo desse grupo, esse tipo de classificação tornou-se obsoleta (GRANDI 1998b; GUSMÃO et al. 2006). Segundo a classificação didática de SEIFERT et al. (2011) classificam os fungos conidiais, de acordo com as estruturas reprodutivas, em: blastomicetos, coelomicetos e hifomicetos. Os blastomicetos são leveduras que se reproduzem de forma assexual, enquanto os coelomicetos possuem conídios formados em picnídios ou acérvulos, e os hifomicetos produzem conídios em conidióforos solitários ou agrupados em sinema ou esporodóquio que, junto com as células conidiogênicas e conidióforos, permitem a identificação taxonômica das espécies (SEIFERT et al., 2011). Um estudo realizado por Rossman, (1997) indica que a dificuldade de estudar esses fungos se deve às suas estruturas bastante frágeis e delicadas, requerendo dos pesquisadores uma análise minuciosa e paciente.

No Brasil, os estudos sobre os fungos conidiais de folhede tiveram início na década de 60 com Batista et al. (1960) e continuam até o presente. Em Pernambuco, por exemplo, um estudo pioneiro sobre os fungos conidiais foi realizado por MAIA (1983), no qual foi analisada a decomposição de folhede terrestre de *Hortia arborea* Engl., *Licania kunthiana* Hook e *L. octandra* Kuntze, sendo observados vários hifomicetos.

Os primeiros estudos relacionados aos fungos conidiais no norte do Brasil foram os de Hennings e Batista et al. (1966). Na Floresta Nacional de Caxiuanã (PA), houve um estudo em que HERNÁNDEZ et al. (2009) registraram 66 táxons de fungos anamorfos encontrados em folhas em decomposição. Além disso, Pfenning (1993) realizou um estudo sobre a rizosfera e o rizoplano de plantas na cidade de Capitão-Poço (PA), avaliando os fungos microscópicos. Foram registradas mais de 98 espécies que, em sua maioria, eram fungos conidiais. Monteiro (2010) fez um levantamento sobre os fungos anamorfos da folha de palmeira da Floresta Nacional de Caxiuanã (PA), que revelou a presença de seis novos registros de hifomicetos para o Neotrópico. As espécies registradas foram *Camposporium fuisporum*, *Cylindrocarpon curtum*, *Minimidochium microsporum*, *Sporidesmiella áspera*, *Sporidesmium ghanaense* e *Stachybotrys theobromae*. Outro estudo realizado por Monteiro (2019) na

Amazonia do Brasil, em que foram identificadas 107 espécies de fungos conidiais associados à serapilheira. Porém, apesar do norte do Brasil possuir a maior Floresta Tropical existente, os estudos relacionados à taxonomia dos fungos conidiais ainda são escassos (FARR, 1980; FARR,1986; CRUZ et al.,2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DO ESTUDO

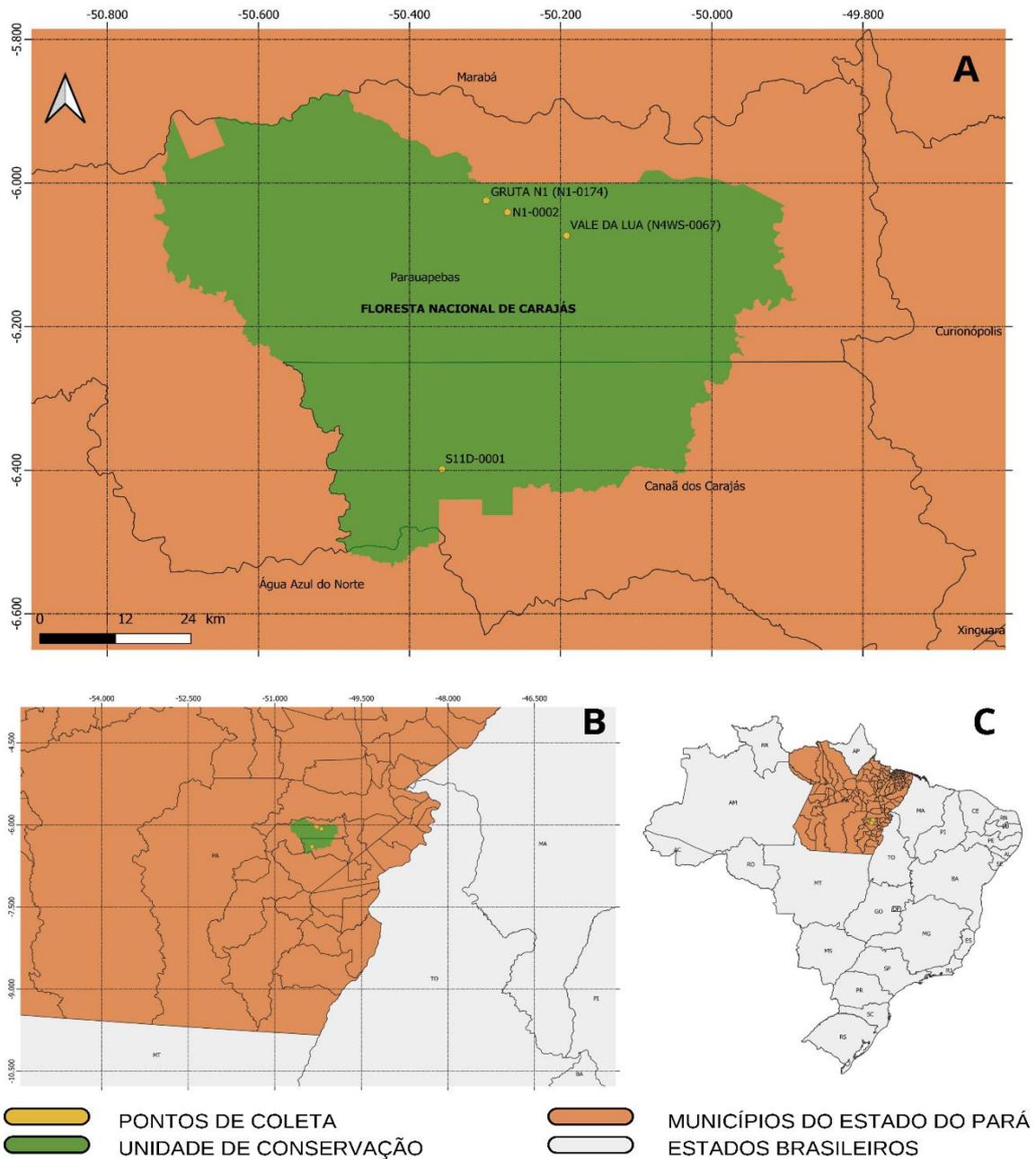
A Floresta Nacional de Carajás (FLONA de Carajás, Figura 4) é uma unidade de conservação federal localizada no estado do Pará que está situada na região Amazônica do Brasil e que abrange uma área de 411.948 hectares. Os pontos de coleta estudados no presente trabalho situam-se nos ambientes cavernícolas e no entorno e dentro das entradas das cavernas da FLONA de Carajás. As cavernas selecionadas foram: S11D0001 (Figura 5), Gruta de N1 (Figura 6), Vale da lua e N10002 (Figura 7), (Tabela 1).

