

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES

Diversidade, Ecologia e Conservação de Espécies Brasileiras do Gênero *Sphagnum*

Tese apresentada ao Instituto de Pesquisas Ambientais da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais.

São Paulo
2025

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES

Diversidade, Ecologia e Conservação de Espécies Brasileiras do Gênero Sphagnum

Tese apresentada ao Instituto de Pesquisas Ambientais da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTOR em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Avasculares e Fungos em Análises Ambientais.

ORIENTADOR: DR. DENILSON FERNANDES PERALTA

Ficha Catalográfica elaborada pelo **Serviço de Biblioteca, Mapotecas, Museus, Acervos Arquivísticos e Iconográficos do Instituto de Pesquisas Ambientais**

G635d	GONÇALVES, Mateus Tomás Anselmo Diversidade, ecologia e conservação de espécies brasileiras do gênero <i>Sphagnum</i>. São Paulo, 2025. 129p. Orientador: Dr. Denilson Fernandes Peralta Tese (Doutorado) - Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente - Instituto de Pesquisas Ambientais da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, 2025. 1. Briófitas. 2. Morfologia Esporal. 3. Avaliação do Risco de extinção I. Autor II. Título. CDU: 582.32
-------	---

BANCA EXAMINADORA

Dr. Denilson Fernandes Peralta (Orientador)
Instituto de Pesquisas Ambientais - IPA

Dra. Juçara Bordin
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Dr. Paulo Eduardo Aguiar Saraiva Câmara
Universidade de Brasília - UnB

Dra. Aline Matos de Sousa
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

Dr. Fuvio Rubens Oliveira da Silva
Instituto Tecnológico Vale

Dra. Adriana de Melo Gugliotta (suplente)
Instituto de Pesquisas Ambientais - IPA

Dra. Lorena Tereza Penha da Silva (suplente)
Secretaria Estadual de Educação do Espírito Santo - SEDU

*À memória da minha mãe e ao seu amor.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Ambientais de São Paulo, minha gratidão por viabilizar a realização desta pesquisa.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), agradeço pelo suporte financeiro por meio da bolsa concedida durante boa parte da minha trajetória no doutorado.

Ao meu orientador, professor Dr. Denilson Fernandes Peralta, minha profunda gratidão pela orientação dedicada, pelo entusiasmo em compartilhar seus conhecimentos e por me acolher tão calorosamente no Núcleo. Agradeço não apenas pela orientação, mas também pelo apoio e amizade.

Sou igualmente grato pelas amizades que foram construídas ao longo desse período: Me. Raphaela Peres Silva, Dra. Jéssica Soares de Lima, Gabriella Veiga de Moraes, Me. Douglas Oliveira, Me. Karoliny Portes Alves, Me. Ana Vera Tourinho, Me. Fabiano Dantas e Me. Juliana Leandro. Agradeço demais pelo convívio enriquecedor, pelo espírito colaborativo e pela leveza que sempre tornaram nosso ambiente de trabalho um espaço de aprendizado e apoio mútuo. Também gostaria de agradecer demais pelas experiências compartilhadas a galera do alojamento, por ter tido a oportunidade de conhecer pessoas de vários locais do Brasil e do mundo.

Aos professores que integraram minhas bancas de qualificação e defesa, deixo meu sincero agradecimento pelas sugestões e comentários preciosos, que certamente contribuíram para o amadurecimento deste trabalho.

Aos colaboradores e funcionários do IPA, obrigado pelo suporte essencial nas mais diversas frentes, desde os trâmites administrativos até as tarefas do dia a dia que garantem o bom funcionamento do Instituto. Sem dúvida, conquistas individuais se tornam possíveis graças ao esforço coletivo.

Em especial, gostaria de agradecer a toda minha família. Não sei se conseguiria concluir esse doutorado sem vocês. Vocês são peças fundamentais por estar aqui escrevendo esse agradecimento. Mãe, vou te amar para todo sempre, muito obrigado por ter sido uma inspiração de vida, meu amor Renilda Tomás Gonçalves. Ao meu pai Miquéias Anselmo Gonçalves, meus irmãos Quézia Tomás Gonçalves e Miquéias Junior, e sobrinhos Ana Júlia, João Miguel e Sophia não sou nada sem vocês. Aos meus pets que sempre considerei como filhos Totó, Bitá e a mais nova integrante da família Tisca obrigado por terem sido alívios, conforto e afeto que só seres de luz como vocês podem proporcionar.

Ao Eudocio Rafael por todo apoio, suporte, companheirismo e amor em todos esses anos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a finalização de mais este ciclo, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Sphagnum é um gênero de musgos com papel ecológico fundamental em ambientes úmidos, atuando na formação de turfeiras, retenção hídrica e sequestro de carbono. Apesar da elevada diversidade do grupo no Brasil, com destaque para a Floresta Atlântica, o conhecimento sobre sua taxonomia, distribuição e estado de conservação ainda é limitado. Esta tese teve como objetivo aprofundar o estudo da diversidade, ecologia e conservação de espécies brasileiras de *Sphagnum*, com foco em táxons endêmicos e regiões pouco exploradas. Foram descritas três novas espécies, duas da Serra do Tepequém (RR) e uma da Serra do Cipó (MG), com base em análise morfológica detalhada. Também foi realizada uma caracterização dos esporos para 13 espécies, utilizando microscopia óptica e eletrônica, revelando padrões diagnósticos com potencial taxonômico. A primeira avaliação nacional de risco de extinção das espécies endêmicas do gênero identificou diversos táxons ameaçados, destacando a urgência de ações de conservação. Por fim, a redescoberta de *Sphagnum cribriforme* após mais de um século reforça a importância de revisões taxonômicas e da exploração de acervos de herbário. Os resultados evidenciam a riqueza e vulnerabilidade do gênero no Brasil e reforçam a necessidade de maior atenção à conservação de briófitas, frequentemente negligenciadas nas políticas ambientais.

Palavras chave: Endemismo, Briófitas, Musgos, *Sphagnum*.

ABSTRACT

Sphagnum is a genus of mosses with a fundamental ecological role in wetland environments, contributing to peat formation, water retention, and carbon sequestration. Despite the high diversity of the group in Brazil, particularly in the Atlantic Forest, knowledge about its taxonomy, distribution, and conservation status remains limited. This thesis aimed to deepen the understanding of the diversity, ecology, and conservation of Brazilian *Sphagnum* species, with a focus on endemic taxa and underexplored regions. Three new species were described, two from Serra do Tepequém (Roraima) and one from Serra do Cipó (Minas Gerais), based on detailed morphological analyses. Additionally, spore morphology of 13 species was characterized using light and electron microscopy, revealing diagnostic patterns with taxonomic relevance. The first national extinction risk assessment of endemic *Sphagnum* species identified several threatened taxa, emphasizing the urgent need for conservation actions. Finally, the rediscovery of *Sphagnum cribriforme* after more than a century highlights the importance of taxonomic revision and herbarium-based exploration. The findings underscore both the richness and vulnerability of the genus in Brazil, reinforcing the need for greater attention to bryophyte conservation, a group often overlooked in environmental policies.

Keywords: Endemism, Bryophytes, Mosses, *Sphagnum*.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura I. 1. Map with the type locality of *Sphagnum cinereum* and *Sphagnum robustoporum*, Serra do Tepequém, Amajari, Roraima, Brazil.

Figura I. 2. Landscapes of the Serra do Tepequém. A. Trail where the species were found. B. Tepui of the Serra do Tepequém. C. Locality where mining takes place. D. View from the plateau.

Figura I. 3. Microscopic pictures of different morphological characters of *S. cinereum* sp. nov. **A.** Gametophyte. **B.** Fascicle. **C–E.** Branch leaves. **F–H.** Cross section of branch leaves. **I.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the branch leaf. **J.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the stem leaf. **K–L.** Stem leaves. **M.** Main stem in transverse section. **N.** Branch stem in transverse section.

Figura I. 4. Microscopic pictures of different morphological characters of *S. robustoporum* sp. nov. **A.** Gametophyte. **B.** Fascicle. **C–E.** Branch leaves. **F–H.** Cross section of branch leaves. **I.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the branch leaf. **J.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the stem leaf. **K–L.** Stem leaves. **M.** Main stem in transverse section. **N.** Branch stem in transverse section.

Figura I. 5. Scanning electron microscopy of the stem and branch leaves of *Sphagnum robustoporum* sp. nov. **A.** Hyalocysts from the dorsal side of the stem leaf; **B.** Hyalocysts from the ventral side of the stem leaf; **C.** Hyalocysts from the dorsal side of the branch leaf; **D.** Hyalocysts from the ventral side of the branch leaf.

CAPÍTULO 2

Figura II. 1. Map with the type locality (geographic distribution) of *Sphagnum cataractarum*, Serra do Cipó, Santana do Riacho, Minas Gerais, Brazil.

Figura II. 2. Microscopic pictures of different morphological characters of *S. robustoporum* sp. nov. **A–B.** Gametophyte. **C–E.** Branch leaves **F–H.** Stem leaves. **I.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the branch leaf. **J.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the stem leaf. **K.** Apex of the branch leaf. **L.** Stem in transverse section **M–N.** Branch leaves in transverse section.

CAPÍTULO 3

Figura III. 1. a-o. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-d. *S. aciphyllum* Müll. Hal. a. Polar view, optical section. b. Optical section detail. c. Detail of margo of the trilete laesura. d. Distal pole, high focus (LO1). e-h. *S. amoenoides* H.A.Crum. e. Polar view, optical section. f. Optical section detail. g. Detail of margo of the trilete laesura. h. Distal pole, high focus (LO1). i-l. *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw. i. Polar view, optical section. j. Polar view showing the perine. k. Optical section detail. l. Distal pole, high focus (LO1). m-o. *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm. m. Polar view, optical section. n. Distal pole, high focus (LO1). o. Perine detail. Scale bars = 10 μm (a, e, i, j, m, o); 2 μm (b, c, d, f, g, h, k, l, n).

Figura III. 2. a-o. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-b. *S. gracilescens* Hampe ex. Müll. Hal. a. Polar view, optical section. b. Polar view, trilete laesura. c-g. *S. longicomosum* Müll. Hal. ex Warnst. c. Polar view, optical section. d. Perine detail. e. Optical section detail. f. Detail of margo of the trilete laesura. g. Distal pole, high focus (LO1). h-l. *S. longistolo* Müll. Hal. h. Polar view, optical section. i. Optical section detail. j. Detail of margo of the trilete laesura. k. Distal pole, high focus (LO1). l-o. *S. magellanicum* Brid. l. Polar view, optical section and perine. m. Detail of margo of the trilete laesura. n. Optical section and perine details. o. Distal pole, high focus (LO1) of perine. Scale bars = 10 μm (a, b, c, d, g, h, k, l, m); 2 μm (e, f, i, j, n, o).

Figura III. 3. a-o. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-d. *S. palustre* L. a. Polar view, optical section. b. Distal pole, high focus (LO1). c. Optical section and perine details. d. Detail of margo of the trilete laesura. e-h. *S. perichaetiale* Hampe. e. Polar view, optical section. f. Polar view, perine. g. Optical section detail. h. Detail of margo of the trilete laesura. i-k. *S. recurvum* P. Beauv. i. Polar view, optical section and perine. j. Distal pole, high focus (LO1). k. Spores in tetrad arrangement. l-o. *S. sparsum* Hampe. l. Polar view, optical section. m. Polar view, perine. n. Optical section detail. o. Detail of margo of the trilete laesura. Scale bars = 10 μm (a, b, e, f, i, k, l, m, o); 2 μm (c, d, g, h, j, n).

Figura III. 4. a-f. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-f. *S. submedium* Warnst. a. Polar view, optical section. b. Polar view, perine. c. Optical section detail. d. Distal pole, high focus (LO1). e. Detail of margo of the trilete laesura. f. Distal pole, anastomosed Y-shaped structure detail. Scale bars = 10 μm (a, b, d, f); 2 μm (c, e).

Figura III. 5. SEM of untreated spores of *Sphagnum* L. A-B. *Sphagnum aciphyllum*. C-D.

Sphagnum amoenoides. E-F. *Sphagnum capillifolium*. G-H. *Sphagnum cuspidatum*. Scale bars = 10 μm (e, f, g, h); 5 μm (a, b, c, d).

Figura III. 6. SEM of untreated spores of *Sphagnum*, except *S. longicomosum* and *S. magellanicum*, which were acetolyzed. A-B. *Sphagnum gracilescens*. C-D. *Sphagnum longicomosum*. E-F. *Sphagnum longistolo*. G-H. *Sphagnum magellanicum*. Scale bars = 10 μm .

Figura III. 7. SEM of untreated spores of *Sphagnum*. A-B. *Sphagnum palustre*. C-D. *Sphagnum perichaetiale*. E-F. *Sphagnum recurvum*. G-H. *Sphagnum sparsum*. Scale bars = 10 μm (a, b, c, d, e, f); 5 μm (g, h).

Figura III. 8. SEM of untreated spores of *Sphagnum submedium*. A. Proximal pole, detail of margo of the trilete laesura. B. Distal pole, Distal pole, anastomosed Y-shaped structure detail. Scale bars = 10 μm .

Figura III. 9. Principal Component Analysis of some Brazilian *Sphagnum* species.

CAPÍTULO 4

Figura IV. 1. Categorias de ameaça das espécies endêmicas de *Sphagnum*.

Figura IV. 2. Espécies exclusivas dos domínios fitogeográficos. AT - 27, AM - 3, CE - 2.

Figure IV. 3. *Sphagnum leonii*, espécie classificada como Criticamente em Perigo de Extinção. A-B. Gametófitos. C. Fascículo. D-H. Filídios do ramo. I. Ápice do filídio do ramo. J. Hialocistos do filídio do ramo. K. Hialocistos do filídio do caulídio. L-M. Corte transversal evidenciando os clorocistos do filídio do ramo. N-R. Filídios do caulídio. S. Ápice do filídio do caulídio. T. Corte transversal do caulídio.

Figure IV,4. *Sphagnum paranense*, espécie classificada como Criticamente em Perigo de extinção. A-B. Gametófitos. C. Fascículo. D-H. Filídios do ramo. I. Ápice do filídio do ramo. J-K. Hialocistos dos filídios do ramo. L-M. Corte transversal evidenciando os clorocistos dos filídios do ramo. N-R. Filídios do caulídio. S. Ápice do filídio do caulídio. T. Corte transversal do caulídio.

CAPÍTULO 5

Figura V. 1. *Sphagnum cribriforme*. A. Habit. B–D. Branch leaves. E–F. Stem leaves. G. Upper cells of branch leaf (inner surface). H. Upper cells of branch leaf (outer surface). I. Cross-section of stem. J. Cross-section of branch leaf.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela I.1. Comparative morphological characteristics of South American *Sphagnum* species similar to *S. robustoporum* and *S. cinereum*, based on summarized descriptions from Michaelis (2019) and Flatberg et al. (2022).

CAPÍTULO 2

Tabela II. 1. Comparative overview among species similar to *S. cataractarum* (Summarized descriptions from Michaelis 2019 and Costa 2021).

CAPÍTULO 3

Tabela III. 1. Measurements (μm) under light microscopy of some Brazilian *Sphagnum* species.

Tabela III. 2. Morphological characterization of *Sphagnum* spores size and ornamentation.

Tabela III. 3. Pearson and Kendall coefficients for *Sphagnum* spore's metric variables of the first two axis of principal component analysis ordination.

CAPÍTULO 4

Tabela IV. 1. Listagem das espécies de *Sphagnum* endêmicas do Brasil (AT - Floresta Atlântica, AM - Floresta Amazônica, CA - Caatinga, CE - Cerrado, PL - Pantanal, PM - Pampa). * Novas ocorrências.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
Organização da Tese.....	2
Referências Bibliográficas.....	3
CAPÍTULO 1	4
Introduction	5
Material and Methods	7
Results	8
Discussion	11
References	14
CAPÍTULO 2	26
Introduction	27
Material and Methods	28
Results	29
Discussion	31
References	33
CAPÍTULO 3	42
Introduction	45
Material and Methods	46
Results	49
CAPÍTULO 4	77
Introdução	80
Material e Métodos	81
Resultados	83
Referências	97
CAPÍTULO 5	104
Formal treatment	106
References	108
CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
ANEXOS	112

INTRODUÇÃO GERAL

A família Sphagnaceae, representada exclusivamente pelo gênero *Sphagnum*, compreende um grupo de musgos com papel ecológico central em ecossistemas úmidos, especialmente turfeiras, brejos e campos encharcados (Michaelis, 2019). Esses musgos atuam como engenheiros de ecossistema: regulam o ciclo hidrológico, retêm água de forma eficiente, acidificam o ambiente e acumulam biomassa, sendo fundamentais para o sequestro de carbono e a formação de turfa, uma das maiores reservas naturais de carbono do planeta (Gorham, 1991; Rydin & Jeglum, 2013; Glime, 2007; Glime 2017). Estima-se que as turfeiras, em sua maioria formadas por *Sphagnum*, cubram cerca de 3% da superfície terrestre (Charman, 2002), e constituam habitats únicos para inúmeras espécies endêmicas. Apesar da importância ecológica, o gênero também possui importante valor econômico, sendo amplamente utilizado na horticultura, jardinagem, floricultura e até mesmo em processos industriais, como bioindicador ambiental, absorvente e substrato orgânico (Whinam et al., 2003; Tuba et al., 2011; Saxena & Harinder, 2004).

No Brasil, *Sphagnum* é comercializado sob os nomes populares “esfagno” ou “veludo”, com ampla circulação nos mercados e feiras agrícolas, frequentemente sem qualquer controle de origem, identificação taxonômica ou monitoramento ambiental (Negrelle et al. 2014; Rancura et al. 2010). Tal realidade demonstra uma lacuna entre o uso intensivo desse recurso e o conhecimento científico sistematizado a seu respeito, especialmente no que se refere à biodiversidade e ao manejo sustentável das espécies envolvidas.

O Brasil abriga uma alta diversidade de *Sphagnum*, estimada em 71 espécies, das quais 44 são endêmicas (Costa, 2021). A maior parte dessas espécies encontra-se nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia, com destaque para as áreas de altitude e ambientes encharcados. Apesar disso, o conhecimento sobre a taxonomia, ecologia e conservação do grupo no país ainda é insuficiente, sendo dificultado pela complexidade morfológica do gênero, que exige análises celulares detalhadas e cortes histológicos para identificação precisa (Costa, 2021; Michaelis, 2019).

Regiões pouco exploradas, como os tepuis da Amazônia brasileira (e.g., Serra do Tepequém) e as serras do Espinhaço em Minas Gerais (e.g., Serra do Cipó), abrigam um potencial ainda inexplorado de espécies novas e formas endêmicas. A flora briofítica de muitos desses locais permanece desconhecida ou subamostrada, o que limita a compreensão da real diversidade do grupo e impede a implementação de políticas públicas voltadas à sua conservação (Costa et al. 2020).

Neste contexto, a presente tese tem como objetivo central aprofundar o conhecimento taxonômico, ecológico e conservacionista sobre as espécies de *Sphagnum* no Brasil, com ênfase especial em táxons endêmicos e ambientes ainda pouco estudados.

Organização da Tese

Os capítulos estão organizados como artigos científicos independentes, já submetidos ou em processo de submissão a periódicos da área. Essa estrutura permite maior agilidade na disseminação dos resultados e favorece a avaliação por pares. A integração entre os capítulos fornece uma visão abrangente e atualizada da diversidade, ecologia, taxonomia e conservação do gênero *Sphagnum* no Brasil, destacando sua relevância ecológica e a urgência de ações que garantam sua proteção frente aos impactos ambientais crescentes.

Capítulo 1 – Descrição de *Sphagnum cinereum* e *S. robustoporum*: duas novas espécies descritas para a Serra do Tepequém, em Roraima, no contexto dos tepuis amazônicos. Ambas pertencem ao subgênero *Subsecunda* e apresentam características morfológicas únicas, como poros centralizados e variações estruturais adaptativas ao ambiente rupestre seco de altitude.

Capítulo 2 – Descrição de *Sphagnum cataractarum*: espécie nova encontrada na Serra do Cipó, Minas Gerais. A planta ocorre em ambiente extremamente úmido, próximo a cachoeiras, sendo notável por sua estatura reduzida e características celulares diagnósticas, como ausência de poros e clorocistos trapezoidais.

Capítulo 3 – Morfologia esporal em espécies brasileiras de *Sphagnum*: análise detalhada das características dos esporos de 13 espécies, utilizando microscopia óptica e eletrônica. O estudo mostra que a ornamentação da perina e o tamanho dos esporos variam entre subgêneros, revelando potencial taxonômico para distinção de grupos e elucidação de relações filogenéticas.

Capítulo 4 – Avaliação do risco de extinção das espécies endêmicas de *Sphagnum* no Brasil: utilizando critérios da IUCN e ferramentas como o GeoCAT, este capítulo apresenta a primeira análise nacional do status de conservação das espécies endêmicas de *Sphagnum*. Resultados apontam que várias delas estão sob risco, sendo ameaçadas por extrativismo, degradação de habitat e mudanças climáticas.

Capítulo 5 – Redescoberta de *Sphagnum cribriforme*: espécie anteriormente conhecida apenas pelo tipo, coletado há mais de um século. O capítulo relata a redescoberta da espécie no Parque Nacional das Emas (GO), ampliando seu conhecimento ecológico e reforçando a importância de revisões taxonômicas e triagens sistemáticas em herbários.

Referências Bibliográficas

- Costa, D.P. 2021. A Synopsis of the family Sphagnaceae in Brazil. *Systematic Botany Monographs* 111: 1–12.
- Costa, D.P., Nadal, F. & Rocha, T.C. 2020. The first botanical explorations of bryophyte diversity in the Brazilian Amazon mountains: high species diversity, low endemism, and low similarity. *Biodiversity and Conservation* 29: 2663–2668. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01993-9>
- Charman, D. 2002. Peatlands and environmental change. Chichester: John Wiley Sons. Chichester. 2002, 301p.
- Glime, J.M. 2007. Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Disponível em: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>. Acesso em 16/03/2025).
- Glime, J.M. 2017. Chapter 7-1 Water Relations: Conducting Structures. In: Glime, J.M. (Ed.) *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Last updated 27 December 2021. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton, Michigan. Available from: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/> Acesso em: 15/03/2025).
- Gorham, E. 1991. Northern Peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*. 1 (2): 182-195.
- Michaelis, D. 2019. *The Sphagnum species of the world*. Bibliotheca Botanica. Stuttgart, Germany. 162: 1–435.
- Negrelle, R.R.B., Bordignon, S.E., Ferreira, M.R., Sampaio, L.K. 2014. Extrativismo e comercialização de *Sphagnum* (veludo): características, implicações socioeconômicas e ecológicas e perspectivas. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental* 20(1): 53–66.
- Rancura, S., Ribeiro, M.M., Nordi, N. 2010. Considerações sobre a coleta de *Sphagnum* no município de Cananéia, estado de São Paulo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24(2): 328–334.
- Rydin, H., Jeglum, J.K. 2013. The biology of peatlands, Second. Oxford University Press, Oxford
- Saxena, D.K., Harinder. 2004. Uses of Bryophytes. *Resonance* 9(6): 56–65.
- Tuba, Z., Slack, N.G., Stark, L.R. 2011. Bryophyte ecology and climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 528p.
- Whinam, J., Buxton, R. 1997. *Sphagnum* peatlands of Australasia: an assessment of harvesting sustainability. *Biological Conservation* 82: 21–29.

CAPÍTULO 1

UNRAVELING THE BOTANICAL DIVERSITY OF RORAIMA, BRAZIL: THE DISCOVERY OF *SPHAGNUM CINEREUM* SP. NOV. AND *SPHAGNUM ROBUSTOPORUM* SP. NOV. (SPHAGNACEAE, SUBGENUS *SUBSECUNDA*)

Unraveling the botanical diversity of Roraima, Brazil: the discovery of *Sphagnum cinereum* sp. nov. and *Sphagnum robustoporum* sp. nov. (Sphagnaceae, subgenus *Subsecunda*)

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES^{1*} & DENILSON FERNANDES PERALTA²

¹ Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; mateus-tomas@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0939-0511>

² Núcleo de Briologia, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; denilsonfperalta@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4304-7258>

* Corresponding author: mateus-tomas@hotmail.com

Abstract

We present a comprehensive account of two newly discovered species, designated as *Sphagnum robustoporum* sp. nov. and *Sphagnum cinereum* sp. nov., belonging to the *Sphagnum* subgenus *Subsecunda* within the Bryophyta family Sphagnaceae. The taxonomic descriptions and characterizations of these new species were conducted aiming to establish morphological differentiations of shoots, stems, branches, and leaves. The newfound species are currently documented only at a singular location on a tabletop mountain (tepui) in the *Serra do Tepequém* region of Roraima state, Brazil. Comparative analyses with the closest species' morphologies were carried and we are providing an identification key, descriptions, and illustrations.

Keywords: morphology, peat moss, taxonomy

Introduction

Brazil harbors a remarkable diversity of *Sphagnum* L. (1753: 1106) species, a genus known as peat moss (Costa 2021). These plants are particularly important due to their role in peat formation, the carbon biogeochemical cycle, and wetland conservation (Limpens *et al.* 2008; Rydin & Jeglum 2013).

The genus encompasses approximately 250-400 species worldwide, with the Neotropics hosting the highest number of taxa, approximately 160 (Gradstein *et al.* 2001, Shaw 2000). The diversity of *Sphagnum* in Brazil is widely recognized, with a total of 70 species recently studied by Costa (2021) and 118 in the Eastern South America (Am. 5) region, which includes Brazil according to Michaelis (2019).

The species of this genus are widely distributed throughout the country and exhibit a high degree of endemism in different phytogeographic domains (Costa 2021). Each phytogeographic domain offers unique characteristics that favor the establishment of these species. However, in the

southeastern region of Brazil, specifically within the Atlantic Rainforest, the highest number of *Sphagnum* species is recorded (Costa 2021). This fact can be attributed to the presence of various phytophysiognomies, distinct geological formations, and the concentration of mountainous regions within the Atlantic Rainforest (Morellato & Haddad 2000), which enables the occurrence of different microhabitats for the establishment of *Sphagnum* species.

The Amazon Rainforest in Brazil harbors a high diversity of plant species and is characterized by high levels of humidity and precipitation (Rylands *et al.* 2002), providing a suitable habitat for the growth of *Sphagnum*. Furthermore, this region stands out due to its vast territory and the presence of one of the highest biodiversity indices on the planet, with high levels of endemism (Silva *et al.* 2005).

Within the Amazon Rainforest phytogeographic domain, there are tabular reliefs characterized by large tabletop formations, regionally known as *tepui*, a name of indigenous Pemon origin. These tepuis rise to elevations of approximately 1,000 to 3,000 m.a.s.l., and they are isolated and nearly inaccessible (Briceño & Schubert 1990; Piccini 1995). Notable locations with these formations in the Roraima state include Mount Roraima and *Serra do Tepequém*.

The tepuis are primarily composed of sedimentary rocks from the Roraima Supergroup, consisting mainly of Paleoproterozoic sandstones and conglomerates. These rocks extend extensively across the Guyana Shield, encompassing the southern region of Venezuela, northern Brazil, and northwest Guyana (Huber 1995; Désamoré *et al.* 2010). This collection of tepuis forms a significant biogeographic region known as the pantepui, which is considered an important center of diversity and endemism for neotropical bryophytes (Gradstein & Florschütz-de Waard 1989; Rico & Pócs 2004; Désamoré *et al.* 2010; Costa *et al.* 2020; Oliveira-da-Silva *et al.* 2022).

