

Caves of the Potiguar Karst: the role of mycological studies in management plans

Rafaela Lira (1), Joenny Lima (2), Vitória Alves (2), Thamyres Santos (2), Mayara Pereira (2), Éder Barbier (3), Jadson Diogo Pereira Bezerra (4), Cristina Maria de Souza-Motta (2)

(1) Departamento de Micologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, rafaela.alveslira@ufpe.br

(2) Departamento de Micologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

(3) Laboratório de Ciência Aplicada à Conservação da Biodiversidade, Departamento de Zoologia, Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

(4) Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, Universidade Federal de Goiás, Goiás, Brasil

Resumo

Este trabalho investiga a biodiversidade micológica em cavernas do Carste Potiguar, situado no estado do Rio Grande do Norte, região semiárida do Nordeste do Brasil. Foram analisadas três cavernas: Catedral, Crotes e Furna Nova, com foco na importância da pesquisa para a conservação e segurança dos ecossistemas subterrâneos. A coleta de amostras de ar e sedimentos/guano resultou na identificação de gêneros fúngicos como *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Microascus*, *Penicillium*, entre outros, sendo alguns desses fungos com potencial patogênico, especialmente para indivíduos imunocomprometidos. Os resultados obtidos foram incorporados a planos de manejo, como o da Caverna Furna Nova/Plano de Manejo Espeleológico - Portaria ICMBio N° 1074 e da Caverna dos Crotes/Licença Simplificada - N° 2023-197885/TEC/LS-0317. Embora as cavernas abrigam fungos oportunistas, a visitação pode ser realizada com segurança, desde que sejam seguidas as diretrizes de manejo adequadas. O estudo reforça a necessidade de monitoramento constante para proteger tanto a saúde humana quanto a biodiversidade e as formações geológicas desses ecossistemas frágeis, garantindo a conservação do patrimônio natural subterrâneo.

Abstract

This study investigates the fungal biodiversity in caves of the Potiguar Karst, located in the state of Rio Grande do Norte, in the semi-arid region of northeastern Brazil. Three caves were analyzed: Catedral, Crotes, and Furna Nova, with an emphasis on the importance of research for the conservation and safety of subterranean ecosystems. Air and sediment/guano samples were collected, resulting in the identification of fungal genera such as *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Microascus*, *Penicillium*, among others, some of which are potentially pathogenic, especially to immunocompromised individuals. The results were incorporated into management plans, such as the Furna Nova Cave/Espeleological Management Plan - ICMBio Ordinance No. 1074 and Crotes Cave/Simplified License - No. 2023-197885/TEC/LS-0317. Although the caves harbor opportunistic fungi, visitation can occur safely if proper management guidelines are followed. The study emphasizes the need for constant monitoring to protect both human health and biodiversity, as well as the geological formations of these fragile ecosystems, ensuring the conservation of subterranean natural heritage.

1. Introdução

O estado do Rio Grande do Norte, com 1.362 cavernas registradas até o momento, é a quarta maior região de cavernas do Brasil (ICMBIO, 2022). As cavernas do Carste Potiguar são formadas principalmente pelos calcários do grupo Apodi e pela formação Jandaíra, constituindo um importante patrimônio natural devido aos processos de dissolução das rochas calcárias (CRUZ et al., 2010). Ecologicamente, esses ambientes cavernícolas abrigam uma rica biodiversidade, com espécies de fauna e flora adaptadas (OGÓREK et al., 2013), além de formarem paisagens fascinantes, com espeleotemas, rios subterrâneos, fósseis e pinturas rupestres (NOVÁKOVÁ et al., 2012). Tais características não só despertam interesse científico, mas também têm grande importância econômica, especialmente no espeleoturismo, que gera fontes de renda para muitas comunidades locais (TRAJANO et al., 2024).