**Tabela 1-** Coordenadas geográficas das cavernas da FLONA de Carajás.

Cavernas	Coordenadas geográficas	
S11D-0001	06°23'55.47480"S	50° 21'25.98120"W
Gruta N1 (N1-0174)	06°01'28.51320"S	50° 17'55.04280"W
N1-0002	06°02'25.94760"S	50° 16'13.32120"W
Vale da Lua (N4WS-0067)	06°04'23.17080"S	50° 11'31.30800"W

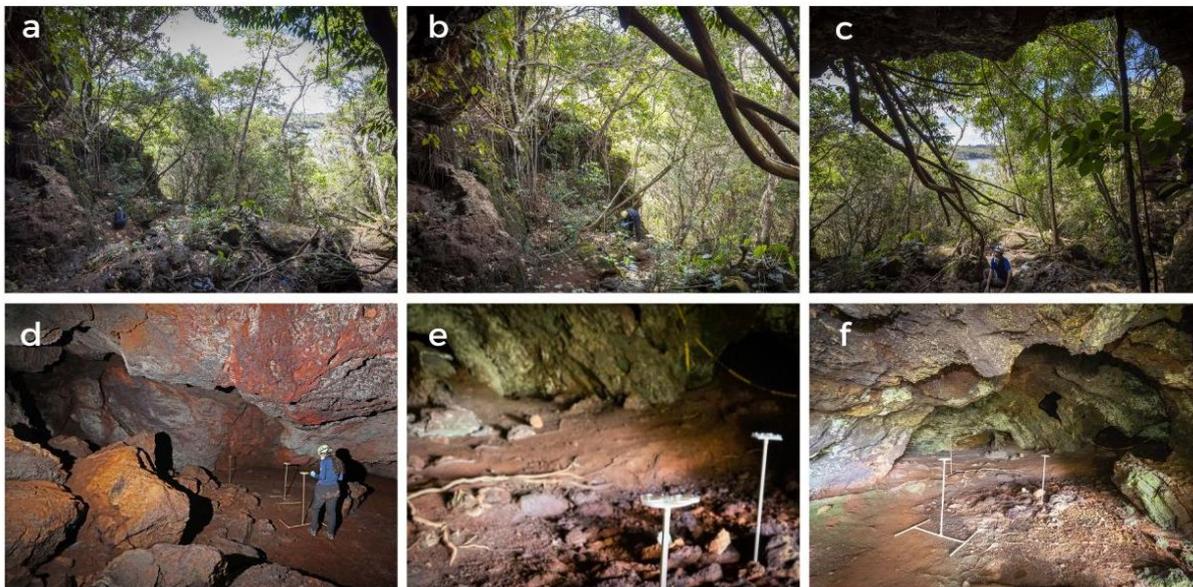
**Fonte:** A autora, (2023).

**Figura 4-** Mapa da FLONA de Carajás, com indicação da localização das cavernas amostradas. (A) Unidade de Conservação FLONA de Carajás, municípios entorno e os pontos de coleta. (B) Estado do Pará e a respectiva Unidade de Conservação. (C) Mapa do Brasil.



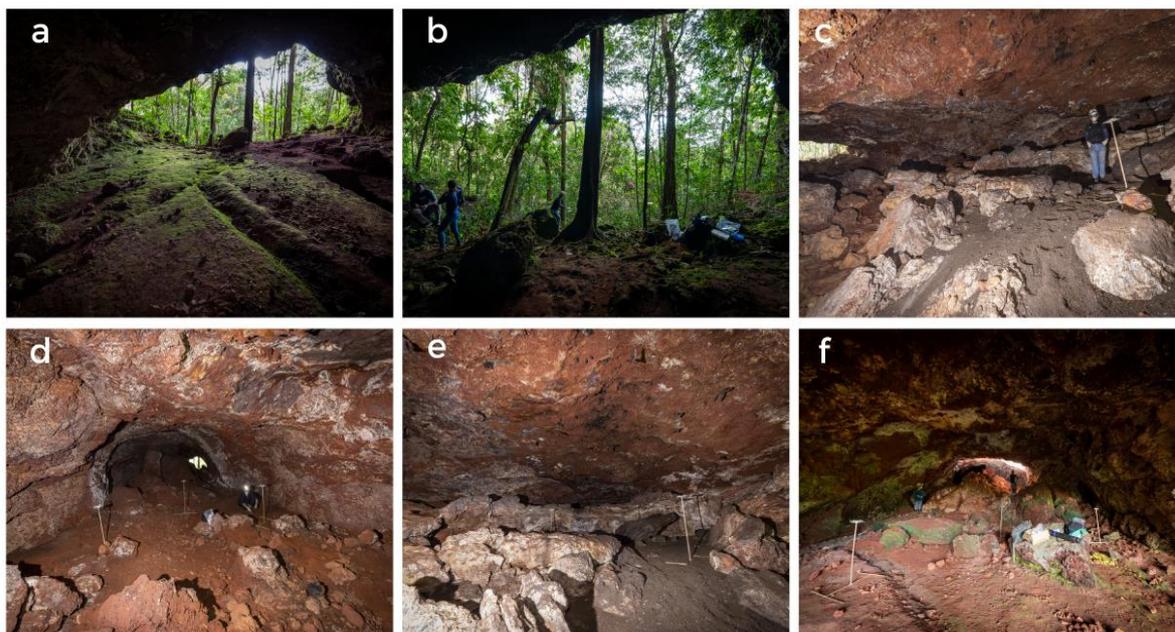
**Fonte:** A autora, (2023).

**Figura 5-** Visão geral da entrada da caverna S11D001 olhando para o exterior (imagens a, b e c) e para o interior (imagens d, e e f).