It is important to highlight that Brazil hosts representatives of all subgenera of *Sphagnum*, according to the new classifications of Shaw *et al.* (2016): *Acutifolia* (Wilson 1855: 20) A.J. Shaw *in* Shaw *et al.* (2010: 1523), *Cuspidata* (Lindb. 1862: 134) A.J. Shaw *in* Shaw *et al.* (2010: 1523), *Rigida* (Lindb. 1862: 135) A. Eddy (1977: 431), *Sphagnum* L. (1753: 1106), *Squarrosa* (Russow 1865: 62) A.J. Shaw *in* Shaw *et al.* (2010: 1523), and *Subsecunda* (Lindb. 1862: 135) A.J. Shaw *in* Shaw *et al.* (2010: 1523). Among these subgenera, *Subsecunda* and *Sphagnum* are especially diverse in the country, with the majority of reported species found in the historically well-collected southern and southeastern Brazilian geopolitical regions. According to Michaelis (2019), approximately 110 species of the *Subsecunda* subgenus are listed worldwide. Costa (2021) emphasizes that this subgenus is the most diverse in the Neotropics, with around 71 species. In Brazil, there are occurrences of 29 species from this subgenus, of which 24 are endemic (Costa 2021). This proportion of endemism is notably high, representing 83% of the total *Subsecunda*

subgenus species restricted to Brazil. The country is considered a center of diversity and endemism for this group, housing 26% of the world's species and 41% of the neotropical species (Costa 2021).

According to Costa (2021), among the six Brazilian phytogeographic domains, *Subsecunda* occurs in four of them: the Amazon, *Cerrado*, *Caatinga*, and Atlantic Rainforest. The majority of *Subsecunda* species are found in the Atlantic Rainforest, with 27 species (12 of which are exclusive to this phytogeographic domain), followed by the *Cerrado* with 15 species (2 of them exclusive), *Caatinga* with one species (*S. pluriporosum* H.A.Crum [1994: 246], not exclusive), and the Amazon Forest with three species (*S. gracilescens* Hampe ex. Müll.Hal. [1862: 327]), *S. ripense* H.A.Crum & W.R.Buck [1992: 457], and only *S. curicuriariense* H.A.Crum & W.R.Buck [1992: 458] exclusive).

However, despite the importance and diversity of *Sphagnum* in Brazil, the country has a vast area, and many regions remain poorly studied and relatively unknown. Specifically, for the state of Roraima, its bryophyte flora remains insufficiently explored compared to other states in Brazil and has been the subject of limited research (e.g., Yano 1992; Yano & Mello 1999; Costa *et al.* 2020). Therefore, further research is needed to better understand and conserve the diversity of *Sphagnum* and other bryophytes in the country, ensuring the conservation of these unique and valuable ecosystems.

Material and Methods

While analyzing 2,602 *Sphagnum* exsiccatae deposited in the SP herbarium, we found three collections made in 2017 that were something new. The specimens were collected in a tepui region at the *Serra do Tepequém*, Amajari, Roraima state, Brazil.

The *Serra do Tepequém* is characterized by a tabular relief structure, where its maximum elevation can reach 1,100 m.a.s.l. It is located in the northern portion of the state of Roraima, more precisely in the central-northern region of the municipality of Amajari (geographical coordinates 3.75, -61.74) (Figure 1).

Morphological examination - The descriptions of the two new species were based on morphological characteristics found in the examined specimens. The morphologies of the new species were compared and evaluated using keys, descriptions, and illustrations of Sphagnaceae closest related species from around the world (Michaelis 2019) and Brazilian species (Costa 2021). Crum's studies (1992ab, 1994, 1995), Michaelis (2019), and Costa (2021) provide wonderful descriptions and are the basis for the studies of *Sphagnum* in Brazil, and provided the tools for the recognition of the new species described here.

The specimens of *S. robustoporum* sp. nov. and *S. cinereum* sp. nov. were studied through the preparation of semi-permanent slides using Kisser's gelatin (Kisser 1935). These slides included samples from stem and branch leaves, stem and branch cross-sections, outer stem and branch surfaces, and cross-sections of branch leaves were examined. All slides were carefully prepared and then stored inside the exsiccatae. Morphological analyses and measurements (taken for 10 gametophytes, as well as 10 stem leaves and 10 branch leaves) were conducted with the aid of millimeter grids, rulers, stereo microscopes, and optical microscopes.

Scanning electron microscopy - The pores and pseudopores in the branch and stem leaf hyalocysts were analyzed through scanning electron microscopy (SEM; Philips XL-20), the leaves were affixed to stubs using adhesive tape and metallized using a Bal-Tec SCD 050 Sputter Coater.

Results

Both species belong to the subgenus *Subsecunda*, which is characterized by stem cortical cells that lack fibrils and pores or occasionally exhibit weak and solitary pores. Stem leaves can be either smaller or larger than the branch leaves. The branches are often curved, and their cortical cells are devoid of fibrils, with some distally porose and expanded into retort cells. Branch leaves are somewhat secund, broadly ovate to elliptical proximally, becoming narrowly truncate and toothed at the apex, with margins bordered by linear cells. Hyalocysts are moderately convex on both surfaces; the outer (abaxial) surface presents numerous ringed, crowded, elliptic pores, often arranged in commissural rows, whereas the inner (adaxial) surface bears none, few, or occasionally numerous pores. Chlorocysts are elliptic to rectangular or somewhat trapezoidal and are equally to slightly more exposed on the outer (abaxial) surface.

Taxonomic treatment

Sphagnum cinereum M.T.A. Gonçalves & D.F. Peralta, *sp. nov.*

Type:— Brazil, Roraima, Amajari, Serra de Tepequém, planalto das Guianas, trilha para o Platô, savana com campo rupestre (3°45'52"N, 61°41'14"W), elev.: 1,086 m, em barranco, 8.IX.2017, Peralta *et al.* 21610 (holotype SP!).

Figure 3.

Diagnosis — *Sphagnum cinereum* sp. nov. is recognized for its medium to robust size (ranging from 3.0 to 8.0 cm long to 2.0 and 4.0 cm wide) and predominantly brown to yellowish-green coloration with a black stem when dry. **Fascicles** with 2 branches (1.5 to 2.3 cm long) all similar and spreading. **Stem** blackish, in cross-section with one layer of cortical cells and sometimes with spotty two-layers, wood cylinder blackish to very dark red (the color of the wood cylinder

resembling *Sphagnum sanguinale* Warnst.). **Stem leaves** are smaller than the branch leaves, 1.5 mm long, triangular-ligulate, apex toothed, the ventral and dorsal surfaces feature entirely fibrillose, divided hyalocysts, with few pores oriented towards the commissures, and median centralized pores present in the hyalocysts. **Branch leaves** ligulate-linear, very elongated, 3.0 to 4.0 mm long, apex toothed, rounded or with a pointed tip; **hyalocysts** in cross-section rectangular, with few pores in both surfaces, medium-sized pores predominantly grouped at the cell-angles, with the presence of centralized pores occupying 1/3 of the hyalocysts; and oblique longitudinal fibrils are present across the entire leaf; **chlorocysts** in cross-section rectangular to square, equally exposed on both surfaces.

Etymology - The epithet “*cinereum*” is derived from the Latin word “*cinis*”, which means “ashes”. This name alludes to the species’ appearance resembling something that has been burnt and its brittle leaves that give the impression of turning into ashes.

Notes - Plants of this new species resemble the morphology of the Subgenus *Sphagnum* because of their robust habit, like *Sphagnum perichaetiale* Hampe. Pores are observed at the commissures and also at the cell angles. The retort cells in the branches are small. The dried plant displays a predominantly brown to yellowish-green coloration with a black stem, while when wet, its color becomes darker, with the wood cylinder taking on a reddish-brown hue. An interesting observation is that it takes some time to absorb water when we hydrate the plant.

Sphagnum robustoporum M.T.A. Gonçalves & D.F. Peralta, *sp. nov.*

Type:— Brazil, Roraima, Amajari, Serra de Tepequém, planalto das Guianas, trilha para o Platô, savana com campo rupestre (3°45’52”N, 61°41’14”W), elev.: 1086 m, em barranco, 8.IX.2017, Peralta *et al.* 21611 (holotype SP!); ibidem, Peralta *et al.* 21570 (paratype SP).

Figure 4.

Diagnosis - *Sphagnum robustoporum* sp. nov. is recognized for its medium size (ranging from 3 to 7 cm long to 1.5 and 2.0 cm wide) and predominantly yellowish-brown coloration when dry. **Fascicles** with 2–3 branches (two bigger spreading, ca. 10 mm and one smaller pendent, ca. 0.5 mm). **Stem** in cross-section with one layer of cortical cells, wood cylinder pale-brown. **Stem leaves** variable, two forms common triangular-ligulate with a pointed apex, and ligulate with a rounded apex, 1.6 mm, sharply concave and toothed at apex, hyalocysts with fibrils, with few pseudopores facing the commissures but not sequential (Figure 5), pseudopores enlarged ranging 3/4 of the hyalocysts wide, basal portion often without fibrils or pores. **Branch leaves** variable, two forms common sometimes broadly ovate and triangular, concave, < 1 mm–1.5 mm, toothed at apex;

hyalocysts in cross-section convex in both surfaces, the ventral surface with median to enlarged few pores ranging 1/2 of the cell width with few pores in discontinuous commissural rows (not a common feature to *Subsecunda*), on the dorsal surface the fibrils are longitudinal to oblique, especially at apex; **chlorocysts** in cross-section are central elliptic, with cell walls sharply thickened, exposed at both surfaces (Figure 5).

Etymology - The epithet “*robustoporum*” is derived from the Latin adjective *robustus*, strong, large, and *porosus*, porose, and alludes to the relatively large size of the stem and branch leaf pores in the new species.

Notes - The species macroscopically resembles *Sphagnum divisum* H.A. Crum due to its slender form and well-spaced branches and is similar to *S. aequalipunctatum* in having centralized pores. However, *S. aequalipunctatum* exhibits sequential pores along the commissures and small centralized pores occupying less than 1/3 of the width of the hyalocyst (as opposed to pores occupying 3/4 of the cell width). An important characteristic of the new species is the dimorphism observed in both the size and shape of the branch leaves and stem leaves.

Key - Among the South American species that share some characteristics with *S. cinereum* sp. nov. and *S. robustoporum* sp. nov., but differ from them both in microscopic and macroscopic features, are *S. aequalipunctatum*, *S. divisum*, *S. laxulum* H.A.Crum, *S. obliquefibrosum* and *S. platyphylloides* Warnst. It is worth noting that out of these five species, *S. aequalipunctatum* and *S. obliquefibrosum* are endemic to the Brazilian Atlantic Rainforest, while *S. divisum* occurs in both the Atlantic Rainforest and *Cerrado* phytogeographic domains. Below is a key to assist in distinguishing these species.

Key to the South American species similar to Sphagnum cinereum and S. robustoporum sp. nov

- 1 Wood cylinder dark brown; plants with 1 branch per fascicle.....
..... ***Sphagnum magniporousum***
- 1' Wood cylinder pale yellow to brown; 2–4 branches per fascicle
 - 2 Branch leaves with robust pores occupying 1/2 the width of the hyalocyst, and few pores in discontinuous commissural rows; chlorocysts elliptic, centered, exposed on both surfaces
 - 3 Plants flaccid, chlorocysts quadratic, pores less than half width of the cell, few on the commissures ***Sphagnum cinereum***
 - 3' Plants rigid, chlorocysts rectangular, pores robust, as large as the width of the cell, covering all space between the fibrils ***Sphagnum robustoporum***
- 2' Branch leaves with pores in a line facing the commissures and occasional small centered pores, chlorocysts elliptic or triangular centered or equally exposed on both surfaces or more on the outer surface
 - 4 Stem leaves with broadly truncate and coarsely dentate apex; branch fascicles similar, chlorocysts equally exposed or broadly exposed on the outer surface...
..... ***Sphagnum obliquefibrosum***
 - 4' Stem leaves with rounded apex, cuculate, concave, dentate; branch fascicles distinct, chlorocysts elliptic centered or triangular to trapezoidal equally exposed on both surfaces
 - 5 Stem hyaline cells rarely divided; branch hyaline cells often with partly reduced fibrils; chlorophyll cells of branch leaves in cross-section elliptic, centered, on both sides with thickened cells walls narrowly exposed or on ventral side a little bit broader exposed
..... ***Sphagnum aequalipunctatum***
 - 5' Stem hyaline cells divided; branch hyaline cells divided, with many full-sized ringed commissural pores in continuous rows; chlorophyll cells of branch leaves in cross section triangular to trapezoidal, equally exposed on both surfaces or more on the outer surface
..... ***Sphagnum divisum***

Discussion

Distribution and Habitat of Sphagnum cinereum and Sphagnum robustoporum - So far *S. cinereum* and *S. robustoporum* are only known from the type locality (3°45'52"N, 61°41'14"W, elev.: 1086m), located at the tepui of Serra do Tepequém, in the municipality of Amajari, Roraima, Brazil (Figure 1). Specific habitat preferences are unknown, but the type specimen labels indicate that the species occurs on soil (barranco).

Similar species - The morphologically closest species to *S. cinereum* and *S. robustoporum* based on Michaelis (2019) “Species group 1: species with one-layered cortex, elliptic to rectangular chlorophyll cells and only two rows of pores on branch leaf hyaline cells” are *S. aequalipunctatum* H.A. Crum, *S. divisum* H.A. Crum and *S. obliquefibrosum* H.A. Crum, as they all have a stem cortex with only one cell layer and somewhat triangular-lingulate leaves and the presence of fascicles with three branches. *Sphagnum magniporosum* Flatberg, K. Hassel & Prestø is a recently described species (Flatberg *et al.* 2022) that displays one-layered cortex and more than two rows of pores on the hyaline cell, but it has only one branch per fascicle. We decided to include this species since it shares with *S. robustoporum* the same habitat and centralized robust pores on the hyaline cell. Table 1 provides a comparative overview of these species, highlighting their main differences.

The pores in Sphagnaceae provide access to the external environment, primarily associated with the acquisition of water and nutrients (Glime 2017). Concerning the morphology of the robust pores found in *S. robustoporum*, it may be directly linked to the need for increased water acquisition. Despite the specimen being exclusive to the Amazon Rainforest phytogeographic domain, its occurrence region exhibits savanna characteristics with rocky fields, which are drier environments. Under dry conditions or in environments with limited water availability, plants often develop adaptations to maximize water uptake and minimize water loss through evaporation (Glime 2017).

In addition to pores, for bryophytes in general, the literature points to morphological features that ensure survival in xeric environments, such as concave leaves, hyaline apex, presence of hyalocysts, darkened gametophytes, and a decrease in the amount of chlorophyll a, which are directly related to intense insolation and reduced water availability (Kürschner 2004, Kürschner & Parolly 2005, Meyer & Santarius 1998, Glime 2007). These adaptations are typically evolutionary and enable the plant to survive and thrive in challenging conditions, such as drier environments.

Therefore, the morphology of the pores in *S. robustoporum* and the dark pigmentation of *S. cinereum* may be adaptive characteristics that assist the plants in surviving in their occurrence environment.

Regarding morphologically similar species, *S. magniporosum* is a recently described species (Flatberg *et al.* 2022) from a region similar to where *S. cinereum* sp. nov. and *S. robustoporum* sp. nov. occur. *S. magniporosum* was collected from a tepui located in Venezuela, and although they share habitats and some similar characteristics (such as the presence of robust pores centered in the hyalocysts), they are distinct species. The species differ primarily in the number of branches per fascicle, with *S. cinereum* having two branches, *S. robustoporum* having 3 branches and *S. magniporosum* having 1 branch. Additionally, *S. magniporosum* exhibits the most common and distinguishing feature of *Subsecunda* members, which is the sequential pores in the commissures on

the branch leaves' hyalocysts, while *S. cinereum* and *S. robustoporum* sp. nov. do not. The shape of the branch leaves also differs between the species, where the branch leaves of *S. magniporosum* are more elongated, ending in a pointed and toothed apex (see Flatberg *et al.* 2022). In contrast, *S. robustoporum* sp. nov. has dimorphism in size and shape among the branch leaves, with triangular-lingulate and broadly ovate leaves with a toothed truncated apex. Even though *S. cinereum* exhibits elongated branch leaves (3.0 to 4.0 mm), the hyalocysts present oblique and longitudinal fibrils that differ from *S. magniporosum*.

Both species are known only from the type material *S. robustoporum* has two samples collected at the same locality, which highlights the lack of studies focused on the tepui regions located in northern South America. In this regard, it becomes crucial to encourage bryofloristic inventories to uncover the biodiversity present in these environments.

Distribution and Habitat - The *Serra do Tepequém* is part of a tepui region that represents a remnant of the ancient Guyana Shield, which extends to the northern edge of Brazil and is renowned for its richness in endemic plants, including liverworts and vascular species (Gradstein *et al.* 2001; Steyermark *et al.* 1986). It is considered the second most important region for endemism in the Neotropics (Gradstein *et al.* 2001).

In the case of bryophytes, according to Gradstein *et al.* (2001) and Gradstein & Costa (2003), the bryoflora of the Brazilian part of the Guyana Highlands has been poorly explored, and its investigation could result in many new taxa for science, including previously undiscovered genera.

We present a pioneering description of these new species based on morphological characteristics. However, we acknowledge the importance of molecular studies for a deeper understanding of the taxa *Sphagnum magniporosum* and *Sphagnum robustoporum*, which stand out due to their distinct pores compared to other *Subsecunda* representatives.

We draw special attention to the need for the conservation of the *Serra do Tepequém*, a location with intensive tourism and high anthropogenic disturbance due to mining activities (Figure 2C). These activities, combined with stochastic events, could lead to the extinction of the new species due to its restricted ecological niche, known exclusively from this locality.

Therefore, conservation measures must be taken to protect this unique and valuable species, ensuring its survival and the balance of the local ecosystem. Knowledge and awareness of its existence are crucial for conserving this important natural heritage.

References

- Briceño, O.H. & Schubert, C. (1990) Geomorphology of the Gran Sabana, Guayana Shield, Southeastern Venezuela. *Geomorphology* 3: 125–141.
- Costa, D.P. (2021) A Synopsis of the family Sphagnaceae in Brazil. *Systematic Botany Monographs* 111: 1–12.
- Costa, D.P., Nadal, F. & Rocha, T.C. (2020) The first botanical explorations of bryophyte diversity in the Brazilian Amazon mountains: high species diversity, low endemism, and low similarity. *Biodiversity and Conservation* 29: 2663–2668. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01993-9>
- Crum, H.A. (1992a) Miscellaneous notes on the genus *Sphagnum*. 3. New species from Brazil. *The Bryologist* 95: 419–429.
- Crum, H.A. & W.R. Buck (1992b) Sphagna of the 1979 Projeto Flora Amazônica expedition. *Brittonia* 44: 448–460.
- Crum, H.A. (1994) Miscellaneous notes on the genus *Sphagnum*. 5 new and notable species of South America. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 77: 233–253.
- Crum, H.A. (1995) Miscellaneous notes on *Sphagnum*: 9. South American species. *The Bryologist* 98: 578–589.
- Désamoré, A., Vanderpoorten, A., Laenen, B., Gradstein, S.R. & Kok, P.J.R. (2010) Biogeography of the Lost World (Pantepui region, northeastern South America): Insights from bryophytes. *Phytotaxa* 9: 254–265.
- Eddy, A. (1977) Sphagnales of tropical Asia. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Botany* 5: 359–445 + pl. 37–40.
- Flatberg, K.I., Hassel K., Prestø T., Kyrkjeeide, M.O., Shaw, J.A. & Ahti, T. (2022) *Sphagnum magniporosum* (Sphagnaceae, subgenus *Subsecunda*) a new peatmoss species from Venezuela. *Lindbergia* 45: 1–15. <https://doi.org/10.25227/linbg.01161>
- Glime, J.M. (2007) *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton, Michigan. Available from: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/> (accessed: 28 September 2023).
- Glime, J.M. (2017) Chapter 7-1 Water Relations: Conducting Structures. In: Glime, J.M. (Ed.) *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Last updated 27 December 2021. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton, Michigan. Available from: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/> (accessed: 28 September 2023).
- Gradstein, S.R., Churchill, S.P. & Salazar, A.N. (2001) Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 86: 1–67.

- Gradstein S.R. & Florschütz-De Waard J. (1989) Results of a botanical expedition to Mount Roraima, Guyana. I. Bryophytes. *Tropical Bryology* 1: 25-54.
- Huber, O. (1995) *Geographical and physical features*, in Berry P. E., Holst B. K. & Yatskievych K. (eds), *Flora of the Venezuelan Guayana*. Vol. 1: Introduction. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, 61 p.
- Kisser, J. (1935) Bemerkungen zum Einschluss in Glycerin-Gelatine. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Mikroskopie und Mikroskopische Technik* 51: 372–374.
- Kürschner, H. (2004) Life strategies and adaptations in bryophytes from the near and Middle East. *Turkish Journal of Botany* 28: 73–84.
- Kürschner, H. & Parolly, G. (2005) Ecosociological studies in Ecuadorian bryophyte communities III. Life forms, life strategies and ecomorphology of the submontane and montane epiphytic vegetation of Ecuador. *Nova Hedwigia* 80: 89–113.
- Limpens, J., Berendse, F., Blodau, C., Canadell, J.G., Freeman, C., Holden, J. & Schaepman-Strub, G. (2008) Peatlands and the carbon cycle: From local processes to global implication –a synthesis. *Biogeosciences* 5: 1475–1491. <https://doi.org/10.5194/bg-5-1475-2008>
- Lindberg, S.O. (1862) Torfmossornas byggnad, utbredning och systematiska uppställning. *Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar* 19: 113–156.
- Linnaeus, C. von (1753) *Species Plantarum* 2: Pp. 561–1200. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae.
- Meyer, H. & Santarius, K.A. (1998) Short-term thermal acclimation and heat tolerance of gametophytes of mosses. *Oecologia* 115: 1–8.
- Michaelis, D. (2019) *The Sphagnum species of the world*. Bibliotheca Botanica. Stuttgart, Germany. 162: 1–435.
- Morellato, L.P.C. & Haddad, C.F.B. (2000) Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 786–792.
- Oliveira-Da-Silva, F.R., Gradstein, S.R., Viana, P.L., Schaefer, C.E.G.R. & Ilkiu-Borges, A.L. (2022) Bryophytes from Uei tepui (Serra do Sol), with liverworts new to Brazil and the description of *Leptoscyphus incisus* sp. nov. *Cryptogamie, Bryologie* 43: 51–64. <https://doi.org/10.5252/cryptogamie-bryologie2022v43a4>
- Piccini, L. (1995) Karst in Siliceous rocks: Karts Landforms and Caves in the Auyan-tepui (Est. Bolívar, Venezuela). *International Journal of Speleology*, 24: 41-54
- Rico R. & Pócs T. (2004) Briofitos de las tierras altas de la Guayana Venezolana: Hepáticas del Roraima-tepui I. *Cryptogamie, Bryologie* 25 (3): 249-269.
- Russow, E.A.F (1865) Beiträge zur Kenntniss der Torfmoose. *Heinrich Laakmann*, Dorpat. 82 pp.

- Rydin, H. & Jeglum, J.K. (2013) The biology of peatlands. *Oxford University Press*, Oxford, UK.
<https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199602995.001.0001>
- Rylands, A.B., Mittermeier, R.A., Pilgrim, J., Gascon, C., Fonseca, G., Silva, J.M.C., Mittermeier, C.G., Brooks, T., Rodríguez, J.V., Singh, J., Udenhout, W., Famolare, L., Waldron, N., Malone, S., Inchausti, V.H., Ponce del Prado, C., Roca, R., Cavalcanti, R., Arjona, F., López, F., Hutchinson, C., Van Roosmalen, M.G.M., Ayres, J.M.C., Forsyth, A., Bowles, I., Kormos, C., Mekler, A., Waller, R., Palacios, E., Miranda, F., Flores, A.L., Dávalos, L., Nelson, R., Sie Fat, A.T., Chun, J., Akre, T. & Rueda, J.V. (2002) Amazonia. In: Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Robles Gil, P., Pilgrim, J., Fonseca, G.A.B, Brooks, T.M. & Konstant, W.R. (Eds.) *Wilderness: Earth's Last Wild Places*. CEMEX, Agrupación Serra Madre, SC, Mexico, pp.56–107.
- Shaw, A. J. (2000) Phylogeny of the Sphagnopsida based on chloroplast and nuclear DNA sequences. *The Bryologist* 103 (2): 277–306.
- Shaw, A.J., Cox, C.J., Buck, W.R., Devos, N., Buchanan, A.M., Cave, L., Seppelt, R.D., Shaw, B. Larraín, J., Andrus, R.E., Greilhuber J. & Temsch, E.M. (2010) Newly resolved relationships in an early land plant lineage: Bryophyta class Sphagnopsida (peat mosses). *American Journal of Botany* 97(9): 1511–1531.
- Shaw, A.J., Devos, N., Liu, Y., Cox, C.J., Goffinet, B., Flatberg, B. & Shaw, B. (2016) Organellar phylogenomics of an emerging model system: *Sphagnum* (peatmoss). *Annals of Botany* 118: 185–196.
- Silva, J.M.C., Rylands, A.B. & Fonseca, G.A.B. (2005) O destino das áreas de endemismo da Amazônia. *Megadiversidade* 1: 124–131.
- Wilson, W. (1855) *Bryologia Britannica*. Longman, Brown, Green and Longmans, London. xx + 445 pp.
- Steyermark, J.A. (1986) Speciation and endemism in the flora of the Venezuelan tepuis. In: Vuilleumier, F. & Monasterio, M. (eds.) *High Altitude Tropical Biogeography*. New York: Oxford University Press, pp. 317–373.
- Yano, O. (1992) Briófitas da Ilha de Maracá, Roraima, Brasil. *Acta Amazonica* 22: 535–539.
<https://doi.org/10.1590/1809-43921992224539>
- Yano, O. & Mello, Z.R. (1999) Briófitas novas para o estado de Roraima, Brasil. *Acta Amazônica* 22: 23–50. <https://doi.org/10.1590/1809-43921992221050>

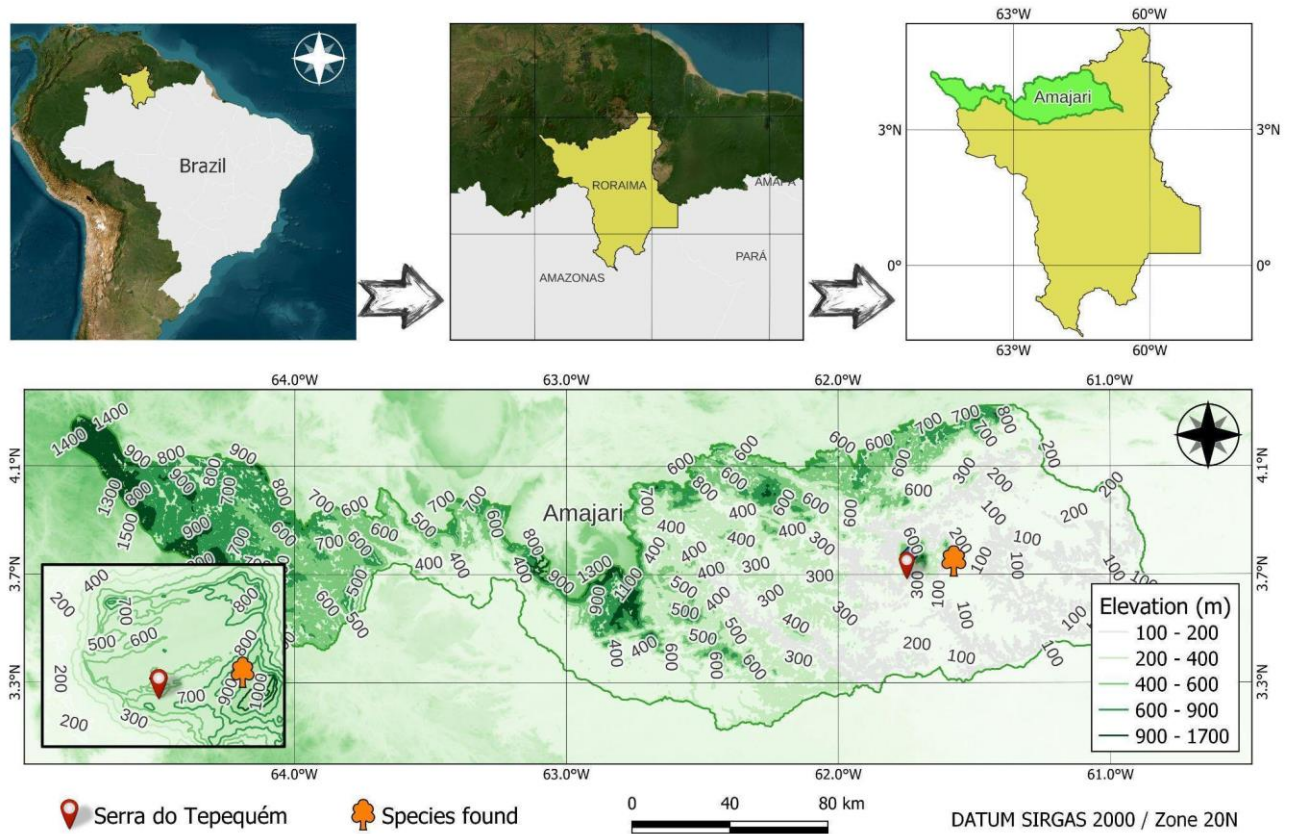


FIGURE 1. Map with the type locality of *Sphagnum cinereum* and *Sphagnum robustoporum*, Serra do Tepequém, Amajari, Roraima, Brazil.