No entanto, as cavidades naturais são ecossistemas extremamente frágeis, e qualquer alteração ambiental pode comprometer sua biodiversidade e suas formações geológicas (TRAJANO et al., 2024). Por isso, um manejo adequado é essencial para garantir a conservação desses

ambientes. O manejo eficaz envolve monitoramento constante das cavernas, limitação do acesso de visitantes, controle sobre as atividades desenvolvidas, educação ambiental para a comunidade local e a criação de áreas protegidas, como monumentos naturais, parques ou reservas (ICMBIO, 2021).

O estudo micológico em cavernas é crucial para entender a biodiversidade desses ecossistemas e suas interações ecológicas. Os fungos desempenham papéis essenciais, como decompositores de matéria orgânica, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, o biointemperismo de rochas e minerais, além de servirem como alimento para outros organismos (SOCIETY OF MYCOLOGICAL SCIENCES, 2023). No entanto, alguns fungos, como espécies dos gêneros *Aspergillus*, *Candida* e *Histoplasma*, possuem potencial patogênico para os seres humanos, sendo frequentemente encontrados em ambientes subterrâneos, especialmente em locais com presença de morcegos (VANDERWOLF et al., 2013; CUNHA et al., 2020; LIMA et al., 2024). Nesse contexto, estudos micológicos em cavernas não só são fundamentais para compreender a biodiversidade

local, mas também para a saúde pública, pois auxiliam na avaliação de riscos associados à visitação e contribuem para o desenvolvimento de medidas de segurança e protocolos de manejo adequados. O objetivo deste estudo é discutir a relevância dos estudos micológicos na identificação de fungos patogênicos nas cavernas do Carste Potiguar e a

importância da incorporação dessas informações nos planos de manejo, especialmente para garantir práticas seguras no turismo espeleológico. A pesquisa visa ressaltar os cuidados necessários para o acesso seguro a essas cavernas, a fim de proteger tanto os visitantes quanto a integridade dos ecossistemas cavernícolas.

2. Materiais e Métodos

Três cavernas localizadas no estado do Rio Grande do Norte, no Carste Potiguar, foram selecionadas para realização de um levantamento micológico e observação da ocorrência de fungos patogênicos. A caverna dos Crotes (05° 33' 37,92" S; 37° 39' 30,89" W), e a caverna Catedral (05° 33' 50,49" S; 37° 39' 57,37" W) estão situadas na zona rural do município de Felipe Guerra, enquanto a caverna Furna Nova (5° 2' 3" S, 37° 34' 16" W) está localizada no Parque Nacional de Furna Feia, no município de Baraúna (Fig. 1). Todas as cavernas estão localizadas na região semiárida do Bioma Caatinga. As coletas de amostras do ar, sedimento/guano foram realizadas entre agosto de 2019 e março de 2020.

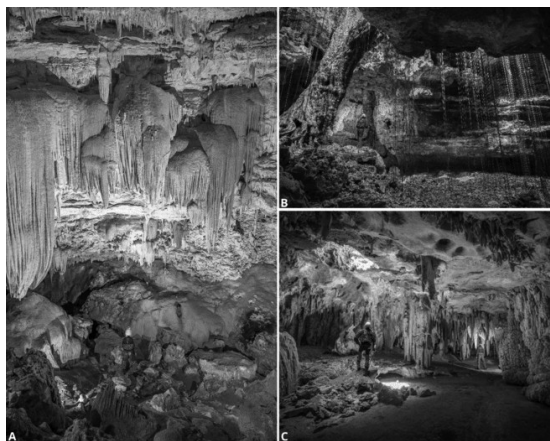


Figura 1: A - Caverna Furna Nova; B - Caverna dos Crotes; C - Caverna Catedral. Foto: Diego Bento.

Os pontos coletados foram distribuídos de acordo com as áreas de importante acesso aos turistas e com diferentes condições ambientais. Resumidamente, para a coleta dos fungos do ar, placas de Petri 90mm, contendo meio de cultura Ágar Sabouraud (SAB), foram abertas por 20 minutos a 1 m do chão, sobre suportes de PVC (CUNHA et al., 2020). Após a exposição, foram transportadas para o laboratório e incubadas

a 25°C por até 14 dias no escuro. Posteriormente foram contabilizadas as Unidades Formadoras de Colônias (UFC) e purificadas para análises posteriores.