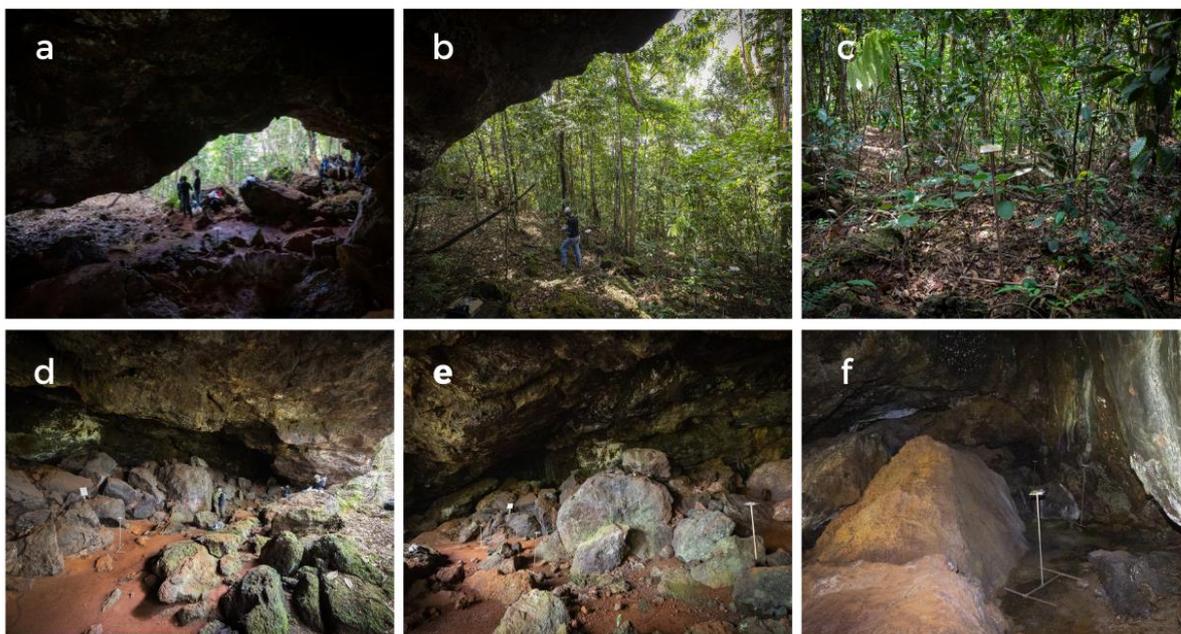
**Fonte:** BENTO, (2022).

**Figura 6-** Visão geral da entrada da caverna Gruta N1 olhando para o exterior (imagens a e b) e para o exterior (imagens c, d, e e f).



**Fonte:** BENTO, (2022).

**Figura 7-** Visão geral da entrada da caverna N10002 olhando para o exterior (imagens a, b e c) e para o interior (imagens d, e e f).



**Fonte:** BENTO, (2022).

### 3.2 COLETA, PREPARAÇÃO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Foi realizada uma expedição para a FLONA Carajás em julho de 2022, com o intuito de coletar amostras das cavernas selecionadas. Em cada caverna, em pontos escolhidos aleatoriamente, foram coletadas amostras de folheto que foram armazenadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Hifomicetos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). No processo de lavagem, as folhas foram colocadas em três recipientes plásticos, com o fundo e laterais perfurados, sobre uma bandeja posicionada em um ângulo de 45° abaixo da torneira, sem incidência direta da água sobre as folhas (Figura 8), para eliminar detritos e nematoides. A lavagem delicada se deu por 30 minutos, de acordo com Castañeda-Ruiz (2005). Após esse processo, as folhas foram postas sobre um papel toalha durante 10 minutos para serem secas e posteriormente cortadas em fragmentos de aproximadamente 7 cm<sup>2</sup>. Para cada amostra foram montadas câmaras úmidas (placas de Petri preparadas com papel de filtro umedecido com água destilada esterilizada) contendo três fragmentos de folhas. Essas placas foram incubadas em uma caixa de isopor.

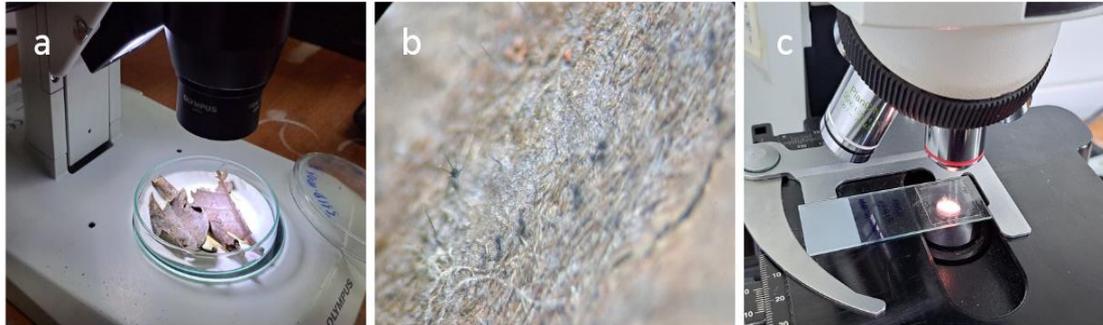
**Figura 8-** Etapas do processamento das amostras de folheto terrestre. (a, b) Processo de lavagem das folhas em água corrente; (c, d) Secagem das folhas em papel absorvente, para serem cortadas e colocadas nas câmaras úmidas; (f) Placas de Petri contendo três fragmentos de folhas.



**Fonte:** A autora, (2023).

Dentro do isopor, foram colocados suportes de placas de Petri para acondicionar o material e adicionado um pouco de água e glicerina para quebrar a tensão superficial da água, para manter um ambiente de alta umidade (Castañeda-Ruiz *et al.*, 2016). Após 72 horas, o material incubado foi observado com estereomicroscópio (Figura 8) e examinados durante 30 dias. As estruturas fúngicas foram montadas em lâminas com ácido láctico a 90% e visualizadas em microscópio de luz para identificação dos espécimes. Lâminas permanentes também foram montadas utilizando resina PVLG (álcool polivinílico + ácido láctico + glicerol) (TRAPPE; SCHENCK, 1982). As identificações dos fungos conidiais foram realizadas de acordo com a literatura (ELLIS 1971, 1976; MATUSHIMA 1971, 1975, 1985, 1993; SEIFERT *et al.* 2011).

**Figura 9** - Etapas do processamento das amostras do folheto terrestre. (a) Análise taxonômica dos fragmentos das folhas em estereomicroscópio; (b) Espécime no substrato; (c) Observação das microestruturas fúngicas montadas com ácido láctico a 90% e visualizadas com auxílio do microscópio de luz.



**Fonte:** A autora, (2023).

### 3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Ocorrência de fungos conidiais, riqueza (S), diversidade (índice de Shannon-Wiener –  $H'$  e Simpson D), Equitabilidade (índice de Pielou –  $J'$ ) e Dominância de Berger-Parker (d) foram calculadas para cada caverna, e para comparar a similaridade entre os locais de coleta, foi aplicada o índice de similaridade de Bray-curtis, utilizando o programa Past 4.03 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). Para a realização do diagrama de Venn, foi utilizado o programa *InteractiVenn* (HEBERLE; MEIRELLES; FR; TELLES; MINGHIM, 2015).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DIVERSIDADE DE FUNGOS CONIDIAIS DA FLONA DE CARAJÁS, PA.