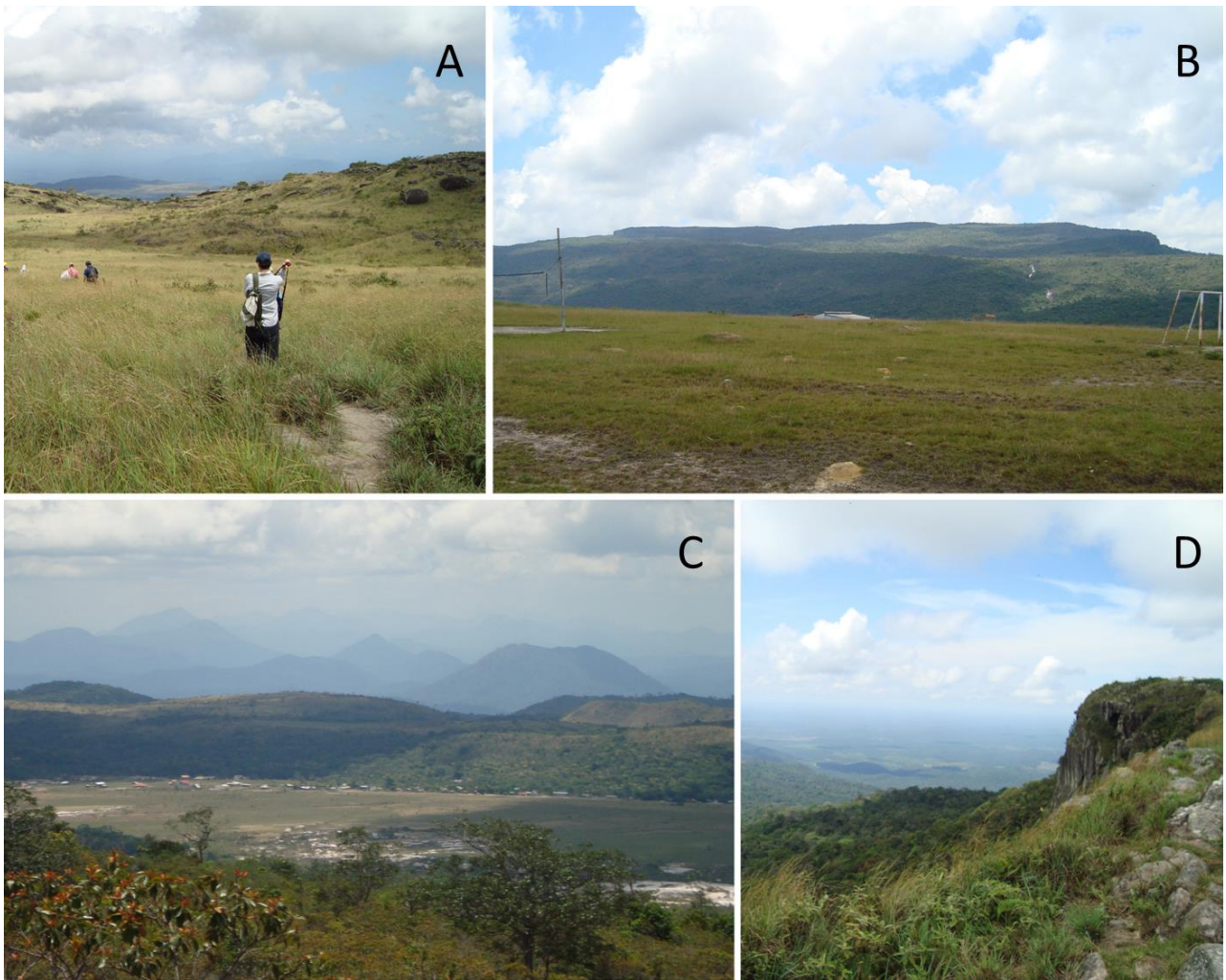


FIGURE 2. Landscapes of the *Serra do Tepequém*. **A.** Trail where the species were found. **B.** Tepui of the *Serra do Tepequém*. **C.** Locality where mining takes place. **D.** View from the plateau.

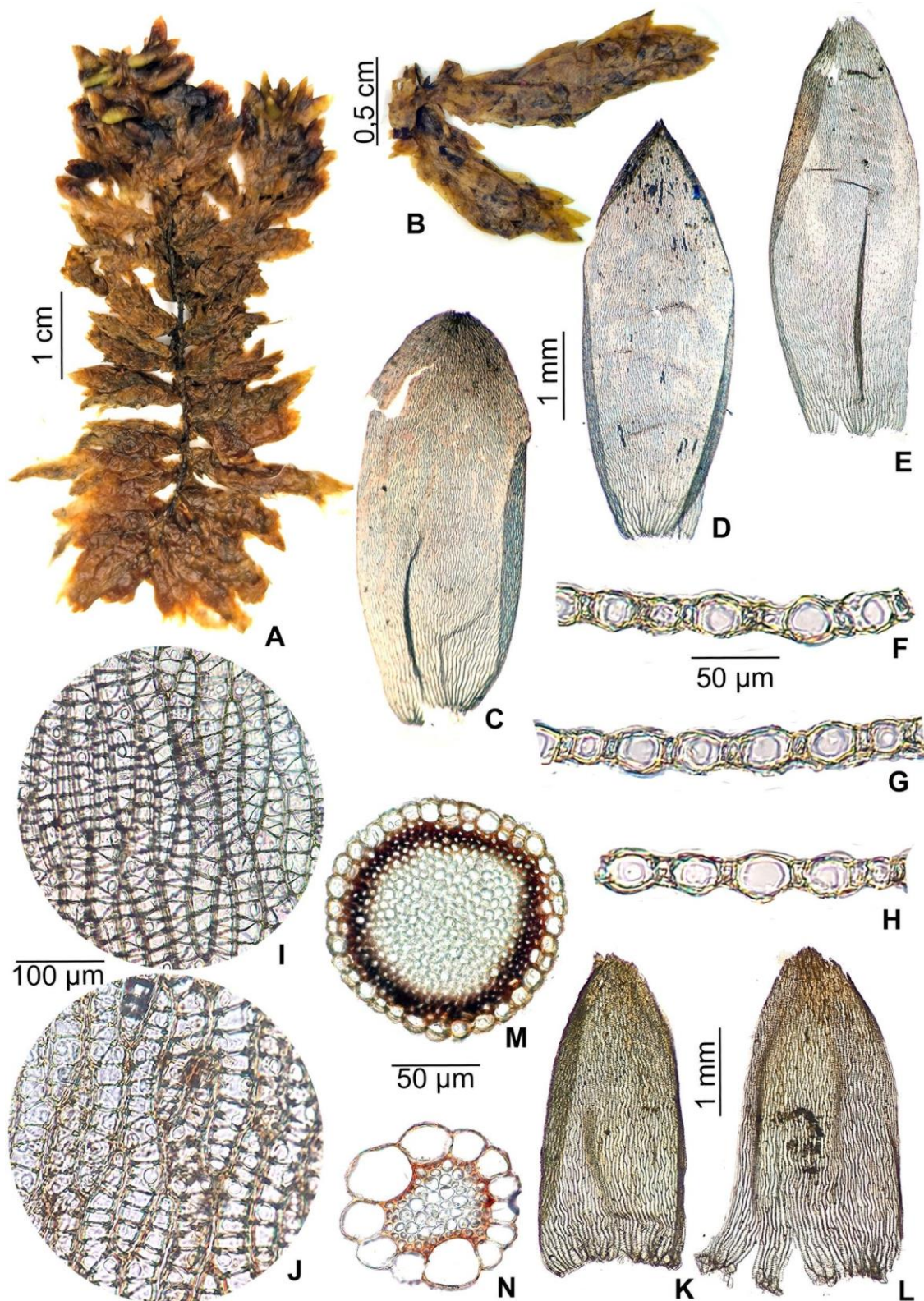


FIGURE 3. Microscopic pictures of different morphological characters of *S. cinereum* sp. nov. **A.** Gametophyte. **B.** Fascicle. **C–E.** Branch leaves. **F–H.** Cross section of branch leaves. **I.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the branch leaf. **J.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the stem leaf. **K–L.** Stem leaves. **M.** Main stem in transverse section. **N.** Branch stem in transverse section.

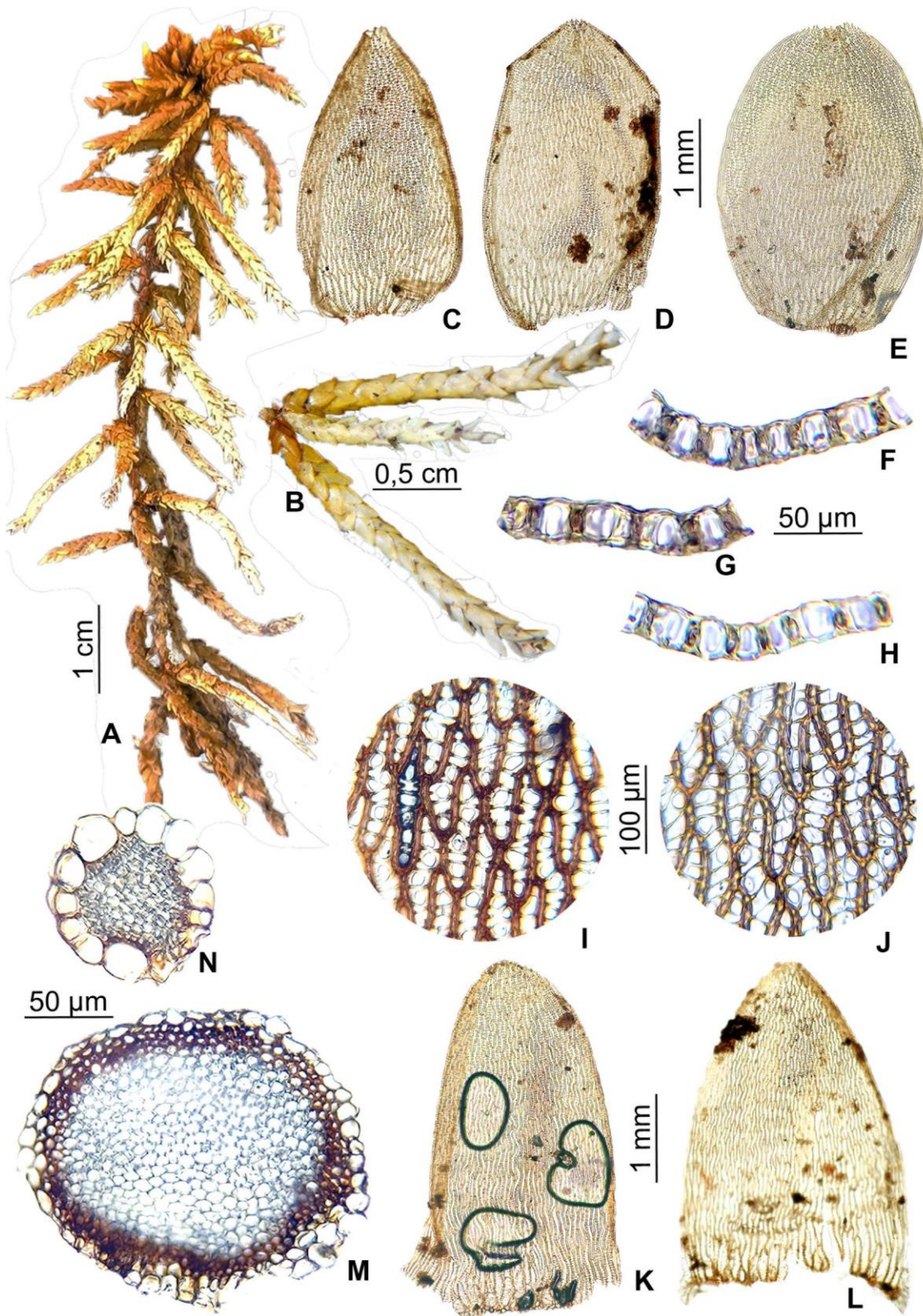


FIGURE 4. Microscopic pictures of different morphological characters of *S. robustoporum* sp. nov. **A.** Gametophyte. **B.** Fascicle. **C–E.** Branch leaves. **F–H.** Cross section of branch leaves. **I.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the branch leaf. **J.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the stem leaf. **K–L.** Stem leaves. **M.** Main stem in transverse section. **N.** Branch stem in transverse section.

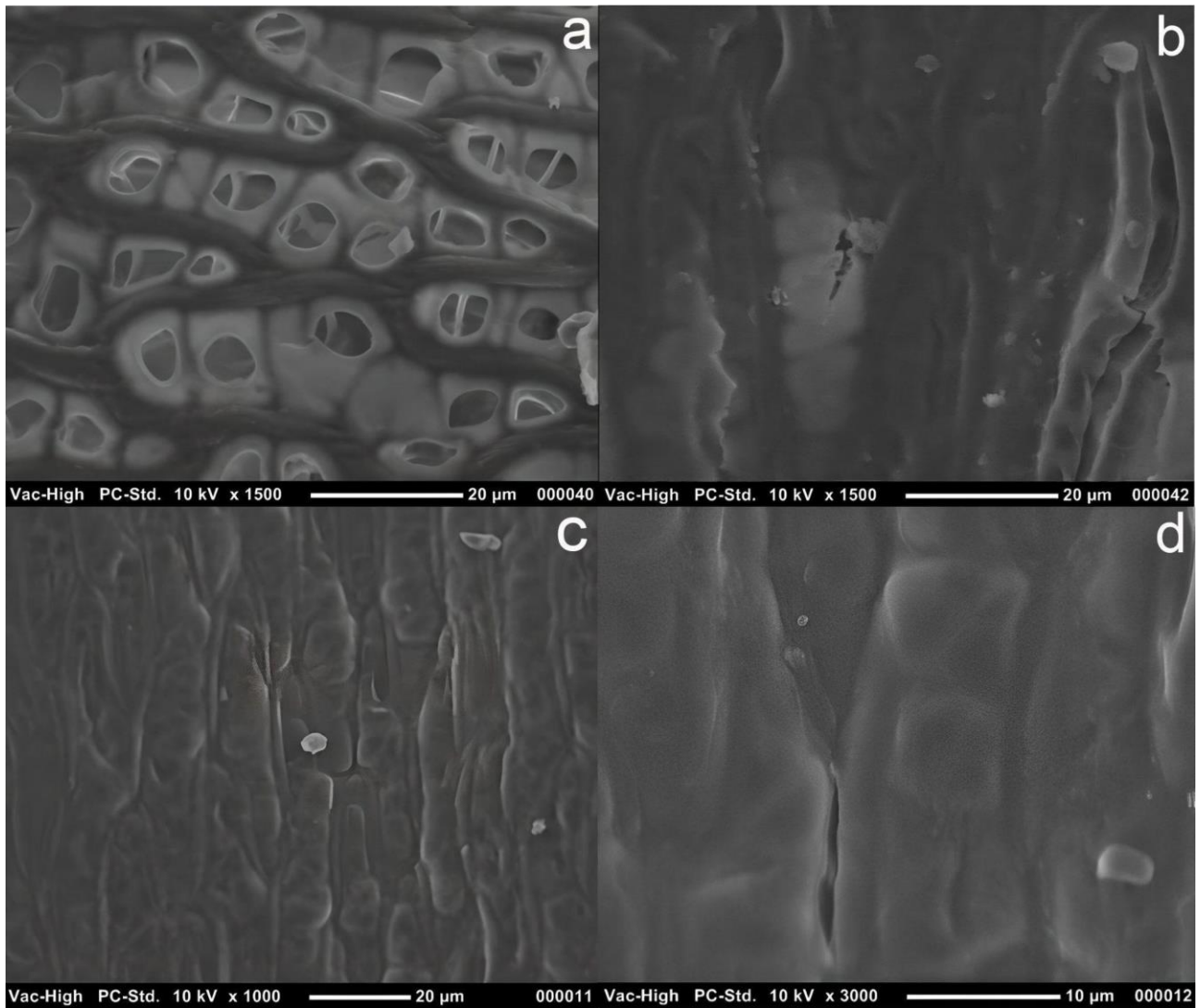


FIGURE 5. Scanning electron microscopy of the stem and branch leaves of *Sphagnum robustoporum* sp. nov. **A.** Hyalocysts from the dorsal side of the stem leaf; **B.** Hyalocysts from the ventral side of the stem leaf; **C.** Hyalocysts from the dorsal side of the branch leaf; **D.** Hyalocysts from the ventral side of the branch leaf.

TABLE 1. Comparative morphological characteristics of South American *Sphagnum* species similar to *S. robustoporum* and *S. cinereum*, based on summarized descriptions from Michaelis (2019) and Flatberg et al. (2022).

<i>Sphagnum</i>	<i>S. cinereum</i>	<i>S. robustoporum</i>	<i>S. aequalipunctatum</i>	<i>S. divisum</i>	<i>S. magniporosum</i>	<i>S. obliquefibrosum</i>
Plant size	Medium 4 to 10 cm	Medium 4 to 10 cm	Small 1 to 4 cm	Small to medium-sized 1 to 10 cm	Medium 4 to 10 cm	Small to medium-sized 1 to 10 cm
Plant colour	Brown to grayish- black	Brownish yellow	Pale yellow	Pale yellowish	Yellow-orange to orange brown	Pale, yellowish or green
Stem cortex	One-layered and sometimes with spotty two-layers	One-layered	One-layered	One-layered	One-layered	One-layered
Wood cylinder colour	Blackish to very dark red	Pale brown	Yellow or brown	Pale yellowish	Dark brown	Pale yellow to brownish
Stem leaves shape	Triangular- lingulate, apex toothed. Size: 1.5 mm long	Triangular- lingulate, apex slightly concave, apex sometimes toothed and sometimes rounded. Size: 1.6 mm long	Triangular-lingulate to lingulate with rounded apex. Size: 1.0 mm long	Triangular- lingulate to ovate-lingulate with rounded cucullate apex, concave. Size: 1.0mm long	Narrowly ovate- triangular to elliptic- ovate, apex acute to acute obtuse, slightly truncate-erose. Size: 1.0 mm	Lingulate to triangular- lingulate with broadly truncated and coarsely dentate apex. Size: 1.2 mm
Stem leaves hyaline	Entirely fibrillose,	With fibrils at the	Rarely divided,	Divided, with	Completely fibrillose	Often one time divided,

cells	divided.	apex of leaves. Leaf base without fibrils, sometimes with few fibrils at the base near the leaf attachment area.	without fibrils or with incomplete fibrils.	many pores along the commissures	from base to apex, with zig-zag fibrils.	with fibrils in the whole leaf, on ventral side with 3–8 small, round pores along the commissures and septae, on dorsal side without pores or with 1–2 pores at angles.
Stem Leaf pores	Few pores oriented towards the commissures, and median centralized pores present in the hyalocysts.	Large roundish centered pores in the hyalocysts, occupying 3/4 of the cell width sometimes touching the commissures, basal portion of the leaf sometimes presents hyalocysts without fibrils and without pores	Near the apex with numerous small roundish pores to irregular shaped pores along the commissures and in centered position	Small to medium sized pores in short rows or scattered along the commissures	Numerous commissural, circular to elliptical, perfect, ±ringed pores, occupying 1/3–1/2 of cell width and usually fewer ±circular, perfect, non-ringed, median pores occupying more than half of cell width	On ventral side with 3–8 (-15) small, round pores along the commissures and septae, on dorsal side without pores or with 1–2 pores in cell angles
Branch fascicles	2, all similar and spreading	3, thereof 2 spreading and 1 pendent	3–4, thereof 2 spreading	3, thereof 2 spreading	1, tightly arranged, similar-sized spreading	3, all similar and spreading

Branch leaves shape	Lingulate-linear, very elongated, apex toothed, rounded or with a pointed tip. Size: 3.0 to 4.0 mm long	Triangular-ligulate, slightly concave at the apex, toothed apex. Size: 1.6 mm long	Broadly ovate with narrowly truncate leaf tip. Size: 1.0 mm long	Ovate-lanceolate with narrow leaf tip. Size: 1.0 mm	Widely ovate, involute to narrowly rounded. Size: > 1.0 mm	Ovate to elongated ovate with broadly truncated and dentate leaf tip. Size: > 1.0 mm
Branch hyaline cells	Divided, longitudinal to oblique fibrils on the entire leaf.	With longitudinal to oblique fibrils, mainly at the apex.	With often partly reduced fibrils.	Divided, with complete fibrils.	Divided, with complete fibrils.	On the outer surface with oblique fibrils.
Branch leaf pores	Few medium-sized pores descontinuos predominantly in cell-angles, with the presence of centralized pores occupying 1/3 of the hyalocysts.	Medium-sized to robust pores occupying 1/2 of the cell width and with few pores in discontinuous commissural rows.	Numerous roundish pores in rows along the commissures and occasionally with few centered pores.	Large, roundish, ringed pores in rows along the commissures.	On the inner surface, with numerous pores in rows facing the commissures, with fewer median pores on the outer surface.	On the outer surface without pores or pseudopores, on the inner surface with numerous pores facing the commissures.
Chlorocyst of branch leaves in cross section	Rectangular to square, exposed equally on both surfaces.	Elliptic, centered, on both sides with thickened cell walls exposed equally on	Elliptic, centered, on both sides with thickened cell walls narrowly exposed or	Triangular to trapezoidal, equally exposed on both surfaces	Elliptic to elliptic-ovate, varyingly exposed with $\pm$ thickened cell walls to both sides.	Narrowly triangular, lumen elliptic and approximated to the dorsal side, on dorsal side

		both surfaces.	on ventral side a little bit broader exposed.	or more on the outer surface.		relatively broadly exposed.
--	--	----------------	--	----------------------------------	--	--------------------------------

CAPÍTULO 2

**REVEALING NATURAL TREASURES: THE REMARKABLE *SPHAGNUM*
CATARACTARUM SP. NOV. FROM SERRA DO CIPÓ, MINAS GERAIS, BRAZIL**

Artigo proposto segundo as normas da Revista *Phytotaxa*.

Revealing natural treasures: the Remarkable *Sphagnum cataractarum* sp. nov. from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES^{1*} & DENILSON FERNANDES PERALTA²

¹ Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; mateus-tomas@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0939-0511>

² Núcleo de Briologia, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; denilsonfperalta@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4304-7258>

* Corresponding author: mateus-tomas@hotmail.com

Abstract

Sphagnum cataractarum, is described as a new species of Sphagnaceae from the Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. It belongs to *Sphagnum* subg. *Subsecunda* and is characterized by its small stature (2.5–3.0 cm tall), pale yellow coloration, and apparent preference for constantly humid, rocky environments near waterfalls. Diagnostic features include deltoid branch leaves with toothed and slightly truncate apices, absence of resorption furrow, branch cortex with retort cells lacking fibrils, and stem cortex composed of a single layer of hyaline cells without pores. Chlorocysts are rectangular to trapezoidal in cross-section and exposed on both leaf surfaces. Although resembling species from subg. *Rigida* and *Squarrosa* when dry, *S. cataractarum* differs in key anatomical traits, particularly in stem leaf morphology and hyaline cell arrangement. A comparative key is provided to distinguish it from morphologically similar taxa in Brazil. Its restricted occurrence reinforces the ecological and biogeographic importance of the Serra do Cipó for bryophyte diversity and endemism.

Keywords: Bryophyta, endemism, Espinhaço Range, taxonomy, new species

Introduction

The Sphagnaceae family represents a basal lineage among mosses (Bryophyta), composed exclusively of the genus *Sphagnum* L., which includes between 250 and 400 species distributed globally (Shaw 2000). The genus is widely known for its use in horticulture and, more importantly, for its key ecological role in peatlands, where it influences biogeochemical cycles and the global climate (Glime 2017; Wieder & Vitt 2006; Tuba, Slack & Stark 2011).

Currently, *Sphagnum* is divided into six monophyletic subgenera: *Acutifolia*, *Cuspidata*, *Rigida*, *Sphagnum*, *Squarrosa*, and *Subsecunda* (Shaw et al. 2010, 2016). In Brazil, the subgenera *Sphagnum* (29 species, 24 endemic) and *Subsecunda* (27 species, 16 endemic) are the most representative (Costa 2021).

The Serra do Cipó, located in the Espinhaço Range and part of the Cerrado phytogeographic domain, is recognized for its high plant diversity and endemism (Giulietti et al. 1987; Giulietti & Pirani 1988; Harley 1995). Part of the region is protected by the Serra do Cipó National Park and the Morro da Pedreira Environmental Protection Area (Pirani et al. 2015). Despite being extensively studied, new species continue to be discovered in the region, including several angiosperm taxa (Pacífico et al. 2017; Scatigna et al. 2017; Silva et al. 2019; Gomes et al. 2021). With its distinctive climatic, geomorphological, and edaphic conditions, the Espinhaço Range harbors a unique flora not found elsewhere in Brazil, characterized by a high degree of endemism (Giulietti & Pirani 1988; Echternacht et al. 2011). The Serra do Cipó, located in the southern portion of the Espinhaço Range in Minas Gerais state, Brazil, exhibits highly diverse vegetation shaped by local climatic and topographic heterogeneity (Giulietti et al. 1987; Pirani et al. 2015). Vegetation types include gallery forests along drainage lines, forest islands (*capões*), savannas (*cerrado*) on slopes, and rocky montane grasslands (*campos rupestres*) occurring at elevations above 1,000 meters (Giulietti et al. 1987; Meguro et al. 1996).

Regarding bryophytes, Giulietti et al. (1987) recorded only 19 taxa in the region, including four *Sphagnum* species. Yano & Peralta (2011) increased this number to 237 species, including 11 from Sphagnaceae. Delgadillo (1994) notes that the southeastern region of Brazil shows about 48% endemism in mosses.

Despite the ecological importance of the genus, *Sphagnum* identification remains challenging due to the need for cross-sections of leaves and stems, and detailed analysis of cellular structures such as fibrils, pores in hyalocysts, and the position of chlorocysts. This difficulty results in frequent misidentifications, as in the case of the material proposed here as a new species, possibly endemic to the Serra do Cipó.

Material and Methods

While examining 2,602 *Sphagnum* exsiccatae specimens stored in the SP herbarium, we encountered one exsiccatae from the year 1987 that represented a new discovery. The specimen was collected in the vicinity of the *Cachoeira da Farofa* (Farofa Waterfall), located within the municipality of Santana do Riacho, situated in the state of Minas Gerais, Brazil

(Figure 1). The specimen had been initially identified as *Sphagnum perichaetiale* Hampe. However, upon closer examination, it became apparent that this was a misidentification.

Morphological examination

The description of the new species was based on morphological characters observed in the specimen and was compared with descriptions and illustrations of *Sphagnaceae* species worldwide (Michaelis, 2019) and of Brazilian species (Costa, 2021; Crum, 1992).

The specimen was analyzed using semi-permanent slide preparations with Kisser's gelatin (Kisser, 1935). The following structures were examined: branch and stem leaves, stem and branch cross sections, outer stem and branch surfaces, and cross sections of branch leaves. Morphological analyses and measurements of branch and stem leaves were conducted using a millimeter slide, ruler, stereomicroscope, and compound light microscope. A total of 10 gametophytes were measured, along with 10 stem leaves and 10 branch leaves.