A amostragem de sedimento foi realizada em triplicata, com cerca de 10g coletadas de cada ponto do ambiente cavernícola, sendo acondicionadas em recipientes esterilizados para processamento em laboratório. O isolamento fúngico foi realizado por meio de diluições seriadas até 10⁻⁴, onde 1g de sedimento foi suspenso em 9mL de água destilada esterilizada. A partir dessa suspensão, foi feito o plaqueamento direto nas superfícies de placas de Petri de 90mm, contendo meio de cultura SAB e Ágar Brain Heart Infusion (BHI). As placas foram incubadas a 25°C, por até 14 dias no escuro para crescimento de colônias. Após o período de incubação, o número de UFCs por grama foi calculado com base na média das réplicas, e as colônias foram purificadas (OGOREK et al., 2016).

Para identificação das espécies, foram realizadas análises morfológicas com base em características macroscópicas e microscópicas de acordo com literatura taxonômica especializada. Posteriormente, análises moleculares foram realizadas por meio da extração de DNA fúngico utilizando o Kit de extração de DNA Genômico da Promega (Wizard Genomic DNA Purification Kit). As regiões alvo foram amplificadas por PCR utilizando primers específicos conforme os gêneros e as recomendações da literatura. Os produtos de PCR foram purificados com as enzimas EXO+SAP e sequenciados na Plataforma Multiusuária de Sequenciamento de DNA do Centro de Biociências/UFPE.

Para a filogenia, as sequências de DNA foram editadas e comparadas com dados do GenBank. As análises filogenéticas utilizaram sequências do GenBank e do presente estudo, com base em artigos taxonômicos específicos para cada gênero.

Após identificação, os táxons encontrados nas cavernas Catedral, Crotes e Furna Nova foram listados e comparados com o Atlas of Clinical fungi, bem como com outras fontes, incluindo artigos científicos e catálogos de espécies de risco (DE HOOG et al., 2020; BRASIL et al., 2022; THAMBUGALA et al., 2024). Com base nessa análise, foi elaborada uma lista de inventário, e os dados foram fornecidos para os órgãos competentes para elaboração dos respectivos planos de manejo.

3. Resultados

As análises revelaram variações no número de táxons entre as três cavernas estudadas. Na Caverna dos Crotes, foram identificadas cerca de 15 espécies, pertencentes a pelo menos 10 gêneros. Na caverna Catedral, foram encontradas pelo menos 35 espécies, distribuídas em 15 gêneros. Por fim, na caverna da Furna Nova, catalogaram-se 16 espécies pertencentes a 10 gêneros. Todas incluindo as amostras de fungos do ar e sedimento/guano. A lista com os dados de todas as espécies/gêneros de fungos relatados em cada caverna se encontram nos Planos de Manejo

da Caverna Furna Nova/Plano de Manejo Espeleológico - Portaria ICBio N° 1074, da Caverna dos Crotes/Licença Simplificada - N° 2023-197885/TEC/LS-0317 e da Caverna Catedral. Estes são os primeiros Planos de Manejo do Nordeste que contém informações sobre fungos.

Após as análises e comparativos, cerca de oito espécies isoladas e identificadas nas cavidades estudadas apresentam alguma patogenicidade ao homem (Fig. 2).

Fungos	Cavernas	Referências
<i>Aspergillus niger</i>	Catedral / Crotas / Furna Nova	Gniadek et al. (2017)
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Crotas	Gniadek et al. (2017)
<i>Aspergillus sydowii</i>	Catedral	Nagashima et al. (2023)
<i>Aspergillus tamarii</i>	Catedral	Homa et al. (2019)
<i>Cladosporium tenuissimum</i>	Catedral / Furna Nova	Nasiri-Jahrodi et al. (2023)
<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	Furna Nova	Thambugala et al. (2024)
<i>Microascus trigonosporus</i>	Catedral	Schoeppler et al. (2015)
<i>Penicillium citrinum</i>	Catedral / Crotas	HC Nguyen (2023)

Figura 2: Espécies relatadas como patogênicas na literatura encontradas nas cavernas Catedral, Crotas e Furna Nova.