O material coletado para o presente estudo foi selecionado aleatoriamente com diferentes tipos e quantidades de folheto. Devido à quantidade de material do entorno e dentro das cavernas trazida pelos coletores, os números das amostras variaram como: as amostras do folheto das cavernas S11D001 e N1002 foram incubados em 7 câmaras úmidas cada, contendo 21 fragmentos cada, a Gruta N1 em 5 câmaras úmidas, contendo 15 fragmentos e Vale da Lua em 10, contendo 30 fragmentos, para a utilização de todo o material coletado.

As espécies de fungos conidiais detectadas no folheto coletado na FLONA de Carajás estão listadas na Tabela 2.

No folheto relacionado à caverna S11D001 foram detectados 10 taxons, em um total de 21 fragmentos foliares avaliados. Dentre os fungos, três foram plenamente identificados pela morfologia, seis puderam ser reconhecidos até o nível de gênero e um permanece com a indicação de morfotipo.

As espécies mais frequentes na caverna S11D001 foram *Sporidesmium* sp., presente em todos os fragmentos analisados, seguida por *Volutella buxi*, *Coletotrichum* sp. e *Pestalotiopsis* sp. presentes em 21, 21 e nove fragmentos, respectivamente.

No folheto relacionado à caverna N1002 foram detectados oito taxons, em um total de 21 fragmentos foliares avaliados. Dentre os fungos, três foram plenamente identificados pela morfologia, quatro puderam ser reconhecidos até o nível de gênero e um permanece com a indicação de morfotipo.

Na caverna N1002, *Volutella buxi* sp., foi a espécie mais comum, presente em 21 dos 21 fragmentos analisados, seguida por *Beltraniella* sp. e *Wiesneriomyces laurinus* presentes em nove e seis fragmentos, respectivamente.

No folheto relacionado à gruta N1 foram detectados 4 taxons, em um total de 15 fragmentos foliares avaliados. Dentre os fungos, dois foram plenamente identificados pela morfologia e dois puderam ser reconhecidos até o nível de gênero.

Na Gruta N1, *Lauriomyces heliocephalus* foi a espécie mais frequente, presente em todos os fragmentos analisados.

Por fim, no folheto relacionado à caverna Vale da Lua foram detectados nove taxons, em um total de 30 fragmentos foliares avaliados. Dentre os fungos, três foram plenamente identificados pela morfologia, cinco puderam ser reconhecidos até o nível de gênero e um permanece com a indicação de morfotipo. Nesta caverna, *Thozetella cubensis* e *Volutella buxi* foram as espécies mais frequentes, presentes em 30 e 24 fragmentos analisados, respectivamente.

Além das espécies mais comuns, outras espécies também foram encontradas em menor frequência, como *Chalara* sp., *Speiropsis* sp., *Wiesneriomyces laurinus*, *Arthrobotrys* sp., (imagem 10) *Beltrania rhombica*, e uma possível nova espécie *Thozetella* sp. nov., *Circinotrichum olivaceum*, e três morfotipos distintos. A Tabela 2 fornece uma visão geral da diversidade de fungos conidiais presentes nas quatro cavernas analisadas e pode ser útil para estudos futuros sobre a ecologia desses organismos.

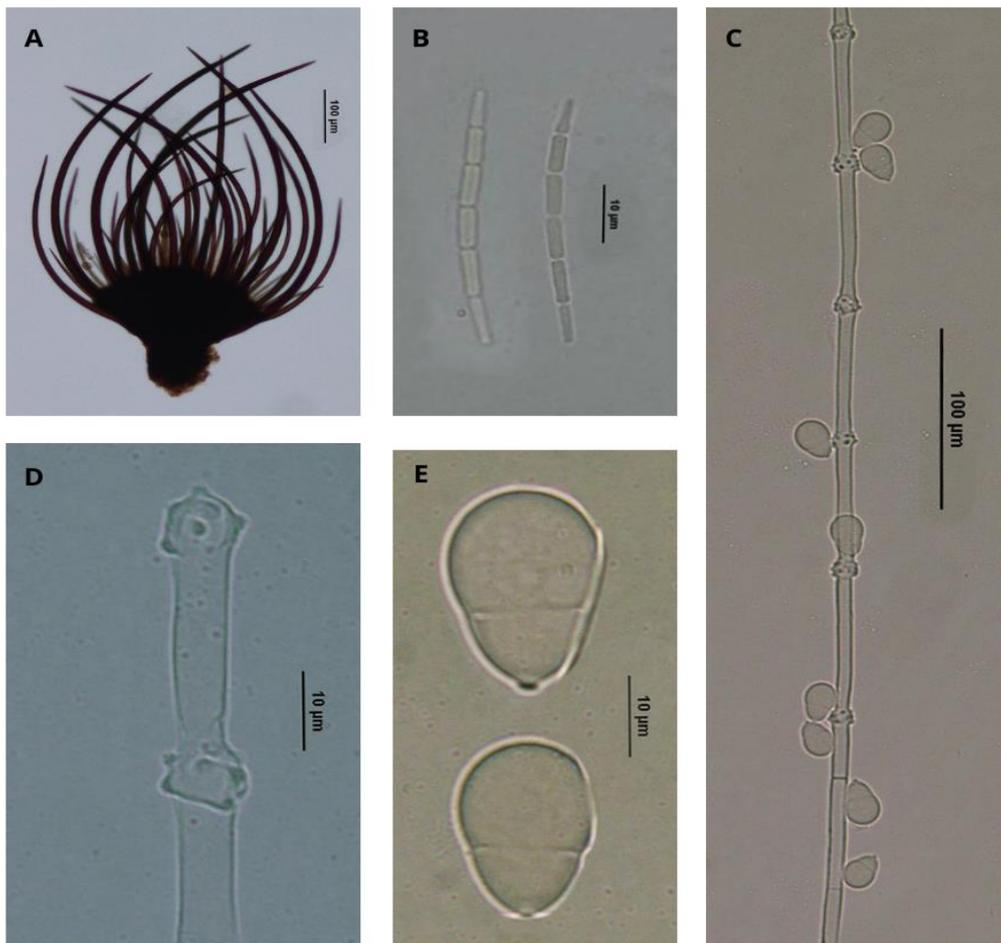
**Tabela 2.** Frequência de ocorrência (%) de fungos conidiais em folheto terrestre nas cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na FLONA de Carajás, Parauapebas (PA). Número de fragmentos analisados = n.