Results

Taxonomic treatment

Sphagnum cataractarum M.T.A. Gonçalves **Type:** Brazil, Minas Gerais, município de Santana do Riacho, na cachoeira da Farofa, no paredão úmido com borrifos de água da cachoeira. 7.IX.1987, O.Yano & M.G.L. Wanderley 10.647 (holotype SP!), *sp. nov.*

Diagnosis — *Sphagnum cataractarum* sp. nov. is recognized for its small size (ranging from 2.5 cm to 3.0 cm long 1-2 mm wide) with a pale yellow coloration and apparently with an aquatic habitat preference. Plants erect or procumbent, capitulum not developed. It belongs to the *Sphagnum* subg. *Subsecunda* due to the branch cortex with the presence of retort cells without fibrils, branch leaves toothed at apex, leaf margin without resorption furrow, and stem cortical cells lacking fibrils or pores. **Stem** in cross-section with a single layer of hyaline cells, pores absent, wood cylinder translucent to yellowish. **Branches** when present are single and small or appear unbranched, with weakly differentiated retort cells. **Branch leaves** 1.8 to 2 mm long, deltoid, concave from midportion to apex abruptly constricted to a narrow leaf tip, apex toothed slightly truncate, bordered by 1-2 rows of linear cells; **hyalocysts** in cross-section slightly convex on the surface, on the outer and inner surfaces without pores; **chlorocysts** in cross-section rectangular to trapezoidal, exposed on both surfaces. **Stem leaves** are similar to the branch leaves but have a twisted apex and sometimes have pores along the commissures at the leucocysts from the apex.

Etymology — The epithet "*cataractarum*" originates from the Latin noun "cataracta" meaning "waterfall." This epithet alludes to the specific geographical location where this species was originally discovered near a waterfall.

Notes — When dry, the plant resembles *Sphagnum squarrosum* Crome (subgenus *Squarrosa*) and *Sphagnum strictum* Sull. (subgenus *Rigida*) due to its squarrose branch leaves, which give it a "spiky" appearance. However, *Sphagnum cataractarum* sp. nov. differs in several key aspects. First, its stem leaf is not significantly smaller (<1 mm in length) than the branch leaf and lacks the resorption furrow in the upper third of the branch leaf, a characteristic feature of species in subgenus *Rigida*. Additionally, *Sphagnum cataractarum* sp. nov. can be distinguished from *Sphagnum squarrosum* Crome by the presence of a single layer of hyaline cells in the stem cortex, whereas *S. squarrosum* typically has multiple layers and often shows fascicles composed of 4–5 branches.

Closely related species — The morphologically closest species within subgenus *Subsecunda* are *Sphagnum cyclophyllum* Sull. & Lesq., *Sphagnum exile* H.A.Crum, *Sphagnum laxulum* H.A.Crum, and *Sphagnum ripense* H.A.Crum & W.R.Buck, all of which exhibit a stem cortex composed of a single layer of cells and have either a single branch per fascicle or completely lack of branches. A diagnostic key is provided below for distinction.

Identification key for South American species morphologically similar to *Sphagnum cataractarum*:

1. Plants without branches, or with only one; obovate leaves; branch leaves similar in shape to stem leaves.....2
 2. Trapezoidal chlorocysts; fibrils reaching the base of the leaf....*Sphagnum cyclophyllum*
 2. Quadrate chlorocysts; fibrils throughout the entire leaf.....*Sphagnum cataractarum*
1. Plants with 1 to 5 branches; ovate-triangular leaves; branch leaves different from stem leaves.....3
 3. Plants with 4–5 branches.....*Sphagnum squarrosum*
 3. Plants with 1 branch.....4
 4. Pale brown plants; immersed, lenticular chlorocysts; leaf apex eroded.....*Sphagnum laxulum*
 4. Pale green to yellowish plants; chlorocysts exposed on both surfaces; leaf apex entire.....5
 5. Pale green plants; imbricate leaves; stem leaf chlorocysts triangular to elliptical in cross section.....*Sphagnum exile*
 5. Pale green to yellowish plants; squarrose leaves; stem leaf chlorocysts rectangular to trapezoidal in cross section..... *Sphagnum ripense*

Discussion

Recent studies support the view that although the *Sphagnopsida* lineage is ancient among mosses (Bryophyta), the extant species of *Sphagnum* are the result of a relatively recent evolutionary radiation. Shaw et al. (2010) identified three major lineages within *Sphagnopsida*, with the genus *Sphagnum* s.s. forming a distinct clade characterized by very short branches, indicative of rapid diversification. This burst of diversity may be linked to the expansion of peatlands during the Neogene and Quaternary periods, accompanied by rapid adaptation to newly emerging wet environments.

Species such as *Sphagnum cataractarum* sp. nov., with its distinct morphological features and restricted geographic distribution, may represent either relict lineages or results of isolated speciation events in unique tropical microhabitats, such as the moist rock walls of

the Serra do Cipó. This hypothesis is reinforced by the observation of Shaw et al. (2010) that numerous undescribed species, particularly in the Southern Hemisphere, may be key to understanding the evolutionary history of the genus.

The discovery of *Sphagnum cataractarum* sp. nov. highlights the Serra do Cipó as an important center of bryophyte diversity and endemism. Although the new taxon resembles species from subgenera *Squarrosa* and *Rigida* when dry, its morphology reveals distinctive traits that support its placement within subgenus *Subsecunda*.

Over the past two decades, the diversification of the genus *Sphagnum* has been the focus of extensive phylogenetic research. Shaw et al. (2010; 2016) demonstrated that an adaptive radiation likely occurred in response to climatic changes during the late Neogene and Quaternary. Phylogenomic data suggest that the current subgenera represent monophyletic lineages that rapidly diversified alongside the expansion of boreal and temperate peatlands (Shaw et al., 2016; Weston et al., 2018).

Although *Sphagnum* is most diverse in boreal regions, high-altitude areas such as the *campos rupestres* of the Espinhaço Range harbor relictual and endemic lineages that are highly specialized. The adaptation of *S. cataractarum* to moist, rocky microhabitats near waterfalls may reflect selective pressures distinct from those experienced by populations in open peatlands, potentially indicating a case of microenvironmental specialization.

The rarity of records for this species may reflect both its true scarcity and the historical challenges associated with collecting and identifying *Sphagnum* in tropical regions. Furthermore, the need for detailed morpho-anatomical analyses, such as cross sections of leaves and stems, has contributed to the underrecognition of Neotropical species (Crum, 1992; Costa, 2021).

Finally, it is important to emphasize that mosses of the genus *Sphagnum* play a vital role in carbon cycling and the formation of hydromorphic soils. Thus, conserving endemic species such as *S. cataractarum* has broader ecological implications, especially in light of threats such as climate change and anthropogenic pressure on high-altitude ecosystems (Tuba et al., 2011; Wieder & Vitt, 2006).

Acknowledgements

The authors are grateful to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) — Finance code 001, for a PhD grant provided to the first author. And for

the Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente of Instituto de Pesquisas Ambientais de São Paulo, Brazil, for the necessary structure to do this doctoral degree.

References

- Costa, D.P. (2021) A Synopsis of the family Sphagnaceae in Brazil. *Systematic Botany Monographs* 111: 1–142.
- Crum, H.A. (1992) Miscellaneous notes on the genus *Sphagnum*. 3. New species from Brazil. *The Bryologist* 95: 419–429.
- Derby, D.A. (1906) The Serra do Espinhaço, Brazil. *Journal of Geology* 14:374–401.
- Delgadillo, C.M. (1994) Endemism in the neotropical moss flora. *Biotropica* 26: 12–16
- Echternacht, L., Trovó, M., Oliveira, C.T. & Pirani, J.R. (2011) Areas of endemism in the Espinhaço range in Minas Gerais, Brazil. *Flora* 206: 782–791.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2011.04.003>
- Giulietti, A.M.; Menezes, N.L.; Pirani, J.R.; Meguro, M. & Wanderley, M.G.L. (1987) Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Caracterização e lista de espécies. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 9: 1–151
- Giulietti, A.M. & Pirani, J.R. (1988) Patterns of geographic distribution of some plant species from Espinhaço Range, Minas Gerais and Bahia, Brazil. In: Vazzoline, P.E & Heyer, W.R. (Eds.) *Proceedings of a workshop on neotropical distribution patterns*. *Academia Brasileira Ciências*, Rio de Janeiro, pp. 39–68.
- Gomes, F.M.B. & Loeuille, B. (2021) Three New Species of *Lychnocephalus* (Asteraceae: Vernonieae) from the Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Systematic Botany* 46(2): 476–485.
- Glime, J. M. (2017) Bryophyta - Sphagnopsida. Chapt. 2-5. In: Glime, J. M. (org.) *Bryophyte Ecology*. Volume 1. Physiological Ecology. 2-5-1 Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Last updated 22 March 2023 and available at <<http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/>>.
- Harley, R.M. (1995) Introdução. pp. 43–76. In *Flora of the Pico das Almas: Chapada Diamantina, Bahia, Brasil* (B.L. Stannard, ed.). Royal Botanic Gardens, Kew.

- Lindberg, S.O. (1862) Torfmossornas byggnad, utbredning och systematska uppställning. *Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar* 19: 113–156.
- Linnaeus, C. von (1753) *Species Plantarum* 2. pp. 561–1200. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae.
- Kisser, J. (1935) Bemerkungen zum Einschluss in Glycerin-Gelatine. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Mikroskopie und Mikroskopische Technik* 51: 372–374.
- Meguro, M., Pirani, J.R., Mello-Silva, R. & Giulietti, A.M. (1996) Caracterização florística e estrutural de matas ripárias e capões de altitude na Serra do Cipó, Minas Gerais. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 15: 13–29.
- Michaelis, D. (2019) *The Sphagnum species of the world*. *Bibliotheca Botanica* 162: 1–435.
- Silva, D.N.; Rocha, M.J.R. & Guimarães, P.J.F. (2019) *Frittschia atropurpurea* (Melastomataceae, Marcetieae): A New Species from the Serra Do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Systematic Botany* 44(4): 844–850
- Ribeiro K.T.; Nascimento J.S.; Madeira J.A. & Ribeiro L.C. (2009) Aferição dos limites da Mata Atlântica na Serra do Cipó, MG, Brasil, visando maior compreensão e proteção de um mosaico vegetacional fortemente ameaçado. *Natureza e Conservação* 7: 30–49.
- Russow, E.A.F. (1865) Beiträge zur Kenntniss der Torfmoose. *Heinrich Laakmann*, Dorpat. 82 pp.
- Pacifico, R.B.; Fidanza, K. & Almeda, F. (2017) Two new species of *Microlicia* (Melastomataceae) from the Rupestrian Grasslands of Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Phytotaxa* 316(1): 39–50
- Pacifico, R.B. & Fidanza, K. (2018) *Microlicia frankii* (Melastomataceae: Microlicieae), a new species from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Phytotaxa* 361(3): 279–286
- Pirani, J.R.; Sano, P.T.; Mello-Silva, R.; Menezes, N.L.; Giulietti, A.M.; Zappi, D.C. & Jono, V. Y. (2015). Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais. Available from: <http://www.ib.usp.br/botanica/serradocipo>
- Scatigna, A.V.; Souza, V.C. & Simões, A.O. (2017) *Stemodia cipoensis* (Plantaginaceae): A New Species from Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. *Systematic Botany* 42(2): 371–377

- Shaw, A.J. (2000) Phylogeny of the Sphagnopsida based on chloroplast and nuclear DNA sequences. *The Bryologist* 103 (2): 277–306.
- Shaw, A.J.; Cox, C.J.; Buck, W.R.; Devos, N.; Buchanan, A.M.; Cave, L.; Seppelt, R.; Shaw, B.; Larrain, J.; Andrus, R.; Grielhuber, J. & Temsch, E.M. (2010) Newly resolved relationships in an early land plant lineage: Bryophyta class Sphagnopsida (peat mosses). *American Journal of Botany* 97: 1511–1531. DOI: 10.3732/ajb.1000055
- Shaw, A.J.; Devos, N.; Liu, Y.; Cox, C.J.; Goffinet, B.; Flatberg, K.I. & Shaw, B. (2016) Organellar phylogenomics of an emerging model system: *Sphagnum* (peatmoss). *Annals of Botany* 118: 185–196.
- Tuba, Z.; Slack, N.G. & Stark, L. 2011. *Bryophyte ecology and climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weston, D.J., Turetsky, M.R., Johnson, M.G., Granath, G., Lindo, Z., Belyea, L.R., Rice, S.K., Hanson, D.T., Engelhardt, K.A.M., Schmutz, J., Dorrepaal, E., Euskirchen, E.S., Stenøien, H.K., Szövényi, P., Jackson, M., Piatkowski, B.T., Muchero, W., Norby, R.J., Kostka, J.E., Glass, J.B., Rydin, H., Limpens, J., Tuittila, E.-S., Ullrich, K.K., Carrell, A., Benscoter, B.W., Chen, J.-G., Oke, T.A., Nilsson, M.B., Ranjan, P., Jacobson, D. & Shaw, A.J. (2018) The Sphagnum Project: enabling ecological and evolutionary insights through a genus-level sequencing project. *New Phytologist* 217: 16–25. <https://doi.org/10.1111/nph.14860>
- Wieder, R.K. & Vitt, D.H. 2006. *Boreal peatland ecosystems*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wilson, W. (1855) *Bryologia Britannica*. Longman, Brown, Green and Longmans, London. xx + 445 pp.
- Yano, O. & Peralta, D.F. (2011) Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Briófitas (Anthocerotophyta, Bryophyta e Marchantiophyta). *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* 29: 135–211.

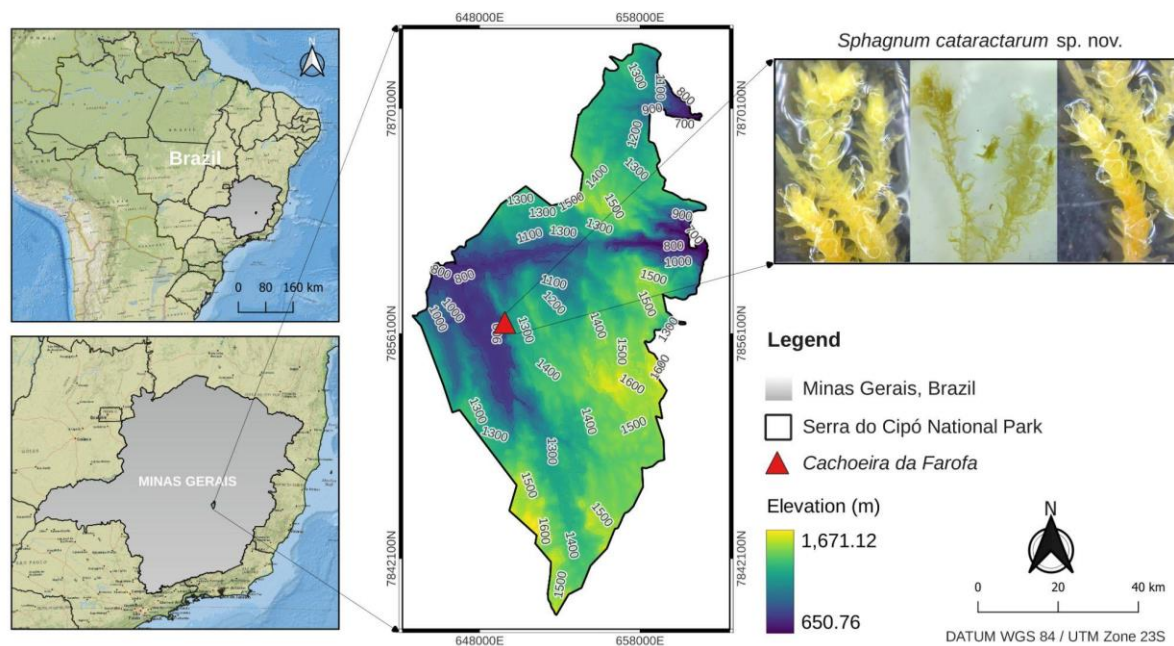


FIGURE 1. Map with the type locality (geographic distribution) of *Sphagnum cataractarum*, Serra do Cipó, Santana do Riacho, Minas Gerais, Brazil.

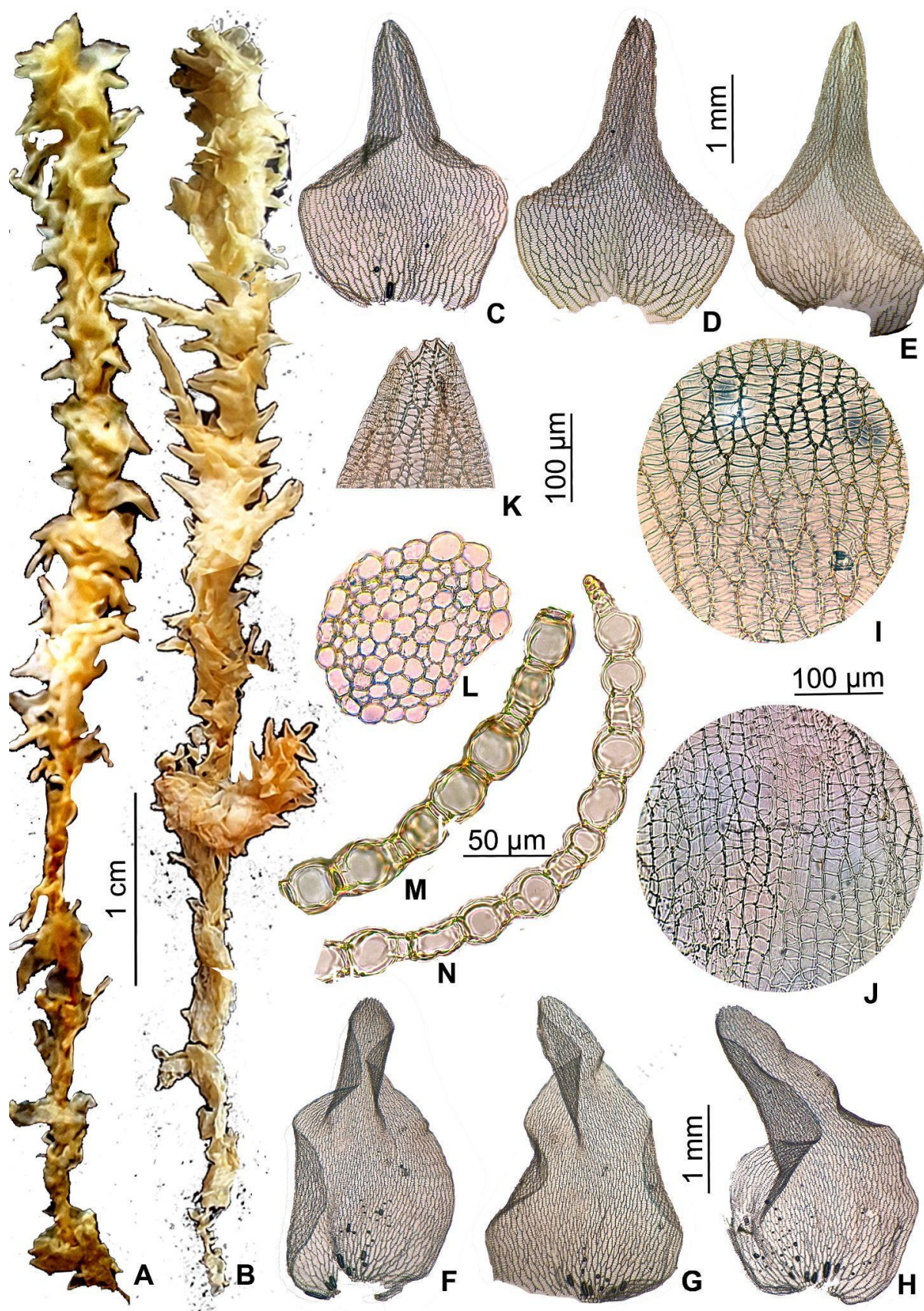


FIGURE 2. Microscopic pictures of different morphological characters of *S. robustoporum* sp. nov. **A–B.** Gametophyte. **C–E.** Branch leaves **F–H.** Stem leaves. **I.** Cell structure on the ventral side of the median portion of the branch leaf. **J.** Cell structure on the ventral side of

the median portion of the stem leaf. **K.** Apex of the branch leaf. **L.** Stem in transverse section
M-N. Branch leaves in transverse section.

TABLE 1. Comparative overview among species similar to *S. cataractarum* (Summarized descriptions from Michaelis 2019 and Costa 2021).

<i>Sphagnum</i>	<i>S. cataractarum</i>	<i>S. cyclophyllum</i>	<i>S. exile</i>	<i>S. ripense</i>	<i>S. laxulum</i>
Plant size	small	small	small	very small	medium-sized plants
Plant colour	pale yellow	yellowish, orange-brown, green, sometimes with red brown tinge	pale green	pale green or yellowish	pale brownish
Stem cortex	one-layered	one-layered	one-layered	one-layered	one-layered
Wood cylinder colour	translucid to yellowish	brown or yellowish	yellowish	yellowish	brown
Stem leaves shape	1.8 to 2 mm long, deltoid in shape, concave from the midsection to the apex, abruptly narrowing to a slender tip, with the apex slightly toothed and truncate, but has a twisted apex.	broadly roundish to ovate with rounded, delicately dentate apex, strongly concave, 3.5 - 4.0 (-6.0) mm long	ovate, ovate-lingulate to ovate-triangular with rounded to obtuse apex, concave, 1.2-1.4 mm long	elongated ovate with rounded, cucullate apex, 3.2-3.5 mm long	elongated ovate with broadly rounded-truncated, dentate apex, about 3.0 mm long
Stem leaves hyaline cells	not or rarely divided, leucocysts with fibrils throughout the whole leaf	undivided, with fibrils down to the leaf base	not or rarely divided, with fibrils throughout the whole leaf	undivided, with fibrils down to the leaf base	undivided or rarely one time divided, with fibrils almost down to the leaf base
Stem Leaf pores		on ventral side with 2-5 rather large, ringed pores in cell angles, on dorsal side with many	on ventral side with several roundish commissural pores in	on ventral side with 2-4 small, elliptic pores or pseudopores along the commissures and in cell	on ventral side with 1-3 small pseudopores in cell angles and along the commissures, on dorsal

		small (up to 20), round to elliptic, ringed commissural pores	loose rows	angles, on dorsal side with 4-8 small, elliptic, ringed pores along the commissures and in cell angles	side with many small, roundish to elliptic commissural pores in dense rows
Branch fascicles	when present are single and small or appear unbranched	not branched plants, rarely with short, single branches	single branches, short (3-6 mm long)	single branches	single branches
Branch leaves shape	Similar to the stem leaves, but it has a constricted apex	structure very similar to stem leaves, only somewhat smaller	ovate-lanceolate with narrowly truncated leaf tip, 1.1-1.4 mm long	ovate-lanceolate to lanceolate with rounded, cucullate, more or less squarrose leaf tip, 2.5-3.0 mm long	broadly ovate with rather broadly rounded-truncated and dentate leaf tip, strongly concave, 1.0-2.5 mm long
Branch leaf pores	Without pores	Similar to stem leaves	on both sides with numerous roundish to elliptic commissural pores	on ventral side with 2-4 (-7) small, elliptic pores or pseudopores along the commissures and in cell angles, on dorsal side with (-2)5-9 small, elliptic, ringed pores along the commissures and in cell angles	on ventral side with 0-2 small pseudopores in cell angles and along the commissures, on dorsal side with many small roundish to elliptic commissural pores in dense rows
Chlorophyll cells of branch leaves in cross	rectangular to trapezoidal, exposed on	Invert trapezoid to rectangular, lumen	triangular to elliptic, often on the ventral side	rectangular to trapezoid, on both sides more or	narrowly elliptic, centred, on both sides

section	both surfaces	invert triangular, on ventral side broadly, on dorsal side narrowly exposed	only scarcely exposed, on dorsal side broadly exposed	less equally broadly exposed	with thickened cell walls exposed
---------	---------------	---	---	------------------------------	-----------------------------------

CAPÍTULO 3

SPORE MORPHOLOGY OF SPHAGNACEAE (BRYOPHYTA) SPECIES FROM BRAZIL

Original Article

Spore morphology of Sphagnaceae (Bryophyta) species from Brazil

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES^{1*}, DENILSON FERNANDES PERALTA²,
CYNTHIA FERNANDES PINTO DA LUZ³

¹ *Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; mateus-tomas@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0939-0511>*

² *Instituto de Pesquisas Ambientais, Av. Miguel Stéfano 3687, Água Funda, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; denilsonfperalta@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4304-72583>*

³ *Laboratório de Palinologia PALINO-IPA, Instituto de Pesquisas Ambientais, Av. Miguel Stéfano 3687, Água Funda, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; cluz@sp.gov.br; <https://orcid.org/0000-0001-7908-155X>*

* *Corresponding author: mateus-tomas@hotmail.com*

Abstract

The Sphagnaceae family, represented by the genus *Sphagnum*, plays a key ecological role in wetland ecosystems, particularly in water retention and carbon sequestration. Despite its importance, spore morphology, a critical trait for taxonomy and dispersal, remains understudied in Brazilian species. This study analyzed the spore morphology and ultrasculpture of 13 Brazilian *Sphagnum* species using light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM). The objective was to determine if these features can distinguish the subgenera *Acutifolia*, *Cuspidata*, *Sphagnum*, and *Subsecunda*. Spores, treated with acetolysis, were found to be monads, isomorphic, heteropolar, bilaterally symmetrical, tetrahedral plano-convex, ranging from 21.9 to 57.1 μm in size. Perine ornamentation varied: *Acutifolia* had densely granulate surfaces, *Cuspidata* showed psilate-undulate pattern, while *Subsecunda* had sparsely granulate surface. Species of *Sphagnum* subgenera exhibited diverse perine surface ornamentation, including scattered gemmate, sparsely granulate, and psilate-undulate types. Principal Component Analysis (PCA) revealed that spore size and sexine and nexine thickness explained most morphological variation (75.51%), while laesura length formed a secondary group (19.28%). Subgenera formed distinct morphological groups, except for *Sphagnum*, which showed internal variability. These findings demonstrate the taxonomic value of spore traits and provide the first comprehensive palynological dataset for Brazilian species, contributing significantly to the Palynotaxonomy of *Sphagnum* and addressing a gap in bryophyte research.

Keywords: bryophytes, mosses, Palynotaxonomy, peat-moss, *Sphagnum*

Introduction

The Sphagnaceae family represents a distinct and remarkable group of mosses, playing a fundamental role in various wetland ecosystems worldwide (Michaelis 2019). This family has a broad geographical distribution and includes only the genus *Sphagnum*. These mosses are recognized for their unique characteristics, such as specialized dead cells that provide water retention properties (Glime 2017). This water storage capacity makes these plants crucial in peatlands and swamp environments, influencing hydrological processes and nutrient cycles (Glime 2017). Additionally, these mosses are essential in mitigating climate change, highlighting their ecological significance in carbon sequestration and retention within peat formation (Newman et al. 2018).

On the other hand, sexual reproduction in *Sphagnum* is essential for forming the sporophyte and spores. The spores possess a sporopollenin layer that prevents desiccation when dispersed by wind over long distances (Zanten & Pócs 1981). According to Michaelis (2019), the sex distribution in *Sphagnum* varies widely among species, and it can be autoicous, dioicous, or polyoicous. This distribution remains unknown for many recently described tropical species.

The antheridia, located on the axis of the leaves, near the branch tips, are globular and short, rupturing to release sperm cells. The archegonia are found on shortened branches that extend after fertilization, elevating the sporophyte. The stalk supporting the capsule, known as the pseudopodium, is formed by gametophytic tissue, differing from the seta found in other mosses (Bryophyta) (Michaelis 2019).