4. Discussão

A identificação e o monitoramento dos fungos presentes em cavernas têm se mostrado fundamentais para garantir a segurança de seus visitantes e para a conservação dos ecossistemas subterrâneos. No Carste Potiguar, o estudo de fungos isolados do ar e de sedimentos/guano das cavernas revelou a predominância de gêneros do filo Ascomycota, como *Alternaria*, *Aspergillus* e *Penicillium*. As espécies pertencentes a esses grupos são conhecidas por sua grande capacidade de adaptação, o que facilita sua colonização em ambientes cavernícolas (CUNHA et al., 202; ALVES et al., 2022; LIMA et al., 2024). O gênero *Aspergillus*, em particular, foi identificado em todas as cavernas estudadas, sendo a espécie *Aspergillus niger* comum entre elas. Esses fungos são reconhecidos pela sua capacidade de adaptação. Vários desses gêneros incluem espécies com potencial patogênico, como *Aspergillus sydowii*, *A. tamarii*, *A. ochraceus* e *Penicillium citrinum*, isoladas nesse estudo (VANDERWOLF et al., 2013), as quais são responsáveis por infecções pulmonares, aspergilose e doenças cutâneas, principalmente em indivíduos imunocomprometidos (GNIADÉK et al., 2017; HOMA et al., 2019; NAGASHIMA et al., 2023). Outras espécies, como *Cladosporium tenuissimum* e *Meyerozyma guilliermondii*, também foram relatadas como causadoras de doenças, podendo induzir sinusite fúngica e micoses oportunistas (NASIRI-JAHRODI et al., 2023; THAMBUGALA et al., 2024).

A distribuição dos esporos fúngicos no ar e seu potencial patogênico podem variar conforme a região geográfica, condições climáticas e ambientais. Estudos realizados no Brasil identificaram os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Curvularia* e *Fusarium* como os mais prevalentes no ar atmosférico (SUEHARA et al., 2023). Tais gêneros foram isolados nas cavernas estudadas, assim como todos possuem espécies com potencial patogênico para humanos, o que destaca a relevância dos estudos micológicos para a segurança dos visitantes das cavernas (VANDERWOLF et al., 2013; MARIN-FELIX et al. 2017a, b; LIMA et al., 2024).

Os fungos identificados no estudo, são comumente encontrados

em outros ambientes, e para desenvolverem doenças precisam de outros fatores para a sua manifestação (VANDERWOLF et al., 2013). Determinando dessa maneira que, não foram encontrados fungos verdadeiramente patogênicos, mas sim fungos oportunistas que necessitam da fragilidade imunológica para ocasionar uma doença (HOMA et al., 2019; NAGASHIMA et al., 2023). Essa descoberta ressalta a importância de adotar medidas preventivas no turismo espeleológico, como a implementação de práticas de segurança como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). É de extrema importância que os turistas e guias sigam protocolos específicos, como o uso de roupas e calçados fechados, capacetes e máscaras, além de evitar o contato com o guano de morcegos ou áreas onde a concentração de esporos possa ser maior, como sob colônias de morcegos (ICMBio, 2023).

Integrar os dados micológicos nos planos de manejo das cavernas torna-se essencial para a gestão sustentável desses ecossistemas e para a mitigação dos riscos à saúde pública. Com a inclusão dessas informações nos planos, é possível adotar estratégias de monitoramento contínuo, controle de acessos e aplicação de medidas de prevenção, garantindo que o turismo nas cavernas seja seguro para os visitantes e minimizando o impacto sobre a biodiversidade.