	Cavernas			
	S11D001 (n = 21)	N10002 (n = 21)	Gruta de N1 (n = 15)	Vale da Lua (n = 30)
<b><i>Incertae sedis</i></b>				
<i>Chalara</i> sp.				40
<i>Cryptophialoidea</i> sp.	28,57	14,28		
<i>Speiropsis</i> sp.				10
<i>Sporidesmium</i> sp.	100			
<i>Lauriomyces heliocephalus</i> V. Rao & de Hoog) RF Castañeda & WB Kendr.			100	
<i>Wiesneriomyces laurinus</i> (Tassi) PM kirk		28,57		
<b><i>Orbiliomycetes</i></b>				
<i>Arthrobotrys</i> sp.				10
<b><i>Sordariomycetes</i></b>				
<i>Beltraniella portoricensis</i> (F. Stevens) Piroz. & SD Patil	71,42			
<i>Beltraniella</i> sp.		42,85		40
<i>Beltrânia rhombica</i> Penz	85,71			
<i>Thozetella cubensis</i> RF Castañeda & GRW Arnold		28,57		100

<i>Thozetella</i> sp.		100		
<i>Thozetella</i> sp. nov.	100			
<i>Volutella buxi</i> (DC.) Berk. & Broome	100	100	60	80
<i>Coletotrichum</i> sp.	100			
<i>Trichoderma</i> sp.			20	40
<i>Kionochaeta</i> sp.	28,57			
<i>Volutella</i> sp.		100		
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	42,85		20	
<i>Circinotrichum olivaceum</i> (Speg.) Piroz.				20
Morfotipo 1				3,3
Morfotipo 2	4,76			
Morfotipo 3		4,76		

Fonte: A autora, (2023)

Figura 10. *Wiesneriomyces laurinus*. **A.** Aspecto geral do esporodóquio. **B** conídios septados. *Arthrobotrys* sp. **C.** Conidióforo e aglomerados de conídios. **D.** Célula conidiogênicas. **E** Conídios.



Fonte: A autora, (2023). SILVA, C. C. A.

A Tabela 3 fornece informações sobre a riqueza de espécies, ocorrência, dominância de Berger-Parker, diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) de fungos conidiais nas quatro cavernas estudadas na Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA), a saber, S11D001, N10002, Gruta de N1 e Vale da Lua.

A riqueza de espécies existentes nas cavernas variou entre 10 e 4. Além disso, a ocorrência de espécies também variou significativamente entre as cavernas, apresentando um coeficiente de variação maior que 50%, ou seja, mostrando grande dispersão dos valores em relação à média.

A dominância de Berger-Parker, que fornece informações sobre a abundância relativa de uma espécie em relação às outras, indica que há uma distribuição uniforme de indivíduos entre todas as espécies das cavernas.

Por fim, a equitabilidade de Pielou ( $J'$ ), que indicou que as espécies estão distribuídas, porém, são baixas em termos de abundância, entre as cavernas S11D001, N10002, Gruta de N1 e Vale da Lua, ou seja, não houve diferença significativa entre elas.

**Tabela 3.** Riqueza de Espécies, Ocorrência, Dominância de Berger-Parker, Diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e Equitabilidade de Pielou ( $J'$ ), aplicados às espécies de fungos conidiais nas cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA). Número de fragmentos analisados = n.

Índices Ecológicos	Cavernas			
	S11D001 (n = 21)	N10002 (n = 21)	Gruta de N1 (n = 15)	Vale da Lua (n = 30)
Riqueza	10	8	4	9
Ocorrência	139	88	30	103
Dominância (d)	0.1277	0.1919	0.36	0.185
Simpson (D)	0.8723	0.8081	0.64	0.815
Shannon ( $H'$ )	2.131	1.791	1.168	1.867
Equitabilidade ( $J'$ )	0.9255	0.8614	0.8427	0.8496

**Fonte:** A autora (2023).

De acordo com esses resultados, é notório observar que os fungos associados ao processo de decomposição de partes vegetais podem ser influenciados pelas condições do meio. Os fatores limitantes como mudanças

estacionais, pluviosidade e temperatura, podem ser relacionados com a ocorrência de fungos decompositores do folheto (TUBAKI, 1973).

Na tabela 4, foi observado que a temperatura externa durante a coleta esteve entre 25° a 27°C enquanto a interna variou entre 21° a 23°C, característica de zonas equatoriais onde há uma baixa variação de temperatura. A temperatura pode influenciar as atividades metabólicas fúngicas e a diversidade desse micro-organismo no meio ambiente (MARQUES; PASCHOLATI; MAIA, 2008; PAP; RANKOVIĆ; MAŠIREVIĆ, 2013). No entanto, neste estudo as temperaturas internas e externas mantiveram sem variações significativas, podendo não afetar a comunidade fúngica, porém, são necessárias mais visitas a FLONA de Carajás para analisar mais variáveis como temperatura do ar e do solo, índice pluviométrico, pH de possíveis lagos no entorno das cavernas.

**Tabela 4.** Temperatura do solo (°C) das cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA).

Cavernas	Temperatura externa	Temperatura interna	Diferença entre as temperaturas
S11D001	25	23	2
N10002	27	22	5
Gruta N1	27	22	5
Vale da lua	26	21	5

**Fonte:** A autora, (2023).

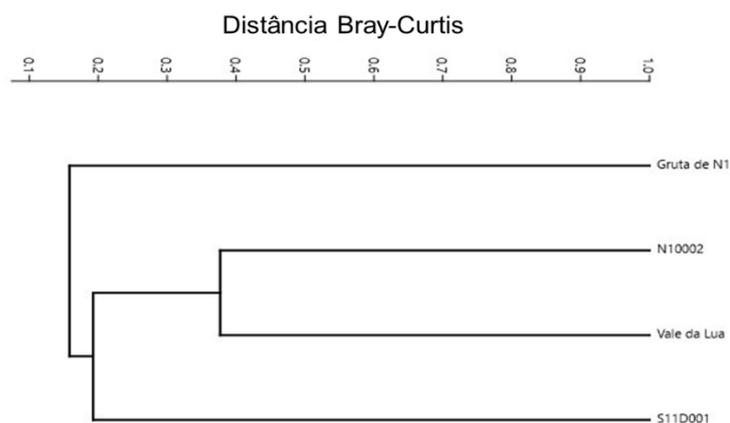
Alguns estudos demonstram a dominância de fungos conidiais nos substratos foliares em decomposição (MAIA, 1983; DIX; WEBSTER, 1995; PARUNGAO et al., 2002). O registro de 20 táxons e três morfotipos de fungos conidiais neste trabalho confirma que as cavernas do Pará dispõem de condições favoráveis para o desenvolvimento de fungos conidiais, destacando-se *Volutella buxi* e *Thozetella cubensis*. Os resultados obtidos nesta pesquisa são os primeiros dados sobre fungos conidiais associados à serapilheira em decomposição na região das cavernas S11D0001, Gruta de N1, Vale da Lua e N10002 da FLONA de Carajás.