The globular capsule contains the sporangium and opens explosively due to internal pressure, launching spores up to 1.5 m (Glime 2007). Michaelis (2019) states that *Sphagnum* spores have a tetrahedral shape with a trilete laesura. After germination, often mediated by mycorrhizal fungi that may assist in phosphorus supply, the spore develops into a filamentous protonema, which evolves into a lobed thallus, eventually forming a new plant with rhizoids at the base.

Moss spores possess a wall structure (sporoderm) composed of three layers: the innermost intine (cellulosic and removed by acetolysis), the exine (also referred to as the sclerine), and the outermost perine. The exine is further subdivided into the sexine and nexine; the nexine is lamellate and refractive, while the sexine exhibits an atectate granular structure (Olesen & Mogensen 1978; Neidhart 1979; Mogensen 1981; 1983).

Spores are fundamental for dispersal, primarily by wind, and for establishing new populations (Zanten & Pócs 1981; Medina & Estébanez 2014; Glime 2015). In bryophyte systematics, spore characteristics, such as germination patterns, sporoderm ornamentation, spore shape and size, are essential in identifying different lineages (Bischler-Causse et al. 2005; Goffinet & Shaw 2009).

Knowledge regarding *Sphagnum* spores is still underexplored for Brazilian species. Therefore, this study aims to (i) describe and analyze the variation in spore size and morphology and (ii) determine whether it is possible to distinguish the subgenera *Acutifolia*, *Cuspidata*, *Subsecunda*, and *Sphagnum* based on spore ornamentation among the studied Brazilian species.

Material and Methods

Material - This study was conducted using material obtained from the SP Herbarium, Instituto de Pesquisas Ambientais, São Paulo, Brazil.

The sporophytes of *Sphagnum* have a relatively short lifespan and consist almost entirely of a spherical capsule, supported by pseudopodia, which are gametophytic structures that are generally hyaline. Due to this, finding specimens with mature sporophytes is challenging. Over 3,000 herbarium samples were examined in search of sporophytes, and among these, 13 species bearing mature capsules were selected for palynological analysis. The following species, arranged by genus and subgenus, were examined:

Sphagnum subg. *Acutifolia* (Wilson 1855: 20) A.J. Shaw in Shaw et al. (2010: 1523); *Sphagnum aciphyllum* Müll.Hal., *Sphagnum capillifolium* (Ehrh.) Hedw. and *Sphagnum sparsum* Hampe.

Sphagnum subg. *Cuspidata* (Lindb. 1862: 134) A.J. Shaw in Shaw et al. (2010: 1523); *Sphagnum cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm. and *Sphagnum recurvum* P.Beauv.

Sphagnum subg. *Sphagnum* L (1753: 1106); *Sphagnum amoenoides* H.A.Crum, *Sphagnum longistolo* Müll.Hal., *Sphagnum magellanicum* Brid., *Sphagnum palustre* L., *Sphagnum perichaetiale* Hampe and *Sphagnum submedium* Warnst.

Sphagnum subg. *Subsecunda* (Lindb. 1862: 135) A.J. Shaw in Shaw et al. (2010: 1523); *Sphagnum gracilescens* Hampe ex. Müll. Hal. and *Sphagnum longicomosum* Müll. Hal. ex Warnst.

Spore morphology analysis under light microscopy - The spores were prepared for light microscopy at the Laboratório de Palinologia PALINO-IPA, Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), São Paulo, Brazil. Preparations followed the classic acetolysis method of Erdtman (1960), modified by Melhem et al. (2003) and Luizi-Ponzo & Melhem (2006). The main modifications included: (i) acetolysis procedure – the spores were hydrated in distilled water for 24 hours, then transferred to acetic acid for 24 hours; after that, the material was acetolyzed, with the temperature not exceeding 85°C; (ii) preparation of microscope slides – spores embedded in Kisser's glycerin jelly were subsequently mounted on microscope slides for light microscopy. To ensure proper spacing, 1 mm-diameter modeling clay beads were placed at the corners of the coverslips, which were then sealed with paraffin (Reitsma 1969; Melhem et al. 2003).

To avoid swelling, the spores were analyzed within seven days of slide preparation (Salgado-Labouriau et al. 1965). Spore measurements were conducted using an Olympus BX50 binocular light microscope with an Olympus OSM-4 (10x) micrometer drum coupled to the eyepiece. Twenty-five spores were measured per sample to measure the equatorial axis

in polar view (VPME). The arithmetic mean ($\bar{x}$), standard deviation of the mean ($s_{\bar{x}}$), standard deviation of the samples (s), coefficient of variability ($V\%$), and 95% confidence interval (CI) were calculated (Zar 2010, Vieira 2016). Sexine (S) and nexine (N) thickness and the length of a single arm of the triradiate laesura/trilete mark (BLT), are based on 10 measurements, and only the mean is presented.

The spore size classes followed Erdtman (1952), as small sized (10-25 μm), medium sized (25-50 μm) and large sized (>50 μm).

Spore terminology and sporoderm ornamentation elements were described using terminology and definitions proposed by McClymont (1954), Nayar & Devi (1963), Crum & Anderson (1981), Rushing & Snider (1985), Barth & Melhem (1988), Luiz-Ponzo & Barth (1998, 1999) and Luiz-Ponzo (2001), with updates based on Punt et al. (2007).

Spores were photographed with an Olympus U- CMAD-2 video camera and Olympus CellSens 1.5 software coupled to an Olympus BX50 optical microscope. After the measurements, the microscope slides were deposited in the Palynotheca of Laboratório de Palinologia PALINO-IPA.

Spore ultrasculpture analysis under scanning electron microscopy - For scanning electron microscopy (SEM), untreated (non-acetolyzed) spores were taken directly from sporophytes of the exsiccate specimens. The spores were transferred onto a metallic stub and sputter-coated with 70nm of gold in a Leica EM ACE 600 sputter coater (Vienna, Austria). Digitized images were obtained using a JEOL JSM-IT300 LV (Tokyo, Japan) digital scanning electron microscope operating at 20 kV, at the Central Analytical Laboratory of the Institute of Chemistry, University of São Paulo (USP), Brazil.

Principal Component Analysis (PCA) - Principal Component Analysis (PCA) was performed to investigate whether spore characteristics could be used to group species. Four metric variables (VPME, BLT, S, N) were analyzed using FITOPAC software (Shepherd 1996) and

PC-ORD version 7 (McCune & Mefford 2016). Spore measurements were transformed using the natural logarithm [$\log(x + 1)$].

Results

General description

The spores of *Sphagnum* are monads and isomorphic (spores that exhibit very similar shape and size within the same species), heteropolar, with a subtriangular amb and slightly convex interangular zones in polar view (Figs. 1-8). They have a tetrahedral plane-convex shape (with a convex distal face and a flat proximal face) and are medium-sized, except for *S. aciphyllum*, *S. capillifolium*, and *S. sparsum*, whose size range was classified as small to medium, and *S. cuspidatum*, which ranged from medium to large (Table 1).

The proximal face of the spores in all studied species exhibits a single triradiate laesura (trilete mark), surrounded by a margo of variable width along the laesurae (Fig. 1. C, G; Fig. 2. B, F, J, M; Fig. 3. D, H, O; Fig. 4 E; Fig. 6-8). The surrounding proximal surface may present an ornamentation with irregular perforations (only in *S. aciphyllum*, Fig 1. D) or a psilate surface (in the others species, Fig. 2. F; Fig. 2. M; Fig. 3. O) (Table 2).

The distal face displays a distinct trilobed thickening forming a triradiate ridge with bifurcated arms and deep furrows between the ridges. This Y-shaped structure is formed in two ways: either by gemmae and verrucae (only in *S. cuspidatum*, Figs. 1. M-O; Fig. 5. H), or by psilate, anastomosed lobes (in the other species, Fig. 1. D.; Fig. 1. H.; Fig. 1. L; Figs. 4. A-F) (Table 2). The surrounding distal surface may exhibit irregular perforations (only in *S. aciphyllum*, Fig. 1. D), gemmae and verrucae (only in *S. cuspidatum*, Fig. 1. N), or be psilate (in the other species, Figs. 4. A-F) (Table 2).

Differences were observed in the deposits of the outermost layer, or perine (Table 2). The surface of the perine, on both distal and proximal faces, be densely structured with an irregular outline and display scattered gemmae (only in *S. amoenoides*, Fig. 1. I); it may also

be densely granulate (*S. aciphyllum*, *S. capillifolium*, *S. palustre*, *S. perichaetiale*, *S. sparsum*) (Fig. 1. J; Fig. 3. C.; Fig. 3. F.), sparsely granulate (*S. gracilescens*, *S. longicomosum*, *S. longistolo*, *S. magellanicum*) (Fig. 2. B; Fig. 2. D.; Fig. 2. J; Fig. 3. O), or exhibit a psilate and undulate aspect (*S. cuspidatum*, *S. recurvum*, *S. submedium*) (Fig. 1. M; Fig. 3. I; Fig. 4. B; Fig. 5 G-H; Fig. 7 E-F; Fig. 8).

Table 1: Measurements (μm) under light microscopy of *Sphagnum* spores.

Species	VPEM (n=25)				Range (n=25)	BLT (n=10)	S (n=10)	N (n=10)
	CLI - ($\bar{x} \pm \text{sx}$)	CLI +	s	V%				
<i>Sphagnum aciphyllum</i>	25.5 (26.2 $\pm$ 0.3)	26.9	1.6	6.1	23.4 - 30.1	10.3	1.0	0.5
<i>Sphagnum amoenoides</i>	32.0 (33.6 $\pm$ 0.7)	35.1	3.7	11.1	25.7 - 42.1	10.8	1.8	0.8
<i>Sphagnum capillifolium</i>	26.6 (28.2 $\pm$ 0.7)	29.7	3.8	13.4	23.7 - 36.3	9.7	1.0	0.5
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	45.6 (47.2 $\pm$ 0.7)	48.7	5.1	11.0	40.2 - 57.1	13.6	2.8	1.0
<i>Sphagnum gracilescens</i> *	28.1	—	—	—	----	11.2	0.9	0.6
<i>Sphagnum longicomosum</i>	34.0 (35.1 $\pm$ 0.5)	36.3	2.8	8.0	29.5 - 44.0	12.4	1.0	0.7
<i>Sphagnum longistolo</i>	27.4 (28.1 $\pm$ 0.3)	28.8	1.8	6.4	25.1 - 32.2	11.1	1.0	0.5
<i>Sphagnum magellanicum</i>	31.8 (32.8 $\pm$ 0.4)	33.7	2.3	7.0	27.2 - 36.5	12.2	1.8	1.1

<i>Sphagnum palustre</i>	33.1 (34.1 ± 0.5)	35.1	2.3	7.0	29.6 - 38.6	8.0	2.5	1.1
<i>Sphagnum perichaetiale</i>	31.0 (32.1 ± 0.5)	33.2	2.6	8.2	26.8 - 38.1	11.1	0.9	0.7
<i>Sphagnum recurvum</i>	31.8 (33.0 ± 0.6)	34.3	3.1	9.3	26.9 - 37.2	11.6	1.2	0.7
<i>Sphagnum sparsum</i>	24.4 (25.4 ± 0.5)	26.5	2.5	9.8	21.9 - 31.1	9.0	0.9	0.5
<i>Sphagnum submedium</i>	35.3 (36.6 ± 0.6)	38.0	3.2	8.7	30.1 - 44.4	12.2	2.0	0.9

Note. VPEM = length of equatorial axis in polar view; BLT = length of a single arm of the triradiate laesura; S = sexine thickness; N = nexine thickness; $\bar{x}$ = arithmetic mean; s_x = standard deviation from the mean; CI = 95% confidence interval probability of the lowest sample values [CI_l -] and the highest sample values [CI_h +]; s = sample standard deviation; V% = coefficient of variability; Range = minimum and maximum length of equatorial axis in polar view. *Only one spore measured.

Table 2: Morphological characterization of *Sphagnum* spores (size and ornamentation).

Species	Subgenus	Spore size	Proximal face exosporium ornamentation	Distal face exosporium ornamentation	Perine ornamentation
<i>Sphagnum aciphyllum</i>	<i>Acutifolia</i>	small to medium	with irregular perforations surface surrounding the trilete mark	with irregular perforations surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	densely granulate
<i>Sphagnum amoenoides</i>	<i>Sphagnum</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	densely structured with an irregular outline and displays scattered gemmae
<i>Sphagnum capillifolium</i>	<i>Acutifolia</i>	small to medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	densely granulate
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	<i>Cuspidata</i>	medium to large	with psilate surface surrounding the trilete mark	with gemmae and verrucae surrounding a gemmate-verrucate Y-shaped structure	psilate and undulate
<i>Sphagnum gracilescens</i> *	<i>Subsecunda</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	sparsely granulate
<i>Sphagnum longicomosum</i>	<i>Subsecunda</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	sparsely granulate

<i>Sphagnum longistolo</i>	<i>Sphagnum</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	sparsely granulate
<i>Sphagnum magellanicum</i>	<i>Sphagnum</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	sparsely granulate
<i>Sphagnum palustre</i>	<i>Sphagnum</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	densely granulate
<i>Sphagnum perichaetiale</i>	<i>Sphagnum</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	densely granulate
<i>Sphagnum recurvum</i>	<i>Cuspidata</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	psilate and undulate
<i>Sphagnum sparsum</i>	<i>Acutifolia</i>	small to medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	densely granulate
<i>Sphagnum submedium</i>	<i>Sphagnum</i>	medium	with psilate surface surrounding the trilete mark	with psilate surface surrounding a psilate anastomosed Y-shaped structure	psilate and undulate

Principal Component Analysis (PCA)

The first two axes (Figure 5, Table 3) accounted for 94.79% of the total variance in the quantitative data analyzed. The first axis represented 75.51% of the variance (> 0.1196), primarily associated with VPEM, S, and N. The second component explained a smaller portion (19.28%) of the variance (> 0.0505), mainly related to BLT.

Associated with high values on the first axis, the largest spore grains were observed in *Sphagnum cuspidatum* SP433948 (Scus48), *S. submedium* SP388670 (Ssub70), *S. longicomosum* SP534608 (Slon08), *S. palustre* SP90872 (Spal72), and *S. amoenoides* SP220211 (Samo11), respectively. In contrast, smaller spore sizes were recorded for *S. sparsum* SP89341 (Sspa41), *S. aciphyllum* SP524517 (Saci17), *S. longistolo* SP171192 (Sltl92), *S. gracilescens* SP517776 (Sgra76), and *S. capillifolium* SP388679 (Scap79), which were grouped on the left side of the graph.

Species with the highest BLT values — Scus48, Slon08, Ssub70, and *Sphagnum recurvum* SP135600 (Srec00) — were positioned on the upper side of the graph. In contrast, species associated with lower BLT values, such as Spal72, Sspa41, Scap79, and Saci17, were placed on the lower side of the graph.

It is possible to observe in the PCA the formation of groups that reflect the subgenera, where an exclusive group of *Acutifolia* was formed in the lower left quadrant (*Sphagnum aciphyllum* - Saci17, *Sphagnum capillifolium* - Scap79, and *Sphagnum sparsum* - Sspa41); all these species have negative values in E1, which was mainly influenced by the variable S (sexine thickness), and also presented negative values in E2, whose main variable is the length of the trilete laesura arm (BLT). In other words, they have spores with thin walls and a reduced trilete laesura (short arm).

This morphological conformation suggests a conserved pattern within the subgenus, reinforcing the hypothesis that spore characteristics may reflect phylogenetic relationships in

Sphagnum. The clustering of these species in the PCA, with partial overlap on the axes representing wall thickness and trilete laesura thickness, indicates intra-subgeneric morphological coherence, that is, the species of the subgenus *Acutifolia* share similar morphological traits among themselves, which reinforces their evolutionary affinity and aids in the taxonomic delimitation of the group.

Based on the PCA and the coordinates of the principal axes, it was observed that the species of the subgenus *Sphagnum* – *Sphagnum submedium* (Ssub70), *S. magellanicum* (Smag74), *S. amoenoides* (Samo11), and *S. palustre* (Spal72) – showed a relative clustering, especially along axis 1 (E1), predominantly occupying the upper right portion of the plot. This pattern is associated with the presence of a thicker wall, particularly in the sexine, and, in the case of *S. amoenoides*, also with a more developed trilete laesura.

In contrast, *Sphagnum perichaetiale* (Sper94) and *S. longistolo* (Sltd92), although belonging to the same subgenus, did not cluster with the other species. Both showed lower values for the variables related to spore wall thickness (sexine and nexine) and trilete arm length (BLT), indicating less developed spore structures.

The PCA, therefore, revealed two distinct morphological patterns within the subgenus *Sphagnum*, suggesting significant internal heterogeneity. These differences may reflect specific ecological adaptations or evolutionary divergence processes, reinforcing the usefulness of spore characteristics in delimiting natural groups within the genus.

In the PCA analysis, the species of the subgenus *Subsecunda* – *Sphagnum gracilescens* (Sgra76) and *S. longicomosum* (Slon08) – were positioned close to each other in the plot, indicating a similar morphological pattern. Both exhibited typical features of the group, such as thin spore walls and a poorly developed trilete laesura, reinforcing the morphological coherence between them. On the other hand, the species of the subgenus *Cuspidata* showed a less uniform behavior: *Sphagnum recurvum* (Srec00) maintained an intermediate position, consistent with its expected morphology, while *S. cuspidatum* (Scus48)

appeared isolated in the plot, with traits suggesting a thicker spore wall and a less developed trilete laesura. This difference may reflect natural variations within the species, responses to different environments.

Thus, while the subgenus *Subsecunda* exhibited a rather cohesive internal morphology, the subgenus *Cuspidata* showed greater variability among the analyzed species. These results reinforce the taxonomic and systematic value of spore variables in differentiating subgenera in *Sphagnum*, especially when evaluated together using multivariate methods such as PCA.

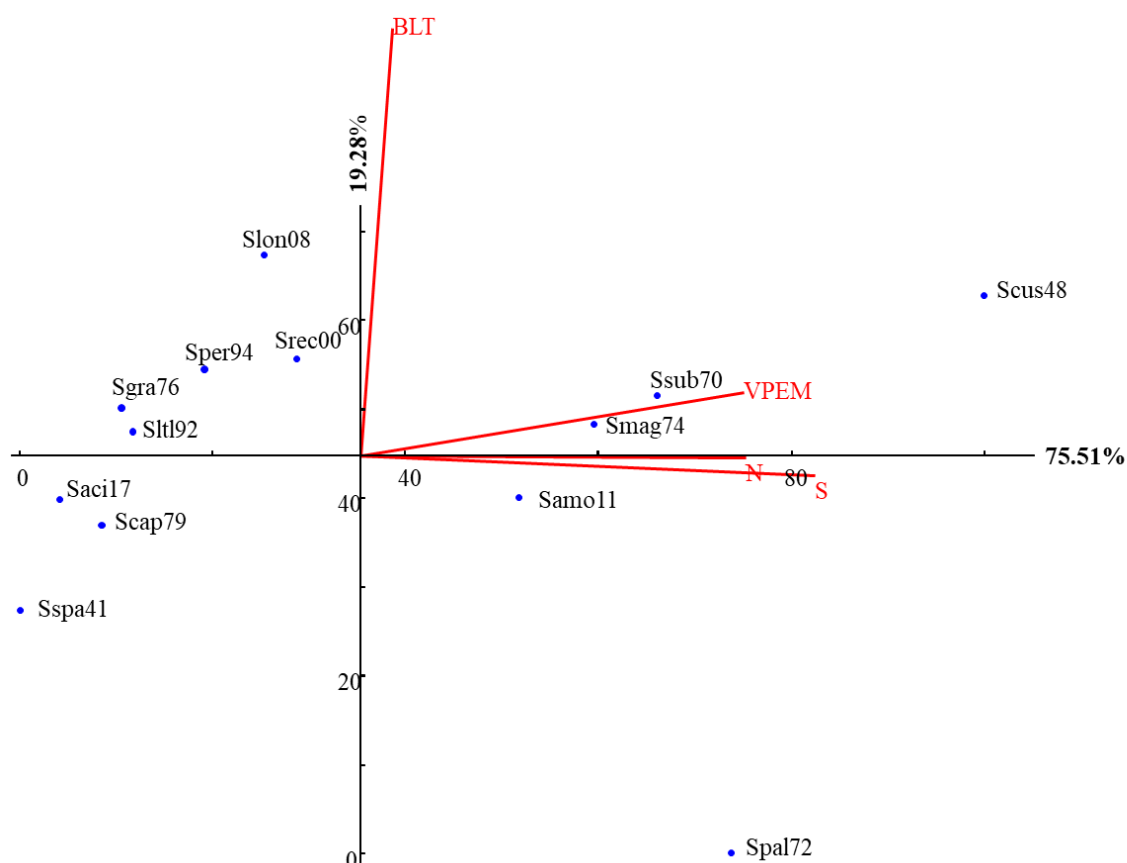


Figure 9. Principal Component Analysis of some Brazilian *Sphagnum* species.

Table 3: Pearson and Kendall coefficients for *Sphagnum* spore's metric variables of the first two axis of principal component analysis ordination.

Principal component		
Variables	Axis 1	Axis 2
VPEM	0.4737	0.3810
S	0.7961	-0.3334
N	0.3571	-0.0505
BLT	0.1196	0.8609

Discussion

Reproductive studies in *Sphagnum* often face challenges due to the rare production of sporophytes and the difficulty of preserving fertile material. In herbarium specimens, capsules are usually open and contain few remaining spores, hindering palynological research. These limitations reduce taxonomic representativeness in studies, as evidenced by the exclusion of the subgenera *Squarrosa* and *Rigida* from this analysis. However, in Brazil, only two species represent these groups: *Sphagnum squarrosum* Crome (*subg. Squarrosa*) and *Sphagnum strictum* Sull. & Lesq. (*subg. Rigida*), the latter is an extremely rare taxon in the country, known from a single record in the state of Bahia. It is worth noting that no sporophytes were found in Brazilian samples of *S. squarrosum*, corroborating its low sporophyte production, which impedes long-distance dispersal (Goffinet & Shaw 2009).

The subgenus *Acutifolia* was the one with the most sporophytes in the specimens of the three studied species, especially *Sphagnum aciphyllum*. This is one of the most common and widespread species in Brazil, occurring in all phytogeographic domains, which may indicate reproductive and dispersal success. Spores of this subgenus showed thinner walls and small to medium size, which may reflect adaptations to specific environmental conditions in which its species occur, such as more drained or exposed habitats, where efficient spore dispersal may be associated with lighter and more delicate structures, more easily dispersed by wind (Patiño & Vanderpoorten 2018; Vanderpoorten et al. 2019).

The two analyzed species of the subgenus *Subsecunda* (*Sphagnum gracilescens* and *Sphagnum longicomosum*) presented the same type of perine ornamentation, "sparsely granulate," that is, with a subtly granulated surface.

The six studied species of the subgenus *Sphagnum* (*S. amoenoides*, *S. longistolo*, *S. magellanicum*, *S. palustre*, *S. perichaetiale*, and *S. submedium*) showed greater variation in perine ornamentation. Most exhibited granules, with some densely granulated (*S. palustre*, *S. perichaetiale*), others with more sparsely distributed granules (*S. longistolo*, *S. magellanicum*), and, in cases like *S. amoenoides*, an irregularly structured surface with scattered gemmae was observed. *Sphagnum submedium*, on the other hand, had a psilate-undulate perine, differing from the others.

The palynological results obtained in this study corroborate previously described morphological observations for the genus *Sphagnum* in species from other regions (Terasmae 1955; Erdtman 1957, 1965; Tallis 1962; Brown et al. 1982; McQueen 1985; Cao & Vitt 1986) with regard to some characteristics, such as tetrahedral shape, presence of a prominent trilete mark with margo, spores with subtriangular amb, and a wall composed of ornamented perine and exine subdivided into sexine and nexine. In addition, the authors indicated the presence of a well-developed Y-shaped trilobed structure on the distal face of the spore.

Perine ornamentation, traditionally recognized as a taxonomically informative character (Tallis 1962; Cao & Vitt 1986), also proved useful for delimiting three of the subgenera of the Brazilian species studied. Species of the subg. *Acutifolia* showed densely granulated ornamentation, visible mainly under light microscopy (LM), as observed in *Sphagnum aciphyllum*, *S. capillifolium*, and *S. sparsum*.

This consistency among Brazilian species reflects patterns already pointed out by McQueen (1985), who studied species of the subgenus *Acutifolia* from North America (*Sphagnum nemoreum* Scop., *Sphagnum rubellum* Wilson, *Sphagnum subtile* (Russow) Warnst., and *S. bartlettianum* Warnst.), indicating conserved perine ornamental traits within the subgenus. In the subg. *Cuspidata*, on the other hand, *S. recurvum* showed a psilate and undulate perine surface, while *S. cuspidatum* exhibited ornamentation composed of verrucae and gemmae arranged in Y-trilobed structures on the distal face, corroborating the studies of Terasmae (1955). This intra-subgeneric variation reinforces the importance of detailed palynological analysis, especially when integrated with SEM observation.

The multivariate analysis (PCA) revealed defined morphological groupings among the subgenera, with spore size, sexine and nexine thicknesses, and laesura length standing out as discriminant variables. These results indicate that there is a stable morphological pattern within each subgenus, suggesting that spore characters maintain relevant diagnostic value for the infraspecific taxonomy of the genus. Additionally, the variation observed within the subgenus *Sphagnum* points to possible heterogeneity that may reflect species complexes or the need for more detailed taxonomic revisions.

The ultrasculpture (SEM) complemented the light microscopy analyses and enabled comparisons with previous SEM-based studies, such as those by Brown et al. (1982) and Cao & Vitt (1986), which revealed complex ornamental structures, including the presence of triradiate ridges. Lamellar patterns in the nexine were observed by these authors using transmission electron microscopy (TEM).

From a systematic perspective, the results confirmed the potential of Palynology as an auxiliary tool in the taxonomic delimitation of *Sphagnum*, especially in tropical regions where the scarcity of fertile capsules has historically limited the use of these characters. Mainly, the combined use of morphological techniques and robust statistical analyses allowed the identification of consistent patterns, reinforcing the applicability of Palynotaxonomy to the genus.

This study represents the first comprehensive analysis of spore morphology in Brazilian species of *Sphagnum* and is intended to contribute significantly to the knowledge of the morphological diversity of the group. In addition, it fills an important gap in the Neotropical literature, with the data presented strengthening the integration of Palynology into the systematic approach to bryophytes.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, National Council for Scientific and Technological Development) for a PhD grant provided to M.T.A. Gonçalves and for the “Productivity in Research” fellowship awarded to C.F.P. da Luz [process no. 307607/2022-4]. The authors also thank the São Paulo Research Foundation (FAPESP) for its financial support [process no. 2017/50341-0 – Institutional Modernization Program for State Research Institutes], which enabled the acquisition of equipment for the Environmental Research Institute. Additionally, we acknowledge the administrative staff and coordinators of the Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Ambientais, for their technical and administrative support.

Author's contributions

MTAG: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing – original draft. ALM: Methodology, Investigation. DFP: Conceptualization, Writing – review and editing. CFPL: Methodology, Formal Analysis, Visualization, Writing – review and editing.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Bischler-Causse H, Gradstein SR, Jovet-Ast S, Long DG, Allen NS. 2005. Marchantiidae. Flora Neotropica, monograph 62: 1–216.
- Boros A, Jarai-Komlodi M. 1975. An Atlas of Recent European Moss Spores. Budapest: Akadémiai Kiadó. 466p.
- Brown RC, Lemmon BE, Carothers ZB. 1982. Spore wall ultrastructure of *Sphagnum lescurii* Sull. Review of Palaeobotany and Palynology 38: 99–107.
- Gao C, Cao T. 1984. Studies on spore morphology of bryophytes (1) – spore morphology of *Sphagnum* observed by light and scanning electron microscope. Bull Bot Res 4(4): 129–136.
- Cao T, Vitt DH. 1986. Spore surface structure of *Sphagnum*. Nova Hedwigia 43(1-2): 19-220.
- Costa DP. 2017. *Sphagnum squarrosum* Crome, subgenus Squarrosa (Russow) Schimp. (Bryophyta: Sphagnaceae), in South America. Check List 13(4): 147–151 <https://doi.org/10.15560/13.4.147>
- Erdtman G. 1952. Pollen morphology and plant taxonomy: Angiosperms. Stockholm: Alquist & Wiksell.
- Erdtman G. 1957. An Introduction to Palynology II Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (illustrations). New York: Ronald Press.