Os resultados obtidos sobre os fungos encontrados nas cavernas Catedral, Crotas e Furna Nova foram incorporados a planos de manejo, como da Caverna Furna Nova/Plano de Manejo Espeleológico - Portaria ICMBio N° 1074 e Caverna dos Crotas/Licença Simplificada - N° 2023-197885/TEC/LS-0317. Orientações básicas de visita das cavernas garantem que a experiência seja segura e tranquila para visitantes e guias. Nesse contexto, é evidente a importância do monitoramento de espécies fúngicas oportunistas, uma vez que a compreensão dos riscos envolvidos na exposição a esses organismos é crucial para a segurança da saúde humana. Além disso, esse estudo contribui para o avanço do conhecimento da microbiota cavernícola e auxilia na conservação do ecossistema subterrâneo.

5. Conclusão

O estudo micológico em cavernas é essencial para a conservação da biodiversidade e para o desenvolvimento de planos de manejo eficazes. No Nordeste, o primeiro plano de manejo contendo informações sobre fungos foi o da Caverna Furna Nova/Plano de Manejo Espeleológico - Portaria ICMBio N° 1074. O conhecimento da microbiota de cavernas permite a identificação de fungos potencialmente patogênicos, ga-

rantindo assim, uma visita turística mais segura nesses ambientes. As cavernas do Carste Potiguar, como Furna Nova, Catedral e Crotas, possuem grande relevância ecológica e científica. A implementação dos Planos de Manejo também visa reduzir a exploração desordenada, preservar a vegetação nativa e fomentar a pesquisa científica, promovendo a educação ambiental e o turismo consciente.

Agradecimentos

Agradecemos aos Termos de Compromisso de Compensação Espeleológico (TCCE)/ ICMBio/Vale: 01/2018, 01/2022 Subprojeto 25.9 e 01/2023-subprojeto 19, com a gestão de recursos pelo Instituto Brasileiro

de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS), assim como ao CNPq Processos N° 408788/2021-6 e N° 311187/2022-6, pelo suporte essencial à realização do presente estudo.