Um estudo realizado por Monteiro *et al.* (2019), sobre os fungos conidiais sapróbios associados à serapilheira na Amazônia, no qual foram

identificadas 107 espécies de fungos e 79 a nível de gênero, mostra que *Beltrania rhombica* apareceu em todas as 100 amostras. Outro estudo sobre os fungos conidiais em *Euterpe oleracea* Mart. (açazeiro) na Ilha do Combu, Pará, mostrou um novo registro de *Beltraniella portoricensis* nas bainhas e folíolos do açazeiro (HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, 2012). Além disso, outra pesquisa realizada por Santos *et al.* (2018), sobre os fungos conidiais associados com o folheto de cedro vermelho (*Cedrela odorata*) em Belém, Pará, relatou que foram identificadas 104 espécies de fungos conidiais associados à serapilheira, entre as quais *Wiesneriomyces laurinus* estava presente nas 3 áreas de coletas (Área de Preservação Ambiental da Ilha do Combu, Jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves e Parque Zoobotânico do Museu Paraense Emílio Goeldi). Porém, nenhum desses estudos está relacionado aos fungos conidiais em ambientes próximos ou no entorno da caverna.

Os dados de uma coleta apenas não permitem que conclusões ecológicas complexas sejam tiradas, no entanto, o inventário taxonômico permite uma comparação da composição da comunidade de hifomicetos entre as cavernas estudadas. Esta comparação mostrou aproximadamente 40% de similaridade na composição das cavernas N10002 e Vale da Lua (Figura 11).

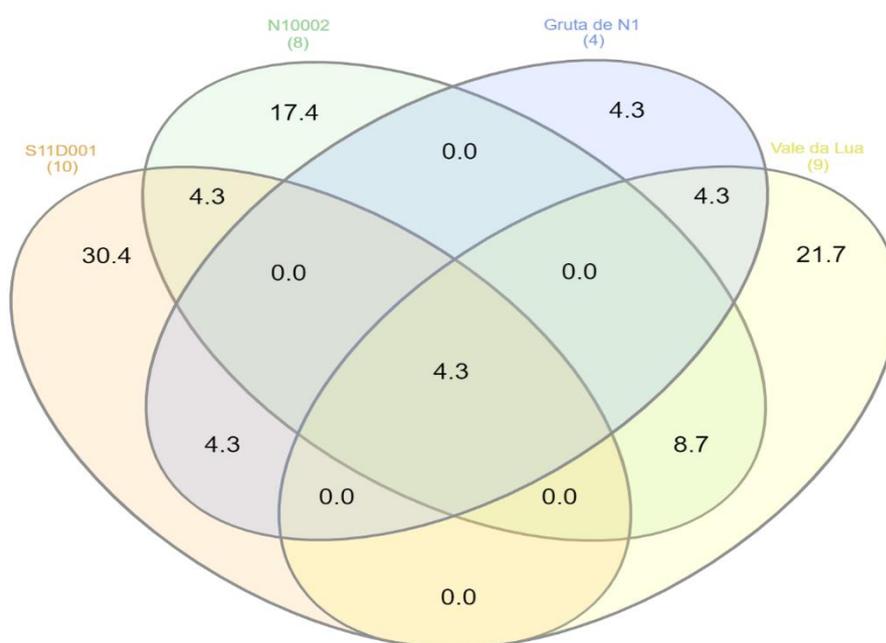
**Figura 11.** Dendrograma de similaridade das comunidades de hifomicetos de folheto baseado no índice de distância Bray-Curtis entre as cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua em Floresta Nacional de Carajás, Parauapebas (PA).



**Fonte:** A autora, (2023).

Com base na correlação cofenética do dendrograma, com valor de 0.981, podemos dizer que esta figura representa bem as similaridades originais entre as amostras que estão indicadas com maior detalhamento no diagrama de Venn (Figura 12).

**Figura 12.** Diagrama de Venn (%), com a riqueza de fungos conidiais em folheto terrestre nas cavernas S11D001, N1002, Gruta N1 e Vale da Lua na FLONA de Carajás, Parauapebas (PA).



**Fonte:** A autora, (2023).

Os estudos sobre a riqueza de fungos nas cavernas do Brasil estão associados aos morcegos. Cunha *et al.* (2020) realizou um estudo sobre cavernas de morcegos com foco na diversidade de fungos, no Parque Nacional do Catimbau, em que o gênero *Aspergillus* apresentou o maior número de táxons, seguido por *Penicillium*, *Cladosporium* e *Talaromyces*. Outro estudo realizado no Parque Nacional do Catimbau, por Carvalho *et al.* (2022), relatou

sobre os fungos ectoparasitas de morcegos em cavernas, no qual foram encontrados com maior frequência *Aspergillus penicillioides* e *Cladosporium subuliforme*.

Esses estudos são bastante importantes, pois revelam uma micobiota extremamente rica e até então desconhecida, que coloca as cavernas como *hotspots* de riqueza fúngica. Os resultados desses estudos relatam que há um micro-habitat desses fungos no ar, nos morcegos e do guano, podendo aparecer repetidamente em várias amostras da mesma coleta. Alguns fungos, como *Candida parapsilosis*, são compartilhados por várias espécies de morcegos; outros, como *Aspergillus westerdijkiae*, são exclusivos ou predominantemente encontrados em apenas uma espécie de morcego. Esses fungos podem ser encontrados nas asas dos morcegos, na cavidade oral ou no pelo dos animais (Cunha et al., 2020). Deste modo, há diversidade de microfungos em ambientes de caverna ou próximo a elas, entretanto, pouco se sabe dos hifomicetos de folheto terrestre encontrado nesses locais.

Por isso, faz-se necessária a realização de mais coletas em diferentes períodos do ano para obter um panorama completo da biodiversidade da região, coletando índices pluviométricos, dados de qualidade do solo e diversidade de folhas. Também é interessante observar como os ventos e chuvas fortes podem mudar a dinâmica de liberação de folhas no ambiente, podendo mudar a ocorrência de fungos nestes ambientes.

A escassez de estudos relacionados à riqueza e ocorrência de fungos conidiais dentro da caverna dificulta a comparação dos resultados, porém, o presente trabalho demonstra que há diversidade de fungos em serapilheira em ambientes no entorno e entrada da caverna.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou o primeiro registro de novas ocorrências dos fungos conidiais nas cavernas S11D0001, Gruta de N1, Vale da Lua e N10002, representando uma contribuição importante para o conhecimento dos fungos conidiais em áreas com formações florestais e cavernas da Amazonia.

O atual estudo mostra que há uma diversidade de fungos conidiais nas cavernas da FLONA de Carajás e que *Volutella buxi* e uma possível espécie nova de *Thozetella* são abundantes.

A composição da comunidade de fungos conidiais varia entre as cavernas, o que resulta em um índice de similaridade baixo entre elas.