- Erdtman G. 1960. The acetolysis method. A revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift* 54: 561–564.
- Erdtman G. 1965. Pollen and Spore Morphology/Plant Taxonomy III Gymnospermae, Bryophyta (text). Stockholm: Alquist & Wiksell.
- Glime, J.M. (2007) *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton, Michigan. Available from: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/> (accessed: 07 March 2025).
- Glime JM. 2015. Ecophysiology of development: spore germination. In: Glime JM. (ed.) *Bryophyte Ecology*. Vol. 1: 5-2. Physiological Ecology, p. Houghton, E-book sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists.
- Glime, J.M. (2017) Chapter 7-1 Water Relations: Conducting Structures. In: Glime, J.M. (Ed.) *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Last updated 27 December 2021. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, Houghton, Michigan. Available from: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1/> (accessed: 07 March 2025).
- Goffinet B & Shaw AJ. 2009. *Bryophyte Biology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Khantimer EI. 1973. Spore morphology in mosses of Cuspidata section of *Sphagnum*. *Vestn Mosk Univ Ser VI Biol Pochvoved* 28: 37–41.
- Kisser J. 1935. Bemerkungen zum Einschluss in Glycerin-Gelatine. *Zeitschrift für Wissenschaftliche Mikroskopie und Mikroskopische Technik* 51: 372–374.
- Luizi-Ponzo AP & Barth OM. 1998. Spore morphology of some Bruchiaceae species (Bryophyta) from Brazil. *Grana* 37: 222–227.
- Luizi-Ponzo AP & Barth OM. 1999. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. *Grana* 38: 42–49.

- Luizi-Ponzo AP, Melhem TS. 2006. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. *Cryptogamie, Bryologie* 27: 413–420.
- McCune B, Mefford MJ. 2016. PC-ORD multivariate analysis of ecological data. Version 7. Gleneden Beach, OR: MjM Software Design.
- McQueen CB. 1985. Spore Morphology of Four Species of *Sphagnum* in Section Acutifolia. *The Bryologist* 88(1): 1–4.
- Medina NG & Estébanez B. 2014. Does spore ultrastructure mirror different dispersal strategies in mosses? A study of seven Iberian Orthotrichum species. *PLoS*, 9, e112867.
- Melhem TSA, Cruz-Barros MAV, Corrêa AMS, Makino- Watanabe H, Silvestre-Capelato MSF, Gonçalves-Esteves VL. 2003. Variabilidade polínica em plantas de Campos do Jordão. *IBot. São Paulo: Boletim do Instituto de Botânica*.
- Michaelis, D. 2019. *The Sphagnum species of the world*. Bibliotheca Botanica. Stuttgart, Germany. 162: 1–435.
- MINITAB INC. 2003. Minitab for Windows. Version 10.3. State College: Minitab Inc.
- Mogensen GS. 1981. The biological significance of morphological characters in Bryophytes: The spore. *The Bryologist* 84: 187–207.
- Mogensen GS. 1983. The spore. In: Schuster RM. (ed.) *New manual of bryology*. Nichinan, The Hattori Botanical Laboratory. p. 326–341.
- Neidhart HB. 1979. Comparative studies of sporogenesis in bryophytes. In: Clarke CGS, Duckett JG. (eds.) *Bryophyte Systematics*. London, Academic Press. p. 251–280.
- Newman TR, Wright N, Wright B, Sjögersten S. 2018. Interacting effects of elevated atmospheric CO₂ and hydrology on the growth and carbon sequestration of *Sphagnum* moss. *Wetlands Ecology and Management*, 26(5), 763–774.
- <https://doi.org/10.1007/s11273-018-9607-x>

- Olesen P, Mogensen GS. 1978. Ultrastructure, histochemistry and notes on germination stages of spores in selected mosses. *The Bryologist* 81: 493–516.
- Punt W, Hoen PP, Blackmore S, Nilsson L, Thomas A. 2007. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143: 1–81.
- Reistma T. 1969. Size modification of recent pollen grains under different treatments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 9: 175–202.
- Salgado-Labouriau ML, Vanzolini PE, Melhem TS. 1965. Variation of polar axes and equatorial diameters in pollen grains of two species of *Cassia*. *Grana* 6(1): 166–176.
- Shepherd GJ. 1996. *Fitopac 1: manual do usuário*. Campinas: Departamento Universidade Estadual de Campinas.
- Sundberg S, Rydin H. 1988. Spore number in *Sphagnum* and its dependence on spore and capsule size. *Journal of Bryology* 20: 1–16.
- Tallis JH. 1962. The identification of *Sphagnum* spores. *Transactions of the British Bryological Society* 4(2): 209–213.
- Terasmae J. 1955. On the Spore Morphology of Some *Sphagnum* Species. *The Bryologist* 58(4): 306–311.
- Patiño J, Vanderpoorten A. 2018. Bryophyte Biogeography. *Critical Reviews in Plant Sciences* 37(2-3): 175–209.
- Vanderpoorten, A., Patiño, J., Désamoré, A., Laenen, B., Górski, P., Papp, B., Holá, E., Korpelainen, H., Hardy, O. 2019. To what extent are bryophytes efficient dispersers? *Journal of Ecology* 107: 2149–2154. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13161>
- Vieira S. 2016. *Introdução à bioestatística*. 5 ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Wodehouse, R.P. 1935. *Pollen grains – Their structure, identification and significance in science and medicine*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Zanten BO, Pócs T. 1981. Distribution and dispersal of bryophytes. *Advances in Bryology* (1): 479–562.

Zar JH. 2010. Biostatistical analysis. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

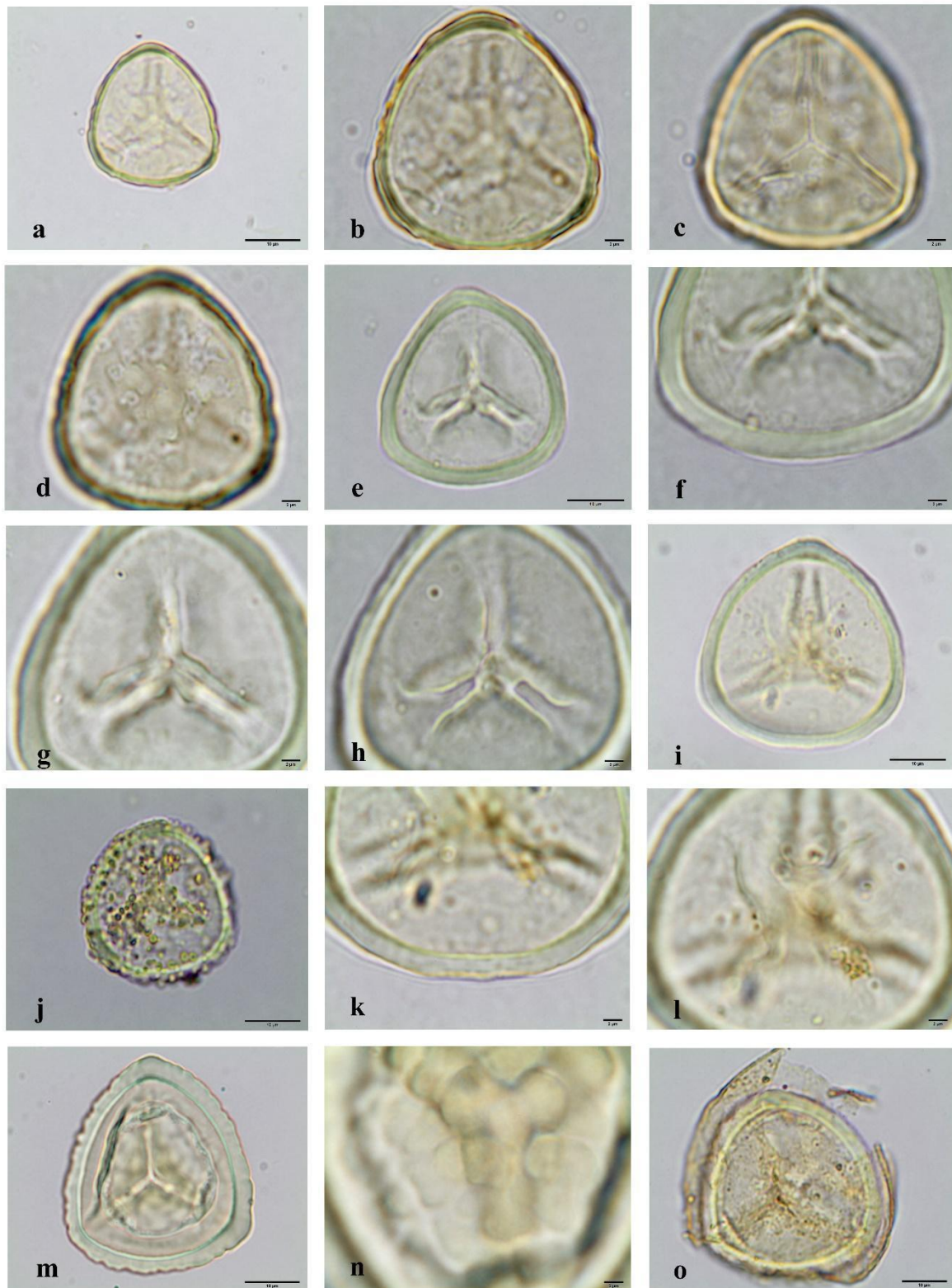


Figure 1. a-o. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-d. *S. aciphyllum* Müll. Hal. a. Polar view, optical section. b. Optical section detail. c. Detail of margo of the trilete laesura. d. Distal pole, high focus (LO1). e-h. *S. amoenoides* H.A.Crum. e. Polar view, optical section. f. Optical section detail. g. Detail of margo of the trilete laesura. h. Distal pole, high focus (LO1). i-l. *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw. i. Polar view, optical section. j. Polar view showing the perine. k. Optical section detail. l. Distal pole, high focus

(LO1). m-o. *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm. m. Polar view, optical section. n. Distal pole, high focus (LO1). o. Perine detail. Scales bars = 10 μm (a, e, i, j, m, o); 2 μm (b, c, d, f, g, h, k, l, n).

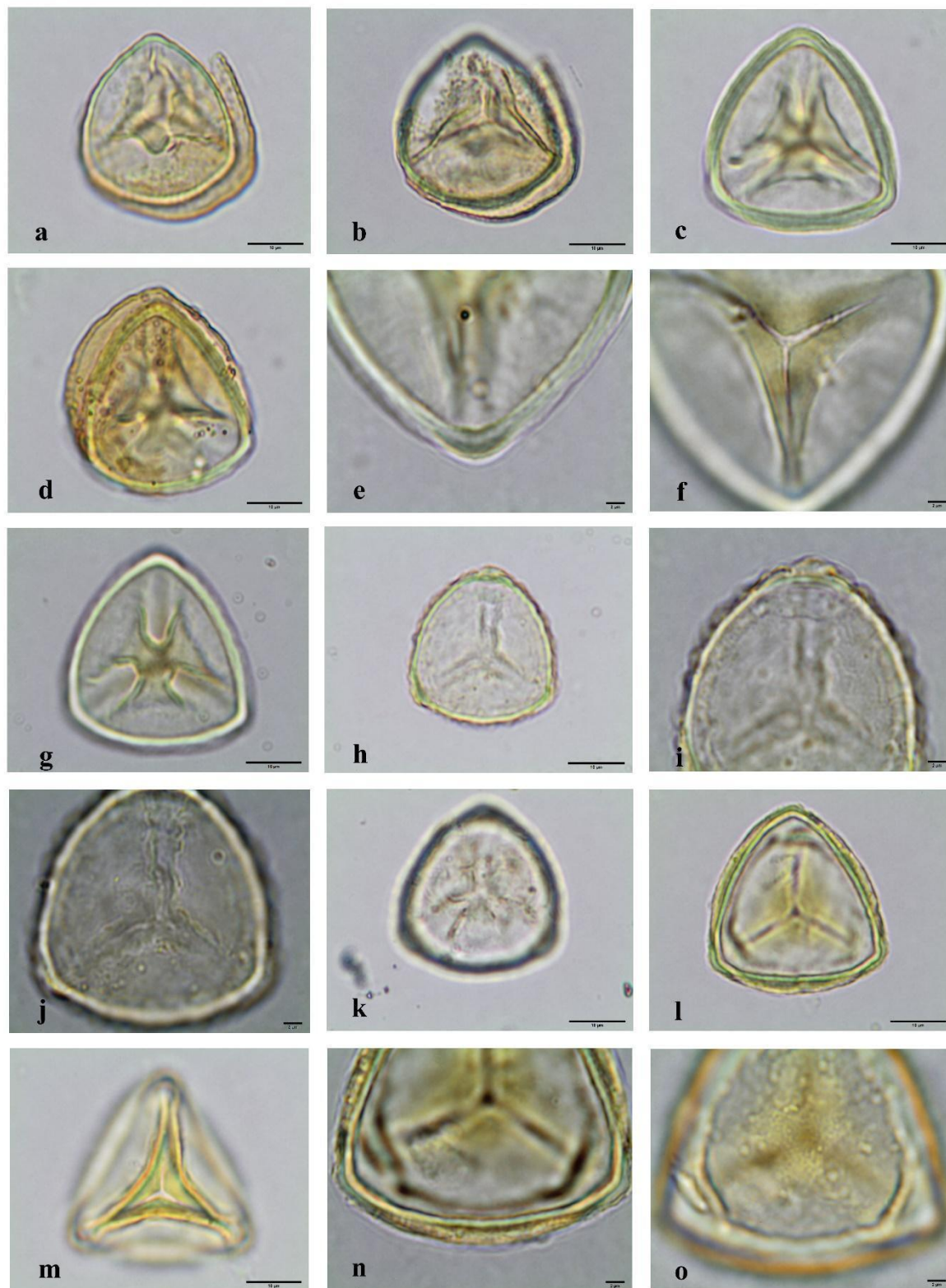


Figure 2. a-o. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-b. *S.*

gracilescens Hampe ex. Müll. Hal. a. Polar view, optical section. b. Polar view, trilete laesura. c-g. *S. longicomosum* Müll. Hal. ex Warnst. c. Polar view, optical section. d. Perine detail. e. Optical section detail. f. Detail of margo of the trilete laesura. g. Distal pole, high focus (LO1). h-l. *S. longistolo* Müll. Hal. h. Polar view, optical section. i. Optical section detail. j. Detail of margo of the trilete laesura. k. Distal pole, high focus (LO1). l-o. *S. magellanicum* Brid. l. Polar view, optical section and perine. m. Detail of margo of the trilete laesura. n. Optical section and perine details. o. Distal pole, high focus (LO1) of perine. Scale bars = 10 μm (a, b, c, d, g, h, k, l, m); 2 μm (e, f, i, j, n, o).

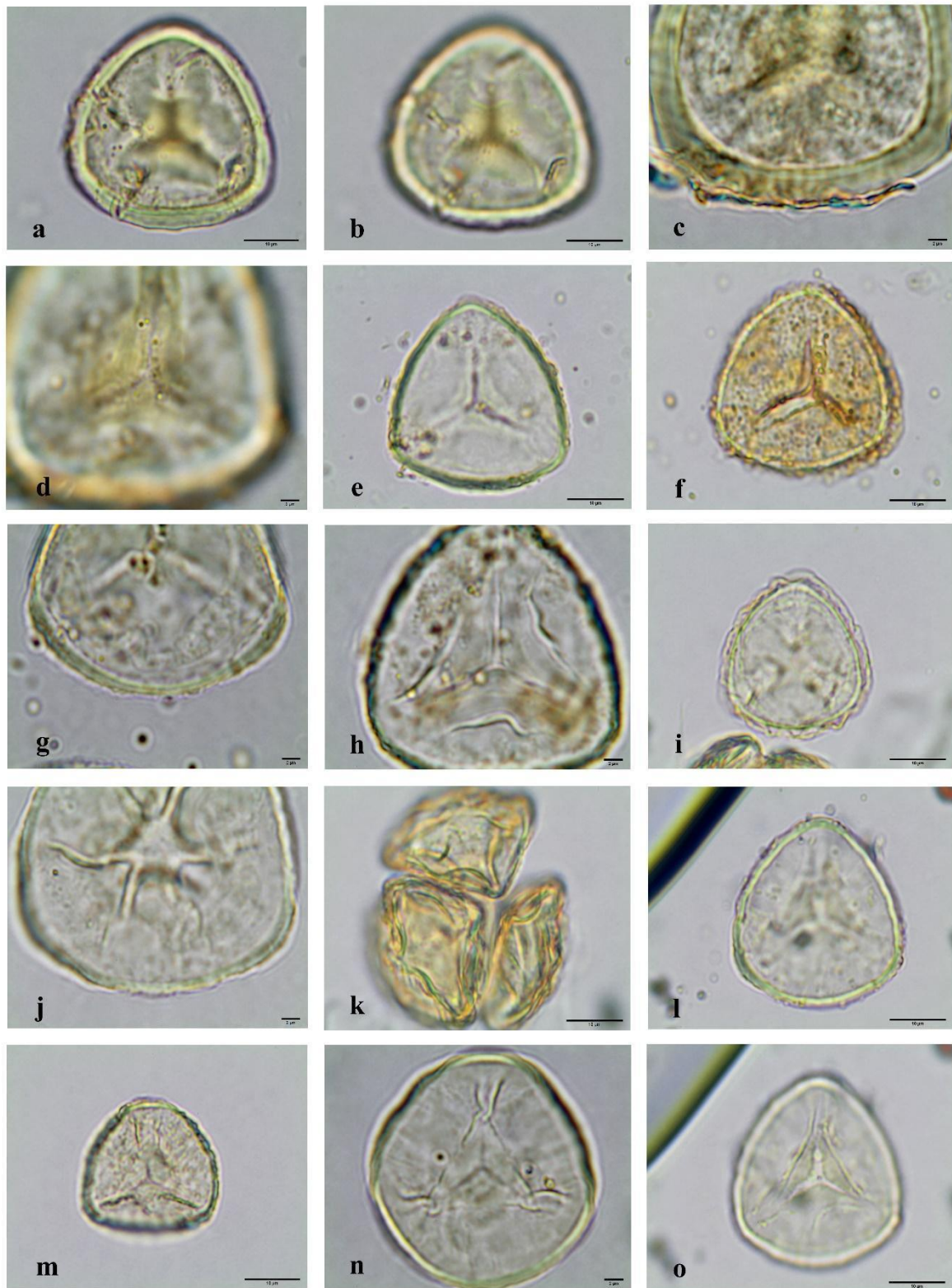


Figure 3. a-o. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-d. *S. palustre* L. a. Polar view, optical section. b. Distal pole, high focus (LO1). c. Optical section and perine details. d. Detail of margo of the trilete laesura. e-h. *S. perichaetiale* Hampe. e. Polar view, optical section. f. Polar view, perine. g. Optical section detail. h. Detail of margo of the trilete laesura. i-k. *S. recurvum* P. Beauv. i. Polar view, optical section and perine. j. Distal pole, high focus (LO1). k. Spores in tetrad arrangement. l-o. *S. sparsum* Hampe. l.

Polar view, optical section. m. Polar view, perine. n. Optical section detail. o. Detail of margo of the trilete laesura. Scale bars = 10 μm (a, b, e, f, i, k, l, m, o); 2 μm (c, d, g, h, j, n).

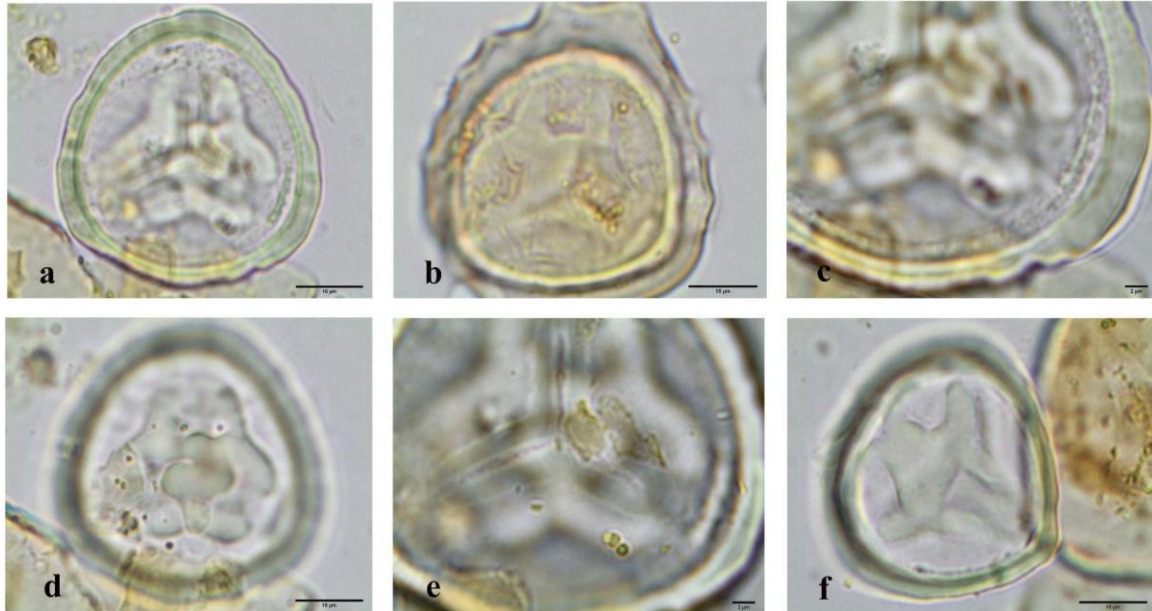


Figure 4. a-f. Light microscopy (LM) photomicrographs of *Sphagnum* L. spores. a-f. *S. submedium* Warnst. a. Polar view, optical section. b. Polar view, perine. c. Optical section detail. d. Distal pole, high focus (LO1). e. Detail of margo of the trilete laesura. f. Distal pole, anastomosed Y-shaped structure detail. Scale bars = 10 μm (a, b, d, f); 2 μm (c, e).

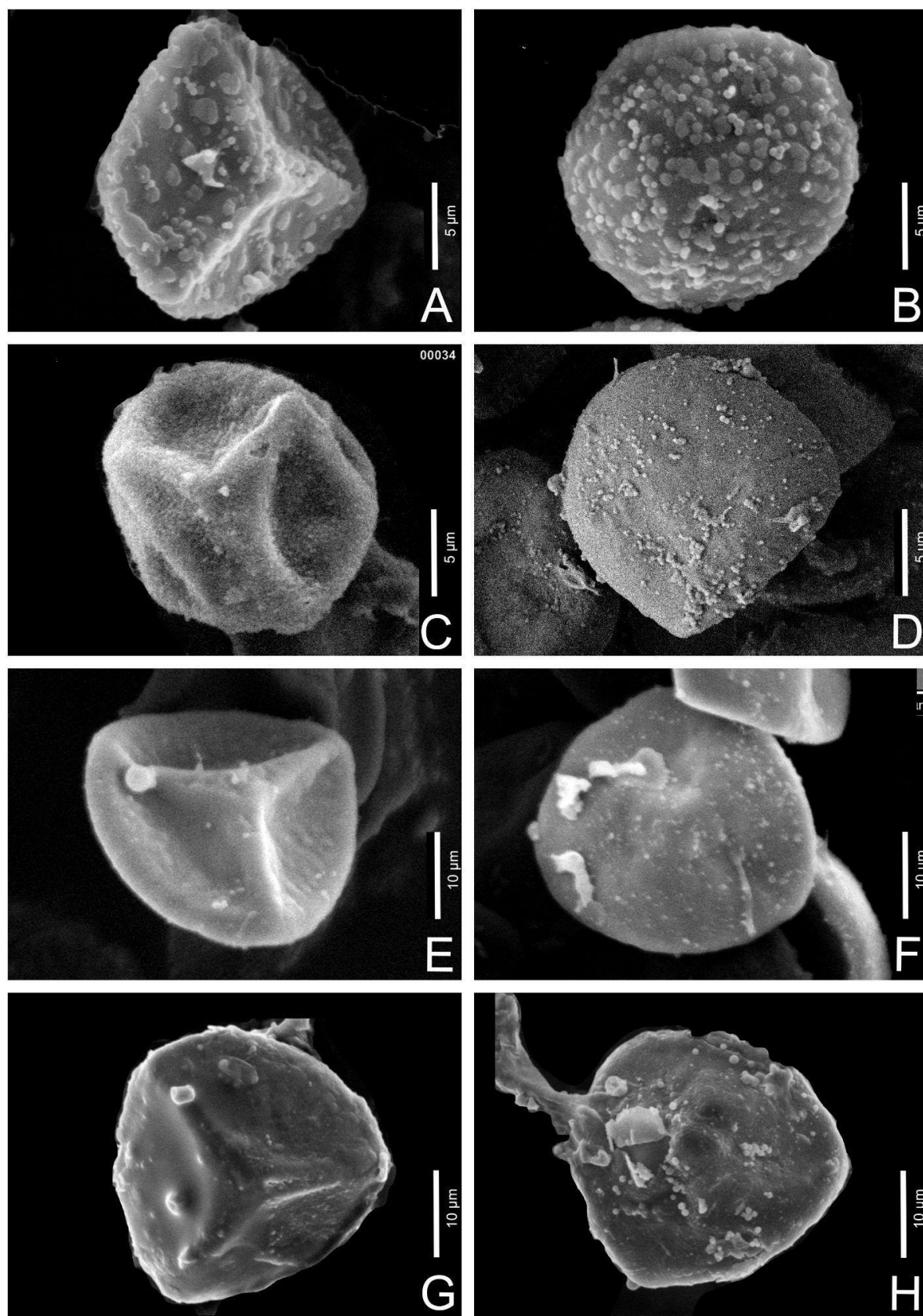


Figure 5. SEM of untreated spores of *Sphagnum* L. A-B. *Sphagnum aciphyllum*. C-D. *Sphagnum amoenoides*. E-F. *Sphagnum capillifolium*. G-H. *Sphagnum cuspidatum*. Scale bars = 10 µm (e, f, g, h); 5 µm (a, b, c, d).