Referências

- ALVES V.C.S. et al. (2022) Unravelling the fungal darkness in a tropical cave: richness and the description of one new genus and six new species. *Fungal Systematics and Evolution* 10: 139–167.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS – ICM-BIO/CECAV. Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro 2020. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/ceav/images/stories/downloads/Anuario/CECAV_-_Anuario_estatistico_espeleol%C3%B3gico_2020.pdf. Acesso em: 08 de fevereiro de 2025.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS – ICM-BIO/CECAV. Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/anuario-estatistico-do-patrimonio-espeleologico-brasileiro/ceav-anuario-estatistico-espeleologico-2022.pdf>. Acesso em 09 de fevereiro de 2025
- CRUZ, J.B.; BENTO, D. M.; BEZERRA, F. H. R.; FREITAS, J. I.; CAMPOS, U. P., SANTOS, D. J. Diagnóstico Espeleológico do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Espeleologia*, [s.l.], v. 1, p. 1-24, 2010.
- CUNHA A.O.B. et al. (2020) Living in the dark: Bat caves as hotspots of fungal diversity. *PLoS ONE* 15(12): e0243494.
- DA SILVA, M. B. S. M. C. P (2020). Prevalência de fungos anemófilos no Brasil e a correlação com doenças respiratórias e infecções fúngicas (A. A.M da S. Romeu Gomes, Ed). oi:10.1590/1413-812320232811.08302022
- DE HOOG, G. S.; GUARRO, J.; GENÉ, J.; AHMED, S.; AL-HATMI, A. M. S.; FIGUERAS, M. J.; VITALE, R.G. Atlas of clinical fungi: the ultimate bench tool for diagnostics. 4. ed. Hilversum: Westerdijk Institute, 2020.
- GNIADÉK et al. 2017 Occurrence of fungi and cytotoxicity of the species: *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* isolated from the air of hospital wards. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 2017;30(2):231–239. doi.org/10.13075/ijomeh.1896.0084.
- HOMA et al. Characterization of *Aspergillus tamarii* Strains From Human Keratomycoses: Molecular Identification, Antifungal Susceptibility Patterns and Cyclopiazonic Acid Producing Abilities. *Frente. Microbiol.* 08 de outubro de 2019. Seg.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Introdução às práticas de conservação e recuperação ambiental em cavernas turísticas / Luciana Alt e Vítor Moura. – Brasília, DF: Editora IABS, 2023. 146 p. ; Il. Color.
- LIMA J.M.S. et al. (2024) *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Talaromyces* (Eurotiales) in Brazilian caves, with the description of four new species. *Fungal Systematics and Evolution* 14:89–107.
- MARIN-FELIX Y, GROENEWALD JZ, CAI L, CHEN Q. et al. 2017 – Genera of phytopathogenic fungi: *GOPHY* 1. *Studies in Mycology* 86, 99–216. Doi: 10.1016/j.simyco.2017.04.002.
- MARIN-FELIX Y, SENWANNA C, CHEEWANGKOON R. et al (2017b). New species and records of *Bipolaris* and *Curvularia* from Thailand. *Mycosphere* 8:1556–1574. Doi: 10.5943/micosfera/8/9/11.
- NAGASHIMA, Akimichi et al. Uncommon Occurrence of Pulmonary Aspergillosis Caused by *Aspergillus sydowii*: A Case Report. *Cureus*, v. 15, n. 12, 2023.
- NASIRI-JAHRODI, Abozar; SHEIKHOLESLAMI, Fatemeh-Maryam; BARATI, Mehdi. *Cladosporium tenuissimum*-induced sinusitis in a woman with immune-deficiency disorder. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 54, n. 2, p. 637–643, 2023.
- NOVÁKOVÁ, A., HUBKA, V., SAIZ-JIMENEZ, C., KOLARIK, M. 2012. *Aspergillus baeticus* sp. nov. and *Aspergillus thesauricus* sp. nov., two species in section *Usti* from Spanish caves. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 62: 2778–2785.
- OGOREK, R. DYLA, M. KOZAK, B. VISNOVSKA, Z. TANCINOVA, D. AND LEJMAN, A. (2016). Fungi isolated and quantified from bat guano and air in Harmanec’ and Driny Caves (Slovakia). *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 78, no. 1, p. 41–49. Doi: 10.4311/2015MB0108.
- OGÓREK R, LEJMAN A, MATKOWSKI K. 2013. The fungi isolated from the Niedźwiedzia Cave in Kletno (Lower Silesia, Poland). *International Journal of Speleology* 42: 161–166. Doi.org/10.5038/1827-806X.42.2.9.
- SOCIETY OF MYCOLOGICAL SCIENCES. Fungos cavernícolas: um tesouro subterrâneo pouco explorado. *Bol. Micob.*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 1-34, abr.-jun. 2023. Disponível em: https://sbmic.org/admin/files/papers/file_jf7SuNvPIRjy.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 06 fev. 2025.
- THAMBUGALA, Kasun M. et al (2024). Humans vs. Fungi: An Overview of Fungal Pathogens against Humans. *Pathogens*, v. 13, n. 5, p. 426, 2024.
- TRAJANO, E. et al. (2024). Importância do Patrimônio Espeleológico Brasileiro.
- VANDERWOLF KJ, MALLOCH D, McALPINE DF; FORBES GJ. A world review of fungi, yeasts, and slime molds in caves. *International Journal of Speleology*. 42 (1), p77-96, 2013.
- ZAMPAULO RA. Diversidade de espécies troglóbias em cavidades ferríferas do Parque Estadual da Serra do Rola Moça (PESRM), Minas Gerias. In: *Anais... Campinas: SBE: 87–97. 2015.*
- ZOPPAS, B. C. A. et al. Distribuição de esporos de *Cladosporium* spp no ar atmosférico de Caxias do Sul, RS, Brasil, durante dois anos de estudo. *Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia*, v. 34, n. 2, p. 55-58, 2012.