Os resultados deste estudo são os primeiros para esta área e são promissores para o conhecimento da micobiota local., justificando mais esforços de coleta e aferição das variáveis abióticas para melhorar a compreensão da comunidade de fungos conidiais de serapilheira nas cavernas do Pará e seu papel nestes ecossistemas.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. Geomorfologia da Região de Carajás. In: Carajás: Desafio político, ecologia e desenvolvimento. ALMEIDA Jr., J.M.G. (Org.). São Paulo: Brasiliense, 1986. Cap. 5, p. 88-124
- AB'SABER, A. N. 1977. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. Geomorfologia. 1977, 53, pp. 1-23
- ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W.; BLACKWELL, M. Introductory Mycology. 4 ed. New York: John Wiley, Sons. 869 p., 1996.
- ATHAYDE, M. Citotoxicidade e atividade antimicrobiana de extratos de duas cepas do fungo *Pycnoporus sanguineus* oriundas da Amazônia. 2011. 51f. Tese(Doutorado em Odontologia na área de Farmacologia, Anestesiologia e Terapêutica) — Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas.Piracicaba
- ATHAYDE, M. Citotoxicidade e atividade antimicrobiana de extratos de duas cepas do fungo *Pycnoporus sanguineus* oriundas da Amazônia. 2011. 51f. Tese(Doutorado em Odontologia na área de Farmacologia, Anestesiologia e Terapêutica) — Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas.Piracicaba
- BARBOSA, F.F. & GUSMÃO, L.F.P. Two Speiropsis species (Anamorphic FungiHyphomycetes) from Bahia State, Brazil. Acta Botanica Brasilica v. 19, n. 3, p. 515-518, 2005.
- BARBOSA, F.F. Fungos anamórficos (Hyphomycetes) no Semi-árido do Estado da Bahia, Brasil. Acta Botanica Brasilica v. 22, n. 1, p. 29-36, 2008.
- BARBOSA, F.R. Fungos conidiais associados a folhas em decomposição de *Clusia melchiori* Gleason e *C. nemorosa* G. Mey em fragmentos de Mata Atlântica, Bahia, Brasil. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco- Recife, 2007. 120 p.
- BARBOSA, F.R.; GUSMÃO, L.F.P. & BARBOSA, F.F. Thozetella species (Anamorphic Fungi- Hyphomycetes) from Semi-arid of Bahia state, Brazil. Sitientibus Série Ciências Biológicas v. 7, n. 2, p. 184-187, 2007a.

BARBOSA, F.R.; GUSMÃO, L.F.P.; CASTAÑEDA RUÍZ, R.F., MARQUES, M.F.O. & MAIA, L.C. Conidial fungi from the semi-arid Caatinga biome of Brazil. New species *Deightoniella rugosa* & *Diplocladiella cornitumida* with new records for the neotropics. *Mycotaxon* v. 102, p. 39-50. 2007b.

BARTON HA, Jurado V. \_ 2007 . O que há lá embaixo? Diversidade microbiana em cavernas . *Micróbio* 2: 132 – 138

BATISTA, A.C. et al. Moniliales– descrição e revisão de algumas espécies. *Atas do Instituto de Micologia. Universidade de Pernambuco, Recife, v.1, p.247-274, 1960.*

BATISTA, A.C.; FALCÃO, R.G.S.; PERES, G.E.P. & MOURA, N.F. Fungi Paraenses. *Publicação do Instituto de Micologia- Universidade Federal de Pernambuco v. 506, p. 1- 290, 1966.*

BRASIL, Decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1o, 2o, 3o, 4o e 5o e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. *Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 10 nov. 2008.*

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 02, de 20 de agosto de 2009. Regulamentação do decreto nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. *Diário Oficial {da} República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 20 ago. 2009.*

CAMPOS, J. F.; CASTILHO, A. F. Uma visão geográfica da região da Flona de Carajás. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens, p. 16-27, 2012.*

CAMPOS, J. F.; CASTILHO, A. F. Uma visão geográfica da região da Flona de Carajás. *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens, p. 16-27, 2012.*

CAMPOS, J.F. & CASTILHO, A.F. 2012. Uma visão geográfica da região da Flona de Carajás. P. 16-27, In: MARTINS et al. (Orgs.) *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres. São Paulo: Nitro Imagens. Cap. 2, p. 28-65.*

CARVALHO, JLVR, Lima, JMS, Barbier, E. *et al.* Ticket to ride: fungos de ectoparasitas de morcegos em uma caverna tropical e a descrição de duas novas espécies. *Braz J Microbiol* 53 , 2077–2091 (2022). <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s42770-022-00841-y>

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de et al. Minério de ferro. BNDS – Biblioteca Digital. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2014.

CRUZ, A.C.R., HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. & GUSMÃO, L.F.P. 2008. O gênero *Exserticlava* (fungo anamorfo – Hyphomycetes) no Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 31:357-361.

DIX, N. J.; WEBSTER, J. *Fungal ecology.* Springer, Dordrecht, 1995

ESPIG, S. A. et al. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de Mata Atlântica. R. Árvore, Viçosa-MG, v.33, n. 5, p. 949-956, 2009.

FARR, M.L. 1980. A new species of Cryptophiale from Amazonas. Mycotaxon 11:177-181.

FARR, M.L. 1986. Amazonian foliicolous fungi II. Deuteromycotina. Mycologia 78:269-286.

FREE, S.J. Fungal cell wall organization and biosynthesis. Advances in Genetics, v. 81, p.34-71, 2013

GARBIN, V. Análise da atividade antimicrobiana dos extratos dos frutos, óleos das sementes e fungos isolados da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius 1824). 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia, Patologia e Parasitologia)— Departamento de Patologia Básica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GARBIN, V. Análise da atividade antimicrobiana dos extratos dos frutos, óleos das sementes e fungos isolados da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius 1824). 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia, Patologia e Parasitologia)— Departamento de Patologia Básica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GIANNINI, Tereza Cristina et al. Parcelas E Transectos Delimitados E Escolha Dos Alvos Da Biodiversidade Que Serão Inventariados. 2020.

GROTEHUISJT, Smit M, Plugge CM, Xu YS, van Lammeren AA, Stams AJ, Zehnder AJ. 1991. Composição e estrutura bacteriológica de lamas granulares adaptadas a diferentes substratos. Appl Environ Microbiol 57: 1942 – 1949

GUSMÃO, L.F.P.; MAIA, L.C. Diversidade e caracterização dos fungos do Semiárido brasileiro. v. 2. Recife: Associação das Plantas do Nordeste (Instituto do Milênio do Semi-árido), 2006.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Palaeontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, v. 4, n. 1, 2001.

HAWKSWORTH, D. L.; LÜCKING, R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. The Fungal Kingdom, p. 79-95, 2017.

HEBERLE, H.; Meirelles, GV; da Silva, FR; Telles, GP; Minghim, R. **InteractiVenn: uma ferramenta baseada na web para análise de conjuntos por meio de diagramas de Venn**. BMC Bioinformática 16:169 (2015).