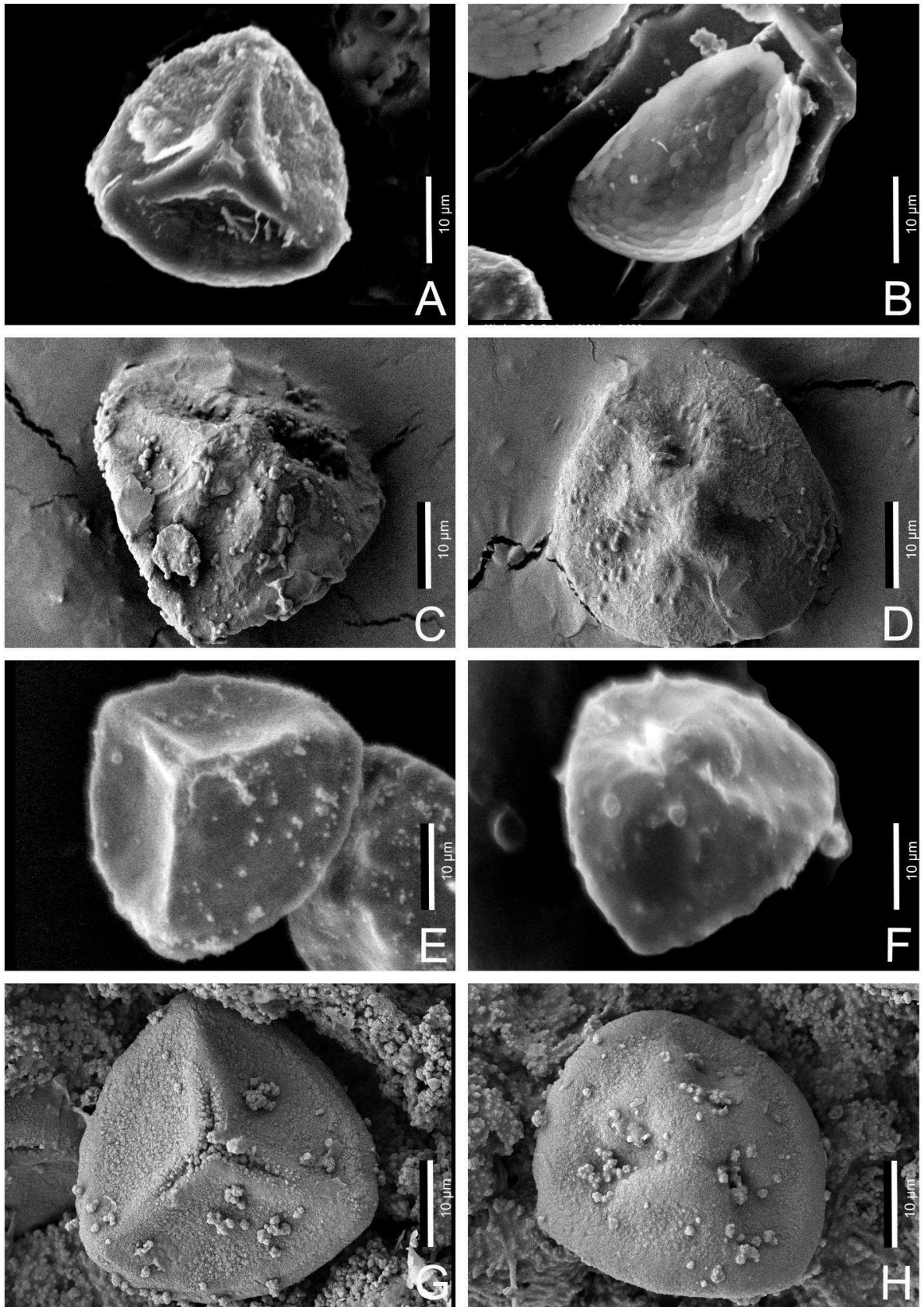


Figure 6. SEM of untreated spores of *Sphagnum*, except *S. longicomosum* and *S. magellanicum*, which were acetolyzed. A-B. *Sphagnum gracilescens*. C-D. *Sphagnum longicomosum*. E-F. *Sphagnum longistolo*. G-H. *Sphagnum magellanicum*. Scale bars = 10 µm.

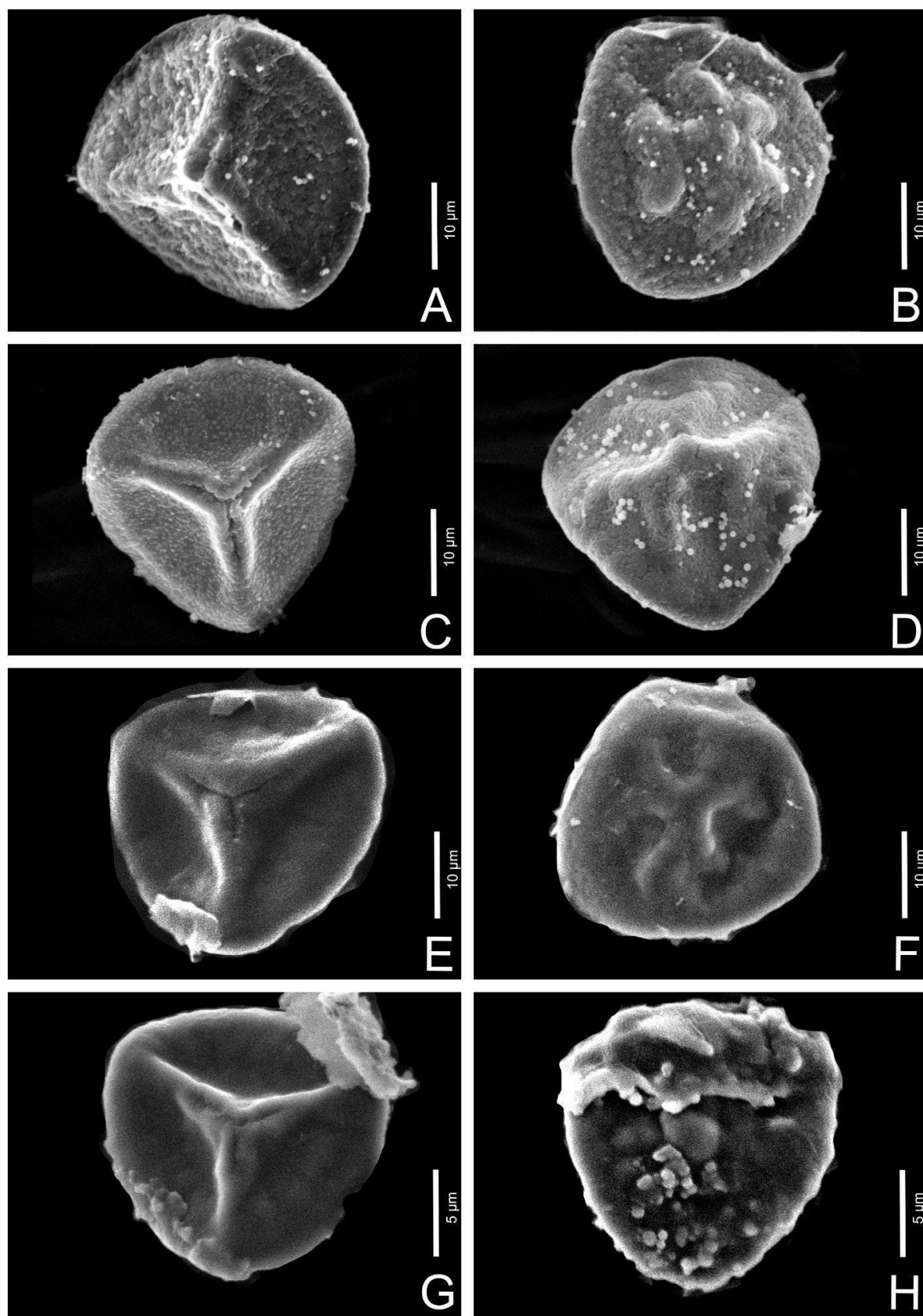


Figure 07. SEM of untreated spores of *Sphagnum*. A-B. *Sphagnum palustre*. C-D. *Sphagnum perichaetiale*. E-F. *Sphagnum recurvum*. G-H. *Sphagnum sparsum*. Scale bars = 10 µm (a, b, c, d, e, f); 5 µm (g, h).

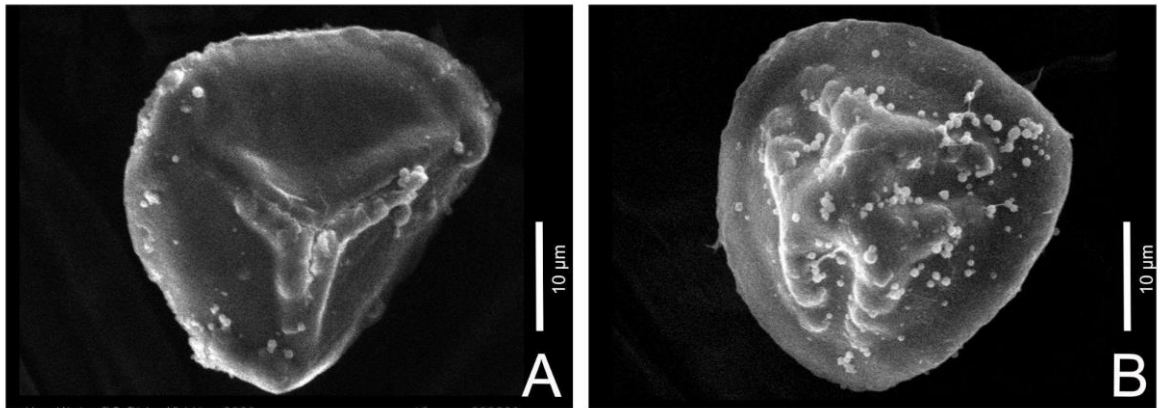


Figure 8. SEM of untreated spores of *Sphagnum submedium*. A. Proximal pole, detail of margo of the trilete laesura. B. Distal pole, Distal pole, anastomosed Y-shaped structure detail. Scale bars = 10 µm.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DO RISCO DE EXTINÇÃO DE ESPÉCIES ENDÊMICAS DE SPHAGNACEAE NO BRASIL

Avaliação do risco de extinção de espécies endêmicas de Sphagnaceae no Brasil**Extinction risk assessment of endemic Sphagnaceae species in Brazil**

Mateus Tomás Anselmo Gonçalves - <https://orcid.org/0000-0003-0939-0511>

Denilson Fernandes Peralta - <https://orcid.org/0000-0003-4304-7258>

Título resumido: Lista vermelha de Sphagnaceae do Brasil.

¹ Instituto de Pesquisas Ambientais, Núcleo de Coleções Biológicas, Avenida Miguel Estéfano 3687, Água Funda, 04301-902 São Paulo, SP, Brasil

² Autor para correspondência: mateus-tomas@hotmail.com

ABSTRACT – (Extinction risk assessment of endemic Sphagnaceae species in Brazil) This study presents the national assessment of the extinction risk of endemic species of the Sphagnaceae family in Brazil, based on the IUCN criteria and specific guidelines for bryophytes. Fifty species of the genus *Sphagnum* endemic to the country were analyzed using geographic distribution data from recent collections, herbaria, and specialized literature. The Extent of Occurrence (EOO) and Area of Occupancy (AOO) were calculated with the aid of GeoCAT software. Of the species evaluated, two was considered possibly extinct [CR(PE)], four were classified as critically endangered (CR), seven as endangered (EN), 10 as vulnerable (VU), three as near threatened (NT), twenty as least concern (LC), and four as data deficient (DD). The main threats identified were disorderly tourism, agricultural expansion, fires, invasive alien species, and habitat loss. This work represents the first systematic assessment for the group in Brazil and supports conservation strategies aimed at humid ecosystems.

Keywords: Bryophytes, Red List, conservation, threatened species, IUCN, Atlantic Forest.

RESUMO - (Avaliação do risco de extinção de espécies endêmicas de Sphagnaceae no Brasil) Este estudo apresenta a avaliação nacional do risco de extinção das espécies endêmicas da família Sphagnaceae no Brasil, com base nos critérios da IUCN e diretrizes específicas para as briófitas. Foram analisadas 50 espécies do gênero *Sphagnum* endêmicas do país, por meio de dados de distribuição geográfica provenientes de coletas recentes, herbários e literatura especializada. A Extensão de Ocorrência (EOO) e a Área de Ocupação (AOO) foram calculadas com o auxílio do software GeoCAT. Das espécies avaliadas, duas foram considerada possivelmente extinta [CR(PE)], quatro foram classificadas como criticamente em perigo (CR), sete como em perigo (EN), 10 como vulneráveis (VU), três como quase ameaçadas (NT), vinte como pouco preocupantes (LC) e quatro como dados deficientes (DD). As principais ameaças identificadas foram o turismo desordenado, expansão agrícola, queimadas, espécies exóticas invasoras e perda de habitat. Este trabalho representa a primeira avaliação sistemática para o grupo no Brasil e subsidia estratégias de conservação voltadas a ecossistemas úmidos.

Palavras-chave: musgos, conservação, IUCN, áreas úmidas, Campos Rupestres, turfeiras.

Introdução

As Listas Vermelhas, elaboradas conforme os critérios da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) são ferramentas essenciais para diagnosticar o estado atual da biodiversidade e orientar ações de conservação. Ao categorizar espécies segundo seu risco de extinção, essas listas fornecem subsídios técnicos e científicos para o desenvolvimento de políticas públicas, definição de áreas prioritárias e alocação de recursos em estratégias de proteção da flora e fauna, tanto em escala global quanto regional (Rodrigues et al., 2006; IUCN, 2022).

Dentro do grupo das briófitas, a família Sphagnaceae, representada exclusivamente pelo gênero *Sphagnum*, desempenha um papel ecológico chave nos ecossistemas úmidos. Esses musgos contribuem significativamente para a manutenção da umidade do solo, regulação do ciclo hidrológico, formação de turfeiras e sequestro de carbono atmosférico, o que os torna fundamentais na mitigação das mudanças climáticas (Rydin & Jeglum, 2013).

No Brasil, a diversidade de *Sphagnum* é expressiva, com 44 espécies reconhecidamente endêmicas das 75 existentes no país (cerca de 1/3 das espécies do mundo). Estas espécies ocorrem majoritariamente nos domínios da Mata Atlântica e da Amazônia (Costa, 2021; Costa & Peralta, 2015). Apesar de sua importância ecológica e do alto grau de endemismo, a avaliação do risco de extinção dessas espécies permanece incipiente. Isso reflete não apenas a escassez de dados taxonômicos e ecológicos, mas também a sub-representação do grupo nos esforços nacionais de avaliação da biodiversidade, como evidenciado pelo CNCFlora, que até o momento avaliou cerca de 15,5% da flora nacional, com 48% das espécies avaliadas classificadas como ameaçadas (Martinelli & Moraes, 2013).

Diversos esforços têm sido realizados para avaliar o risco de extinção de briófitas no Brasil, tanto em escala nacional quanto regional. Em nível nacional, destacam-se o capítulo da tese de doutorado de Costa (1999), que abordou a conservação da família Metzgeriaceae, e as avaliações de famílias de briófitas incluídas no Livro Vermelho da Flora do Brasil (Martinelli et al., 2018). Em escala regional, merecem destaque as análises conduzidas nos estados de Pernambuco (Pôrto & Germano, 2002), Rio de Janeiro (Costa et al., 2005; Costa & Santos, 2009), Minas Gerais (Costa et al., 2006) e Espírito Santo (Yano & Peralta, 2007; Santos et al., 2019), que contribuíram significativamente para o entendimento da flora criptogâmica ameaçada em contextos estaduais.

Estudos mais específicos também foram realizados para grupos e áreas prioritárias. Messina (2015) avaliou a família Sphagnaceae em duas áreas de importância ecológica: a Reserva Particular do Patrimônio Natural da Serra do Caraça (MG) e o Parque Nacional da

Chapada dos Veadeiros (GO). No Parque Nacional do Itatiaia (RJ), Rezende (2015) estudou as espécies de hepáticas ameaçadas, enquanto Gonçalves et al. (2023) realizaram uma análise do risco de extinção regional dos musgos ocorrentes nos campos de altitude da mesma unidade de conservação.

Além dessas iniciativas, outros trabalhos têm contribuído para o conhecimento da conservação de briófitas, ainda que sem aplicar diretamente os critérios de avaliação de risco. É o caso de Costa & Rezende (2015), que publicaram um guia de campo ilustrado sobre hepáticas ameaçadas do Parque Nacional do Itatiaia, e de Gonçalves & Santos (2018), que reuniram dados sobre hepáticas e musgos ameaçados dos campos de altitude da mesma região, incluindo informações taxonômicas, distribuição geográfica, substratos, status de conservação e histórico de coleta.

As briófitas, em especial o gênero *Sphagnum*, estão entre os grupos vegetais mais sensíveis às alterações ambientais, sendo fortemente afetados pela degradação de habitats, poluição, mudanças no uso da terra e variações climáticas (Gradstein et al., 2001; Costa et al., 2020). No Brasil, esses impactos são intensificados pelo avanço do desmatamento, da urbanização e da conversão de áreas naturais em pastagens e monoculturas, fatores que comprometem diretamente a integridade dos ecossistemas onde *Sphagnum* ocorre (Silva & Bates, 2002).

Desta forma, no Brasil, a maioria dos esforços conservacionistas são realizados por meio da inclusão de táxons em Listas Vermelhas e da criação de Unidades de Conservação. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o risco de extinção das espécies endêmicas de *Sphagnum* no Brasil. Tal avaliação é fundamental para subsidiar ações concretas de manejo e conservação, além de contribuir para o preenchimento de lacunas no conhecimento sobre a flora criptogâmica brasileira. Este estudo apresenta a primeira análise de risco de extinção para as espécies endêmicas de Sphagnaceae no Brasil, fundamentada nos critérios da IUCN e em dados provenientes de herbários, literatura especializada e levantamentos de campo recentes.

Material e Métodos

Área de estudo - A área de estudo compreende todo o território brasileiro, que abriga uma elevada diversidade de ecossistemas e formações vegetacionais, como a Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal. Essa diversidade ecológica, aliada às condições climáticas e topográficas únicas, favorece a ocorrência de espécies endêmicas de *Sphagnum*, especialmente em áreas úmidas, campos de altitude, bordas de florestas e

ambientes rupestres. A análise concentrou-se exclusivamente nas espécies com distribuição restrita ao Brasil, ou seja, endêmicas, conforme registros históricos e recentes.

Lista de espécies - Para criar a lista das espécies endêmicas de *Sphagnum* do Brasil, foram consultados materiais dos herbários CAP, FLOR, ICN, MICH, SJRP, SP, R, RBR, UB e VIES, que totalizaram 2.602 exsicatas analisadas. Além disso, utilizamos como referências o livro global de espécies de *Sphagnum* (Michaelis 2019), a sinopse para a família no Brasil (Costa 2022), JStorTypes, GBIF e coletas recentes realizadas em áreas de alto endemismo.

Análise do risco de extinção - O risco de extinção das espécies foi avaliado segundo os Critérios e Categorias da IUCN (2012, 2022), com base nas diretrizes específicas para briófitas (Hallingbäck et al., 1998; Hodgetts et al., 2019). Nove categorias foram consideradas: RE (Regionalmente Extinta), CR(PE) (Criticamente em Perigo – Possivelmente Extinta), CR (Criticamente em Perigo), EN (Em Perigo), VU (Vulnerável), NT (Quase Ameaçada), DD (Dados Deficientes), LC (Pouco Preocupante) e NE (Não Avaliada).

As avaliações basearam-se principalmente no critério B, considerando a Área de Ocupação (AOO) como indicador prioritário, conforme recomendado para briófitas, devido à escassez de dados populacionais robustos que permitissem aplicar os critérios A e C. Em casos de incerteza, como a ausência de coletas recentes ou discrepâncias entre dados de campo e de herbário, foi adotada a categoria DD (IUCN, 2022).

A AOO e EOO foram calculadas com o software GeoCAT, utilizando o *grid* padrão de 2×2 km para AOO. No entanto, a classificação final das categorias de risco também considerou informações de campo inéditas e observações diretas feitas pelos autores, baseadas em mais de 2.600 amostras identificadas de *Sphagnum* nos principais herbários nacionais, além de coletas pessoais e conhecimento sobre as ameaças e o grau de fragmentação dos habitats. A experiência direta com as populações, aliada ao conhecimento taxonômico aprofundado, permitiu ajustes nas categorias propostas automaticamente pelo GeoCAT, conferindo maior precisão à avaliação de risco para este grupo sub-representado.

Adotamos como ponto de corte o ano de 1970 para classificar espécies como RE ou CR(PE), conforme prática adotada na Lista Vermelha das briófitas da Itália (Puglisi et al., 2024) e da Irlanda (Lockhart et al. 2012), que considera esse intervalo adequado para inferência robusta sobre extinção regional.

Cada espécie teve seu critério explicitamente descrito segundo a nomenclatura oficial da IUCN. Por exemplo: VU B2 ab(ii, iii, iv), significa que a espécie foi classificada como "Vulnerável" (VU) com base em sua "Área de Ocupação" (B2) restrita, combinada com declínios observados em: (ii) área de ocupação; (iii) qualidade do habitat; (iv) número de localidades.

Cálculo da EOO e AOO - Utilizamos dados de distribuição geográfica das espécies para calcular a Extensão de Ocorrência (EOO) e a Área de Ocupação (AOO) por meio do software GeoCAT (Geospatial Conservation Assessment Tool – Bachman et al., 2011), que aplica automaticamente o critério B da IUCN. A EOO foi determinada utilizando o método do polígono convexo mínimo, enquanto a AOO foi calculada com base no *grid* padrão de 2×2 km (4 km²), conforme recomendado para briófitas (Hodgetts et al., 2019; Puglisi et al., 2023, 2024).

As coordenadas geográficas foram extraídas de etiquetas de herbário e bases de dados *online*, sendo posteriormente revisadas e refinadas quando necessário. A identificação das espécies foi verificada com base na literatura especializada (Michaelis 2019; Costa 2022).

No entanto, por apresentarem ampla distribuição natural, frequentemente com grandes disjunções entre populações, a métrica de Extensão de Ocorrência (EOO) pode ser menos informativa para briófitas do que para outros grupos taxonômicos (Hallingbäck et al. 2000; Lockhart et al. 2012). Por esse motivo, priorizamos a aplicação da Área de Ocupação (AOO) como critério principal para a avaliação do risco de extinção.

Adicionalmente, a fragmentação das subpopulações é uma questão relevante, embora nem sempre documentada em briófitas. De acordo com Hallingbäck et al. (2000), recomenda-se considerar como indicativo de fragmentação severa uma distância mínima superior a 50 km entre subpopulações em táxons sem dispersão de esporos, e uma distância entre 100 km e 1.000 km para táxons com capacidade de dispersão por esporos.

Resultados

Foi avaliado o risco de extinção de 50 espécies de *Sphagnum* endêmicas do Brasil (Tabela 1). Com base nos critérios da IUCN, *Sphagnum amoenum* Warnst. e *S. paranense* H.A.Crum (Fig. 4) foram classificadas como Criticamente em Perigo – Possivelmente Extintas [CR(PE)]. Quatro espécies foram categorizadas como Criticamente em Perigo (CR): *S. vitalii* H.A.Crum, *S. chi-chiense* var. *ulvidulum* H.A.Crum, *S. cribriforme* H.A.Crum e *S.*

leonii H.A.Crum (Fig. 3). Sete espécies foram avaliadas como Em Perigo (EN): *S. costae* H.A.Crum & D.P.Costa, *S. contortulum* H.A.Crum, *S. microcuspidatum* H.A.Crum, *S. frahmii* H.A.Crum, *S. harleyi*, *S. irwinii* e *Sphagnum luetzelburgii* H.K.G. Paul ex H.A.Crum. Dez espécies foram classificadas como Vulnerável (VU), totalizando 45% das espécies avaliadas como ameaçadas (Fig. 1).

Três táxons foram classificados como Quase Ameaçados (NT): *S. obliquefibrosum* H.A.Crum, *S. parcoramosum* H.A.Crum, *S. rotundatum* Müll.Hal. ex Warnst.; embora possuam Extensão de Ocorrência (EOO) ampla, a contínua perda de habitat nas regiões onde ocorrem pode levá-los a serem incluídos em categorias de ameaça em avaliações futuras. Vinte espécies foram consideradas de Menor Preocupação (LC), enquanto quatro foram designadas como Dados Deficientes (DD), sobretudo em razão da ausência de coletas recentes e das incertezas quanto à extensão e qualidade dos habitats e também da validade taxonômica.

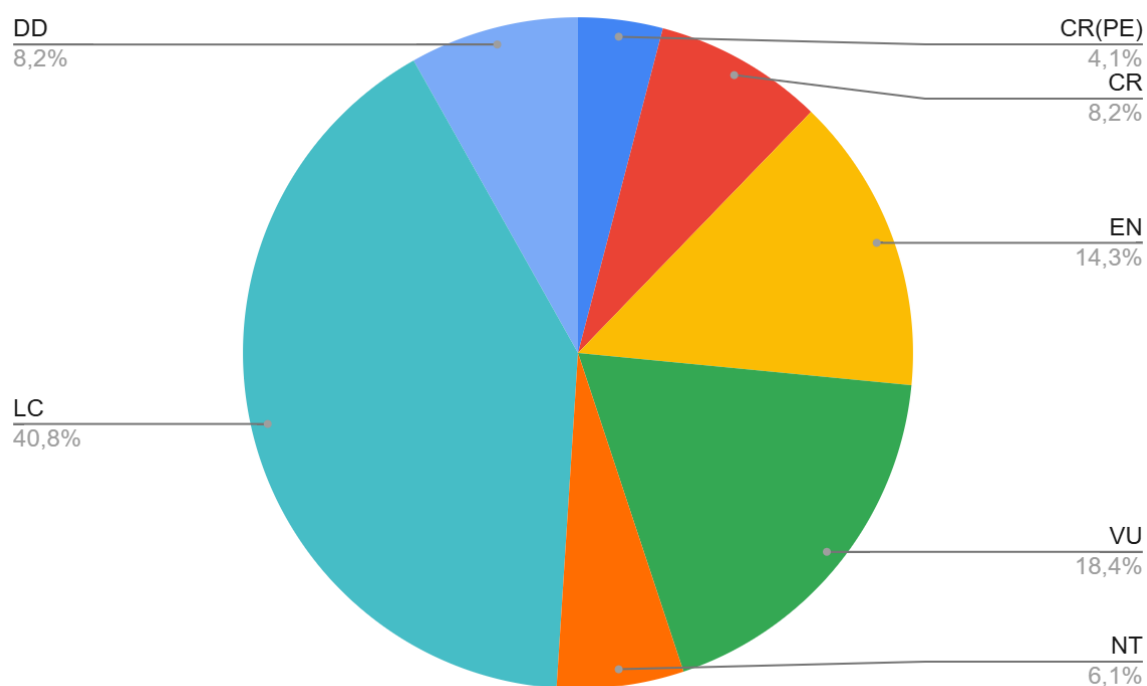


Figura 1. Categorias de ameaça das espécies endêmicas de *Sphagnum*.

As principais ameaças identificadas incluem o desmatamento (1.1), a expansão urbana (1.3), turismo descontrolado (6.1) e mudanças no regime hídrico (7.2), frequentemente atuando de forma combinada (IUCN 2022).

Esses resultados demonstram a urgência da ampliação de coletas botânicas em áreas ainda subexploradas e a necessidade de medidas de conservação específicas para *Sphagnum*. A presença de diversas espécies em áreas protegidas (UCs) não garante sua proteção efetiva, dada à intensificação de impactos climáticos e do extrativismo de *Sphagnum*.

A maioria das espécies endêmicas (27) apresentou ocorrência exclusiva na Floresta Atlântica, seguida por três espécies exclusivas da Amazônia (*Sphagnum amazonicum* H.A.Crum & W.R.Buck, *Sphagnum curicuriariense* H.A.Crum & W.R.Buck, *Sphagnum dimorphophyllum* H.A.Crum & W.R.Buck) e outras duas no Cerrado (*Sphagnum cribriforme* H.A.Crum e *Sphagnum garysmithii* H.A.Crum). Esses dados destacam a Floresta Atlântica como o principal centro de endemismo para o gênero *Sphagnum* no Brasil, reforçando sua importância para a conservação dessas espécies.

Foram registradas novas ocorrências para vários estados brasileiros marcados com (*) na tabela 1.

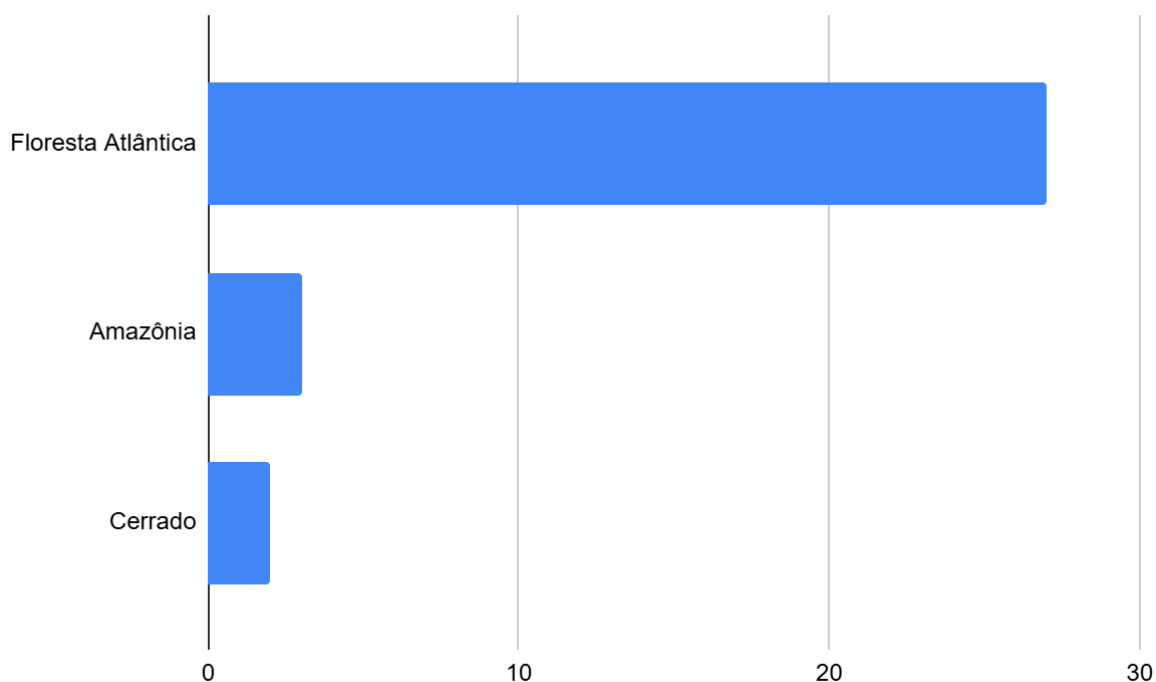


Figura 2. Espécies exclusivas dos domínios fitogeográficos. AT - 27, AM - 3, CE - 2.