HEILMANN-CLAUSEN, J., BARRON, E. S., BODDY, L., DAHLBERG, A., GRIFFITH, G. W., NORDÉN, J., ... & HALME, P. A fungal perspective on conservation biology. Conservation biology, v. 29, n. 1, p. 61-68, 2015.  
HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A., MONTEIRO, J.S. & SOTÃO, H.M.P. 2009. Hifomicetos (fungos anamorfos) associados a palmeiras na Floresta Nacional

de Caxiuanã, PA, Brasil. In Caxiuanã: desafios para a conservação de uma floresta nacional na Amazônia (P. Lisboa, ed.)

IBAMA. 2003. Plano de Manejo de uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás. [ed.] STCP Engenharia e Projetos Ltda. [Plano de Manejo]. Brasília : s.n., 2003.

ICMBio. 2015. CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Base de Dados Geoespacializados das Cavernas do Brasil. 2015. Disponível <[http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id\\_menu=228](http://www4.icmbio.gov.br/cecav/index.php?id_menu=228)>.

KIRK P.M; CANNON P.F; MINTER, D.W; STALPERS, J.A.. Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi. 10th ed. Wallingford, CAB International. 2008.

KIRK, P. M. et al. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. CABI publishing, 2008.

KIRK, P. M., CANNON, P.F., DAVID, J.C., STALPERS, J.A.. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the fungi, 9th ed. CABI, Wallingford, 2001.

KIRK, P.M.; STALPERS, J.A.; BRAUN, U.; CROUS, P.W.; HANSEN, K. et al . A without-prejudice list of generic names of fungi for protection under the International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants. IMA Fungus, v.4, p.381–443, 2013.

LIMA, A.M. et al. Effects of culture filtrates of endophytic fungi obtained from *Piper aduncum* L. on the growth of *Mycobacterium tuberculosis*. Electronic Journal of Biotechnology, v. 14, n. 4, p. 1-6, 2011.

LIMA, A.M. et al. **Effects of culture filtrates of endophytic fungi obtained from *Piper aduncum* L. on the growth of *Mycobacterium tuberculosis***. Electronic Journal of Biotechnology, v. 14, n. 4, p. 1-6, 2011.

MACAMBIRA, J.B. O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará. Tese (Doutorado em Ciências, área de Metalogênese) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 242 f., 2003.

MADEIRA, J.A. et al. Geossistemas ferruginosos e áreas protegidas. In: CARMO, F.F. e KAMINO, L.H.Y. (Orgs.). Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 19, p. 521-545.

MATSUSHIMA, T. Icones Microfungorum a Matsushima Lectorum. Publicado pelo autor, Kobe, 1975.

MATSUSHIMA, T. Matsushima Mycological Memoirs n. 4. Published by the author. Kobe, 1985.

MATSUSHIMA, T. Matsushima Mycological Memoirs n.7. Published by the author. Kobe, 1993.

MATSUSHIMA, T. Microfungi of the Solomon Islands and Papua-New Guinea. Publicado pelo autor. Kobe, 1971.

MAURITY, Clóvis Wagner; KOTSCHOUBEY, Basile. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1-Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra, v. 7, p. 331-362, 1995

MIRANDA, R.A.C., Oliveira, M.V.S., Silva, D.F., 2010. Ciclo hidrográfico planetário: abordagens e conceitos. Geo Uerj 1, 109-119.

MOHNWW, Tiedje JM. 1992. Desalogenação redutora microbiana. Microbiol Rev 56: 482 – 507

MOTA, N.F.O. et al. Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. In: CARMO e KAMINO. (Orgs.). Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. Cap. 10, p. 289-315.

MUELLER, G.M.; BILLS, G.F.; FOSTER, M.S (Eds). Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 777p, 2004.

PFENNING, L.H. Mikroskopische bodenpilze des ostamazonischen regenwaldes (Brasilien). Tese de Doutorado. Universität Tuebingen (Eberhard-Karls), Tuebingen, Alemanha, 1993.

PILÓ, L.B. & AULER, A.S. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da Região de Carajás, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, n. 30., 2009, Montes Claros. Montes Claros: Sociedade Brasileira de Espeleologia, p. 181-186.

PONTES, Paulo RM et al. The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. Journal of environmental management, v. 235, p. 489-499, 2019.

PORTO, M. & SILVA, M.F.F. 1989. Tipos de Vegetação Metalófila da Área da Serra dos Carajás e Minas Gerais. Acta Botânica Brasílica, 3(2):13-21.

ROSSMAN, A.Y. Biodiversity of Tropical Microfungi: An overview. In Biodiversity of Tropical Microfungi (K.D. Hyde Ed.). Hong Kong University Press, Hong Kong, p.1-10, 1997

SANTOS, B.A. Recursos minerais. In: ALMEIDA JR, J.M.G. (Org.). Carajás: Desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense, 1986. p. 294-361

SANTOS, J.L.R. Território em transe: a Floresta Nacional de Carajás. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., Florianópolis, 2010. Florianópolis: ANPPAS. Disponível em: . Acesso em: 10 fev. 2016

- SANTOS, L; et al. **Potencial herbicida da biomassa e de substâncias químicas produzidas pelo fungo endofítico *Pestalotiopsis guepinii***. *Planta Daninha*, v. 26, n. 3, p. 539-548, 2008.
- SCHAEFER, Carlos EGR et al. The physical environment of rupestrian grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: geological, geomorphological and pedological characteristics, and interplays. In: *Ecology and Conservation of mountaintop grasslands in Brazil*. Springer, 2016.
- SCHEER, M. B. Decomposição e Liberação de Nutrientes da Serapilheira Foliar em um Trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em Regeneração, Guaraqueçaba (PR), *Floresta*, n. 38, v. 2, p. 253-266, 2008
- SEIFERT K, MORGAN-JONES G, GAMS W, KENDRICK B. The Genera of Hyphomycetes. CBS Biodiversity Series no. 9: 1–997. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, Netherlands, 2011.
- SIQUEIRA, A.L.L., 2001. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica, in: Tucci, C.E.M. (Org.), *Hidrologia: ciência e aplicação*. EDUSP, São Paulo, pp. 35- 51.
- SIQUEIRA, D. Bioprospecção de fungos amazônicos com atividade antifúngica frente aos fitopatógenos de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). 2011. 73f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) — Escola Superior de Ciências da Saúde, Universidade do Estado do Amazonas.
- SIQUEIRA, D. **Bioprospecção de fungos amazônicos com atividade antifúngica frente aos fitopatógenos de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke)**. 2011. 73f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) — Escola Superior de Ciências da Saúde, Universidade do Estado do Amazonas.
- SIQUEIRA, G.W., Aprile, F., Migueis, A.M., 2012. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará - Brasil). *Acta Amazônica* 42, 413-422.
- SIQUEIRA, J.O. et al. *Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Distrito Federal: EMBRAPA, 1994
- VITAL, A.R.T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária, *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 28, n.6, nov./dez. 2004.