Tabela 1. Listagem das espécies de *Sphagnum* endêmicas do Brasil (AT - Floresta Atlântica, AM - Floresta Amazônica, CA - Caatinga, CE - Cerrado, PL - Pantanal, PM - Pampa). * Novas ocorrências.

Subgêneros	Espécies	Distribuição no Brasil	Domínios Fitogeográficos	Categoria de risco IUCN	Critérios aplicados	Justificativa/Comentários
Acutifolia	<i>Sphagnum costae</i> H.A.Crum & D.P.Costa	ES, RJ, SC*	AT	EN	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, ocorre em solos úmidos e sombreados. Anteriormente conhecida apenas para os estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, este estudo amplia sua distribuição com o registro de uma nova ocorrência para o município de Santa Cecília, em Santa Catarina. As variedades <i>confertorameum</i> e <i>seriatum</i> não foram consideradas nesta análise, uma vez que os caracteres morfológicos utilizados para distingui-las – como o número de ramos por fascículo e a quantidade de poros nos filídios – são variáveis intraespecificamente e não sustentam diferenciação taxonômica consistente. As subpopulações conhecidas encontram-se severamente fragmentadas e estão sujeitas a impactos negativos decorrentes do turismo desordenado, incêndios frequentes e expansão de lavouras de café, fatores que contribuem para o declínio da qualidade do habitat.
	<i>Sphagnum sehnemii</i> H.A.Crum	MG*, PR, RJ, RS, SC	AT	VU	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, geralmente associada a ambientes úmidos e montanhosos, com distribuição restrita às porções sul e sudeste desse domínio fitogeográfico. Este estudo ampliou seu conhecimento geográfico ao registrar novas ocorrências nos estados de Minas Gerais, incluindo a RPPN Santuário do Caraça e a Serra do Cipó. Apesar de apresentar uma extensão de ocorrência relativamente ampla, a espécie é conhecida por poucos registros, sugerindo subpopulações

severamente fragmentadas. Entre as principais ameaças identificadas estão o turismo desordenado, a presença de gado em áreas naturais, a fragmentação do habitat decorrente da expansão urbana e as atividades agropecuárias, que comprometem a integridade ecológica dos locais de ocorrência.

Cuspidata	<i>Sphagnum contortulum</i> H.A.Crum	BA	AT	EN	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica no estado da Bahia. Ocorre em faces rochosas úmidas, frequentemente ao longo de encostas rochosas à beira de estradas. Era conhecida apenas pelo material tipo (DM Vital 8080), mas, neste trabalho, foram identificados novos registros para os municípios de Morro do Chapéu (DM Vital 6052) e Lençóis (EB Valente 1142), ampliando o conhecimento sobre sua morfologia e distribuição geográfica. Ainda assim, a espécie permanece restrita ao estado da Bahia. Apresenta extensão geográfica limitada, número reduzido de localidades conhecidas (inferior a cinco) e sofre com a contínua perda da qualidade de seu habitat, principalmente em razão do desmatamento.
	<i>Sphagnum microcuspidatum</i> H.A.Crum	PR*, RJ, RS	AT	EN	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, registrada em ambientes de restinga, margens de lagoas e pântanos emergentes, podendo também ocorrer submersa. Neste estudo, uma nova ocorrência foi registrada para o município de Balsa Nova, no Paraná, onde o espécime foi coletado em rocha úmida. Embora apresente uma extensão de ocorrência ampla a espécie é conhecida por menos de cinco localidades confirmadas, o que indica uma distribuição geográfica restrita e subpopulações fragmentadas com declínio na qualidade do habitat.
Sphagnum	<i>Sphagnum amazonicum</i>	AM	AM	VU	B2ab(ii,i	Endêmica da Floresta Amazônica ocorrendo em solos e rochas, restritas às montanhas da floresta amazônica

H.A.Crum &
W.R.Buck

ii,iv)

(Serra do Curicuriari, Serra do Aracá). Esforços de coleta são incentivados a fim de conhecer sua real distribuição geográfica, visto que possui poucas amostras nos herbários. As principais ameaças à espécie incluem o fogo, atividades do garimpo e turismo desordenado (Barbosa-Silva et al. 2020), o que diminui a qualidade do habitat. Além disso, a espécie possui AOO restrita, o que garante o uso do critério B2 para sua classificação. Porém, sua distribuição atual, pode não refletir a sua real distribuição geográfica.

Sphagnum
amoenoides
H.A.Crum

BA, MG*,
PR*, RJ*,
RS, SE*, SP

AT

VU

B2ab(ii,i
ii,iv)

Espécie endêmica da Floresta Atlântica. Até recentemente, era conhecida apenas por três registros: a coleta-tipo no Pico do Itapeva (São Paulo), uma área sob intensa pressão turística, e outras duas ocorrências urbanas – uma em Mucugê (Bahia), coletada nas proximidades de um cemitério, e outra em Caxias do Sul (Rio Grande do Sul), no Jardim Botânico local. Neste estudo, novas ocorrências foram documentadas para os estados de Minas Gerais (Serra da Piedade, Caeté), Paraná (Balsa Nova, nas proximidades do Cristo do Purunã) e Rio de Janeiro (Parque Nacional da Serra dos Órgãos), ampliando significativamente o conhecimento sobre sua distribuição. Trata-se de uma espécie rara, com ocorrência pontual em ambientes antropizados. Sofre pressões relacionadas ao turismo excessivo em seus locais de ocorrência e expansão urbana que levam a diminuição da qualidade do habitat.

<i>Sphagnum amoenum</i> Warnst.	RJ	AT	CR(PE)	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, conhecida exclusivamente por três coletas históricas realizadas por Ernst Ule em 1894 na Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, especificamente na região do Pico da Tijuca (E. Ule 1930 – tipo; E. Ule 1892; E. Ule 238). Apesar de esforços recentes de coleta e da análise sistemática de material de herbário, nenhum novo registro foi obtido. Considerando a ausência de observações por mais de um século, mesmo em uma área bem amostrada, é altamente provável que o táxon esteja extinto.
<i>Sphagnum atroligneum</i> H.A.Crum	AM, MG*, PR, SC*, SP	AM, AT	LC		Espécie registrada na Floresta Amazônica e na Floresta Atlântica, com ocorrência sobre rochas. Novos registros obtidos neste estudo para os estados de Minas Gerais e Santa Catarina ampliam o conhecimento sobre sua distribuição geográfica. Considerando suas características ecológicas e ampla distribuição potencial, é provável que novos registros sejam obtidos em outras regiões do Brasil. Atualmente, trata-se de uma espécie relativamente bem distribuída no território nacional.
<i>Sphagnum billbuckii</i> H.A.Crum	BA, MG, MS*, PE, PR, RJ, RR*, RS, SC, SP*	AT, AM, CE	LC		Espécie encontrada principalmente em restingas e campos rupestres, ocorrendo sobre solos úmidos ou rochas. Este trabalho registra novas ocorrências para os estados de Mato Grosso do Sul, Roraima e São Paulo. Trata-se de uma espécie amplamente distribuída no Brasil, com novas ocorrências ainda passíveis de registro em outros estados.
<i>Sphagnum brachybolax</i> Müll. Hal. ex Warnst.	AM, AP, BA, MG, PE*, PR*, RJ, RS, SC, SP	AM, AT	LC		Espécie com distribuição disjunta entre a Floresta Atlântica e a Floresta Amazônica. Ocorre preferencialmente em solos úmidos ou alagados, mas também pode ser encontrada em ambientes mais secos, como restingas e campos rupestres. Este trabalho registra novas ocorrências para os estados de Pernambuco e Paraná. Embora amplamente distribuída no Brasil, sua distribuição atual pode não refletir sua real extensão, sendo provável o registro de novas ocorrências em outras

localidades brasileiras.

*Sphagnum
brasiliense*
Warnst.

BA, MG, RJ,
SP

CE, AT

VU

B2ab(ii,i
ii,iv)

Espécie característica de campos rupestres e de altitude, ocorrendo acima de 1.000 m, geralmente sobre rochas e formando tufos que compõem tapetes pouco extensos. Apresenta distribuição pontual, com AOO reduzida e EOO inferior a 5.000 km². As principais ameaças à manutenção das subpopulações são o fogo e a presença de espécies exóticas invasoras, estando a espécie registrada em menos de cinco situações de ameaça conhecidas.

*Sphagnum
dimorphophyllum*
H.A.Crum &
W.R.Buck

AM, PA, RR

AM

LC

Sphagnum frahmii
H.A.Crum

MG, SP

AT

EN

B2ab(ii,i
ii,iv)

Espécie endêmica da Floresta Atlântica, com ocorrência principal em restingas e campos rupestres, sobre solos úmidos ou rochas próximas a cursos d'água. Apresenta registros para Bertioga (SP) e Rio das Contas (BA), ambas localidades fortemente antropizadas e/ou degradadas. Também foi registrada em campo rupestre na Serra do Caraça, em mata de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado. Possui AOO reduzida e distribuição pontual. As principais ameaças incluem o fogo, o crescimento urbano e a presença de espécies exóticas invasoras, que contribuem para o declínio da EOO, da AOO e da qualidade do habitat.

Sphagnum harleyi
H.A.Crum

BA

AT

EN

B2ab(ii,i
ii,iv)

Espécie endêmica da Floresta Atlântica, com ocorrência restrita ao estado da Bahia, registrada em campo rupestre sobre solo e nas bordas de cachoeiras. Inicialmente conhecida apenas pelo espécime-tipo coletado em Morro do Chapéu, teve novos registros posteriormente documentados por Costa (2021) para os municípios de Abaíra e Lençóis. Este trabalho amplia sua distribuição conhecida com um novo registro para o município de

<i>Sphagnum irwinii</i> H.A.Crum	GO, MG, BA*	AT, CE	EN	B2ab(ii,i ii,iv)	Jacobina. Trata-se de uma espécie rara, com menos de cinco localidades conhecidas e poucos registros em coleções científicas. Os ambientes onde ocorre sofrem forte impacto do turismo desordenado, incluindo o pisoteio da vegetação, o que compromete diretamente a qualidade do habitat. Diante da distribuição pontual, baixa representatividade em herbários e das ameaças diretas aos seus ambientes, a espécie se enquadra como ameaçada. A espécie ocorre em vegetação de mata de galeria e campo rupestre, crescendo sobre solos arenosos em matas de galeria ou em encostas rochosas. Segundo Costa (2021), era conhecida apenas por duas coletas: o espécime-tipo da Chapada dos Veadeiros (GO) e outro da Serra do Caraça (MG). Este trabalho amplia sua distribuição conhecida com um novo registro para o município de Andaraí, na Bahia, em área úmida de campo rupestre. A espécie apresenta distribuição pontual, com Área de Ocupação (AOO) restrita e baixa representatividade em coleções científicas. Os ambientes onde ocorre são vulneráveis a impactos antrópicos, como o turismo desordenado, o pisoteio da vegetação, que compromete a qualidade do habitat, e os recorrentes incêndios florestais.
<i>Sphagnum multiporosum</i> H.A.Crum	BA, MG, PR, RS, SC, SP	AT, PM	LC		
<i>Sphagnum submedium</i> Warnst.	BA, MG, RJ, SC*, SP	AT	LC		Espécie amplamente distribuída pelo país. Este trabalho registra uma nova ocorrência para o estado de Santa Catarina em propriedade privada no município de Águas Mornas.
<i>Sphagnum subsecundoides</i> H.A.Crum & W.R.Buck	AM, BA, MG, PR*, RO, RS, SC*, SE*	AM, AT	LC		Espécie com disjunção entre a Floresta Atlântica e a Floresta Amazônica, apresentando ampla distribuição nesses domínios fitogeográficos. Este trabalho registra novas ocorrências para Itabaiana (Sergipe), Guaratuba (Paraná) e Imbituba (Santa Catarina).

	<i>Sphagnum tabuleirense</i> O.Yano & H.A.Crum	BA, MG, MS*, PB, PE, SE, TO	CE, AT, PM	LC		Espécie amplamente distribuída no Brasil, com ocorrência predominante em solos úmidos próximos a cursos d'água. Este trabalho registra uma nova ocorrência entre os rios Ivinhema e Curupaí, nas proximidades da sede do Parque Estadual das Várzeas do Rio Ivinhema, no município de Jateí, Mato Grosso do Sul.
	<i>Sphagnum vitalii</i> H.A.Crum	BA	CA	CR	B2ab(iii)	Espécie registrada na Caatinga, ocorrendo preferencialmente sobre o solo. É conhecida apenas pelo material-tipo, coletado na Bahia, sem registros adicionais confirmados. Apresenta distribuição extremamente restrita, com Área de Ocupação (AOO) presumivelmente inferior a 10 km² e ocorrência conhecida em apenas uma localidade. A ausência de novas coletas e a vulnerabilidade dos ambientes da Caatinga a alterações climáticas e atividades antrópicas indicam declínio contínuo na qualidade do habitat.
Subsecunda	<i>Sphagnum acutirameum</i> H.A.Crum	MG, RJ, RS*, SC*	AT	VU	B2ab(iii)	A espécie era anteriormente conhecida apenas como endêmica do Parque Nacional do Itatiaia, mas novas identificações ampliaram sua distribuição conhecida para os municípios de Lages (SC), Cambará do Sul (RS), no Cânion Itaimbezinho, e Caxias do Sul (RS). Apesar dos novos registros, a ocorrência permanece pontual e restrita a poucos locais, com Área de Ocupação (AOO) estimada inferior a 2.000 km². Esforços recentes de coleta não localizaram a espécie no Parque Nacional do Itatiaia, o que pode indicar declínio populacional local. Além disso, os ambientes onde ocorre sofrem forte pressão de turismo desordenado, incêndios florestais e pisoteio da vegetação, fatores que contribuem para o declínio da qualidade do habitat.
	<i>Sphagnum aequalipunctatum</i> H.A.Crum	MG, PR, SC*, SP*	AT	LC		Espécie amplamente distribuída na Floresta Atlântica, embora sua distribuição atual possa estar subestimada, sendo esperados novos registros em outros estados. Este trabalho apresenta novas ocorrências para o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, em Santa Catarina, e para o Parque Ecológico Caminhos do Mar, em São Paulo.

<i>Sphagnum chi-chiense</i> H.A.Crum var. <i>ulvidulum</i> H.A.Crum	BA	AT	CR	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, com ocorrência restrita à Chapada Diamantina, no estado da Bahia, onde cresce preferencialmente sobre afloramentos rochosos. Apresenta poucos registros em coleções de herbário. Entre os principais impactos negativos que afetam a espécie estão à atividade mineradora, o turismo desordenado e a recorrência de queimadas, fatores que contribuem significativamente para a degradação da qualidade do habitat. Anteriormente conhecida por apenas duas coletas, este estudo acrescenta um novo registro para o município de Lençóis (BA), ampliando o conhecimento sobre sua distribuição.
<i>Sphagnum cribriforme</i> H.A.Crum	GO	CE	CR	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica do Cerrado, com ocorrência restrita a afloramentos rochosos. Era conhecida apenas pelo material tipo (Ule 1528), coletado na Serra dos Pirineus, em Goiás. Neste estudo, dois novos registros foram confirmados para o mesmo estado, no Parque Nacional das Emas (Bordin J s/n e DF Peralta 27208), resultando na redescoberta da espécie após mais de 130 anos sem coletas confirmadas (Capítulo 5). As subpopulações são severamente fragmentadas e há evidências de declínio tanto na extensão quanto na qualidade do habitat. A principal ameaça à espécie é a recorrência de incêndios florestais, cujas consequências incluem degradação do solo, alteração do ciclo hidrológico, fragmentação do habitat e redução da qualidade da água (França et al. 2007).
<i>Sphagnum crumii</i> Schäff.-Verw.	DF, RJ, PR, SC, RS*	CE, AT	LC		

<i>Sphagnum curicuriariense</i> H.A.Crum & W.R.Buck	AM, RR	AM	VU	B2ab(iii)	Espécie endêmica da Floresta Amazônica, com ocorrência restrita a penhascos rochosos próximos aos cumes das serras do Curicuriari e Parima. Apresenta distribuição geográfica extremamente limitada, com AOO estimada inferior a 2.000 km² e ocorrência conhecida em poucas localidades. Os ambientes de altitude onde ocorre são particularmente sensíveis a mudanças climáticas, o que pode comprometer a qualidade do habitat. Com base na distribuição restrita, no número reduzido de locais conhecidos e no declínio contínuo na qualidade do habitat, a espécie é aqui classificada como ameaçada.
<i>Sphagnum delamboyense</i> Schäf.-Verw.	DF, MT, TO PR*, ES*, MG*	CE, AT	LC		Espécie com ampla distribuição no Brasil. Este trabalho registra novas ocorrências para o município de Lapa no Paraná, para o município de Castelo no Espírito Santo e para o Parque Nacional da Serra da Canastra em Minas Gerais.
<i>Sphagnum divisum</i> H.A.Crum	BA, DF, GO, MG, PR, RJ, SC	AT, CE	LC		
<i>Sphagnum exile</i> H.A.Crum	BA*, GO, MG, MT	CE, AT	LC		Espécie com ampla distribuição no Brasil. Este trabalho registra uma nova ocorrência para o município de Lençóis no estado da Bahia.
<i>Sphagnum exquisitum</i> H.A.Crum	ES, MG, PR, RJ, SP	AT	LC		
<i>Sphagnum garysmithii</i> H.A.Crum	DF, GO, MG	CE	VU	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica do Cerrado com distribuição pontual. De acordo com Messina (2015) a localidade-tipo da espécie sofreu intenso processo de degradação, tendo dado lugar à construção de um hotel, com presença de lixo, estradas e supressão da vegetação nativa no entorno. Esses fatores evidenciam um declínio contínuo da EOO e da AOO, da qualidade do habitat e da integridade de uma de suas subpopulações.

<i>Sphagnum geraisense</i> H.A.Crum	BA*, GO*, MG, PR*, RJ, SC	CE, AT	LC		Espécie de ampla distribuição no Brasil. Este trabalho apresenta novos registros para os municípios de Abaíra (Bahia), Cristalina (Goiás) e Tibagi (Paraná).
<i>Sphagnum globicephalum</i> Müll.Hal ex Warnst.	RJ, RS, SC	AT	VU	B2ab(iii)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, ocorrendo em solos úmidos, com distribuição restrita às regiões Sul e Sudeste do Brasil. Considerada rara, era anteriormente conhecida apenas por coletas antigas dos estados de Santa Catarina e Rio de Janeiro. Costa (2021) confirmou a ocorrência em Santa Catarina e registrou novos dados para o Rio Grande do Sul. Apesar desses registros, a espécie permanece conhecida por poucos espécimes e apresenta AOO restrita, com distribuição limitada a poucas localidades. Os ambientes úmidos onde ocorre são suscetíveis a alterações ambientais e degradação do habitat. Diante disso, a espécie é aqui classificada como Vulnerável considerando a distribuição pontual, a baixa representatividade em coleções e o declínio contínuo na qualidade de seu habitat.
<i>Sphagnum homophyllum</i> H.A.Crum	SC	AT	DD		
<i>Sphagnum laxulum</i> H.A.Crum	BA, GO, MG, MT*, TO	CE, AT	LC		Espécie amplamente distribuída no Brasil. Este trabalho registra uma nova ocorrência para o município de Nova Xavantina (Mato Grosso), ampliando seu conhecimento de distribuição geográfica.
<i>Sphagnum leonii</i> H.A.Crum	MG	AT	CR	B2ab(ii,i ii,iv)	Endêmica da Floresta Atlântica, conhecida apenas pelo material tipo, coletado no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, na região da Serra do Araponga. Sua ocorrência está restrita a solos úmidos acima de 1.300 m. Tanto a espécie quanto seu habitat sofrem pressões antrópicas significativas, como atividades de mineração e incêndios (Fonseca & Oliveira 2023; Torres et al. 2018). Esses impactos podem resultar na contaminação de recursos hídricos, alteração da paisagem, degradação do solo e perda de biodiversidade. Tais efeitos comprometem

a qualidade do habitat, ameaçando a persistência da espécie em seu único local conhecido.

Sphagnum longicomosum
Mül.Hal. ex
Warnst. DF, ES, GO,
MG, PR, RJ,
RS, SP CE, AT LC

Sphagnum luetzelburgii
H.K.G. Paul ex
H.A.Crum MG*, RJ, SC AT EN B2ab(iii)

Espécie endêmica da Floresta Atlântica, ocorrendo sobre solo e rochas, restrita a regiões de altitude nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Anteriormente conhecida apenas por duas coletas antigas no estado do Rio de Janeiro, realizadas por Luetzelburg em 1915, teve sua presença confirmada por Costa (2021) no mesmo estado, com um novo registro adicional em Santa Catarina. Este trabalho amplia sua distribuição conhecida com um novo registro para o estado de Minas Gerais. Apesar dessas atualizações, a espécie permanece conhecida por um número muito reduzido de localidades e apresenta uma Área de Ocupação (AOO) restrita. Seus habitats estão sujeitos a fortes pressões antrópicas, especialmente o turismo desordenado, que causa pisoteio e degradação da vegetação. Além disso, por ocorrer em ambientes de altitude, a espécie é potencialmente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, que podem alterar o regime hídrico e a temperatura nesses ecossistemas sensíveis, afetando diretamente a qualidade e estabilidade de seu habitat.

Sphagnum mirabile Müll.Hal.
& Warnst. MG AT DD

Sphagnum obliquefibrosum
H.A.Crum MG, RS, SC AT NT

<i>Sphagnum parcoramosum</i> H.A.Crum	RS, SC	AT	NT		
<i>Sphagnum paranense</i> H.A.Crum	PR	AT	CR(PE)	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie endêmica da Floresta Atlântica, conhecida exclusivamente pelo material tipo, coletado há mais de 50 anos no município de Porto Amazonas, ao longo da estrada entre Palmeiras e Curitiba. O exemplar foi registrado em uma margem úmida de riacho. Desde então, não há registros adicionais, mesmo com esforços de coleta na região. Diante da ausência de novas observações por mais de meio século e da limitação da espécie a um único ponto de coleta, ela foi categorizada como Criticamente em Perigo – Possivelmente Extinta.
<i>Sphagnum perforatum</i> Warnst.	GO, MG, PR, RJ, SP	CE, AT	VU	B2ab(iii)	Espécie registrada na Floresta Atlântica e no Cerrado, ocorrendo em solos úmidos ou sobre rochas. Embora apresente distribuição relativamente ampla no país, suas populações são severamente fragmentadas e conhecidas por poucos registros em coleções científicas. A espécie possui Área de Ocupação (AOO) reduzida e ocorre em ambientes sujeitos a intensas pressões antrópicas, como expansão urbana, turismo desordenado e queimadas, fatores que contribuem para o declínio contínuo na qualidade do habitat.
<i>Sphagnum pseudoramulinum</i> H.A.Crum	ES, MG, RJ, RS, SP	AT	LC		
<i>Sphagnum ripense</i> H.A.Crum & W.R.Buck	AM, GO*, MG	AM, AT, CE*	VU	B2ab(ii,i ii,iv)	Espécie registrada na Floresta Amazônica e na Mata Atlântica, ocorrendo sobre solos de margens de rios sazonalmente alagadas. Apresenta distribuição aparentemente descontínua no Brasil e é considerada rara, com ocorrência restrita a ambientes específicos sujeitos a alagamentos sazonais. Este trabalho amplia sua

distribuição conhecida com um novo registro para o Parque Estadual dos Pirineus, em Goiás, sendo um novo registro para o Cerrado. Apesar desse novo dado, a espécie permanece com distribuição pontual e é conhecida por poucos registros em coleções científicas. Além disso, os locais onde ocorre sofrem pressões crescentes da expansão urbana, turismo desordenado e degradação ambiental, que afetam negativamente a qualidade do habitat.

<i>Sphagnum rotundatum</i> Müll.Hal. ex Warnst.	GO, MG, RJ, SP, PR, SC	AT, CE	NT
<i>Sphagnum rotundifolium</i> Müll.Hal. in Warnst	RJ	AT	DD
<i>Sphagnum subhomophyllum</i> H.A.Crum	RJ	AT	DD
<i>Sphagnum sucrei</i> H.A.Crum	MG, RJ, SP	AT	LC
<i>Sphagnum turgens</i> Warnst.	MG, SC, SP	AT	LC

Táxons excluídos da análise:

As seguintes espécies foram excluídas da análise, devido à falta de revisão taxonômica recente ou à existência de dúvidas quanto à sua validade nomenclatural: *Sphagnum conflatum* Müll.Hal. ex Warnst., *Sphagnum cyclocladum* Warnst., *Sphagnum fontanum* Müll.Hal. in Warnst., *Sphagnum griseum* Warnst., *Sphagnum minutulum* Müll.Hal. & Warnst., *Sphagnum roraimense* Warnst., *Sphagnum sordidum* var. *humile* Warnst., *Sphagnum subaequifolium* Hampe, *Sphagnum subovalifolium* Müll.Hal. & Warnst., *Sphagnum subrufescens* Warnst., *Sphagnum turgescens* Warnst., *Sphagnum versiporum* Warnst.

Discussão

A Floresta Atlântica é reconhecida como um dos principais *hotspots* mundiais de biodiversidade, caracterizando-se por sua elevada riqueza florística e expressivos níveis de endemismo, especialmente entre as briófitas (Costa & Santos 2009; Gonçalves et al. 2024, Araujo et al. 2025). O alto grau de endemismo em *Sphagnum* na Floresta Atlântica está fortemente associado à variedade de micro-habitats úmidos e sombreados presentes nas formações florestais densas e em áreas de campos de altitude, principalmente em ambientes como turfeiras, afloramentos rochosos e margens de cursos d'água (Costa 2022). Apesar de sua importância ecológica e concentração de espécies únicas, a Floresta Atlântica foi reduzida a 12,5% de sua cobertura original, com seus remanescentes severamente fragmentados e sob forte pressão de atividades antrópicas, como turismo desordenado, desmatamento, incêndios e agricultura (Myers et al. 2000; Mittermeier et al. 2005).

O gênero *Sphagnum* representa o único grupo de briófitas explorado comercialmente em larga escala, sendo amplamente utilizado para fins ornamentais, na horticultura e na indústria de substratos (Rancura et al. 2010, Negrelle 2014). No entanto, até o momento, não há dados consolidados sobre a quantidade extraída ou o valor comercial movimentado anualmente no Brasil. Dentro desse cenário, a coleta – muitas vezes realizada de forma ilegal – não leva em consideração a distinção entre espécies comuns e aquelas ameaçadas de extinção. Isso ocorre, em grande parte, pela ausência de avaliações formais de risco para essas espécies.

Este trabalho preenche essa lacuna ao oferecer, pela primeira vez, uma avaliação criteriosa do risco de extinção das espécies endêmicas de *Sphagnum* no Brasil, o que representa um passo fundamental para a formulação de políticas públicas voltadas à proteção e conservação desse grupo.

As espécies aqui identificadas como ameaçadas justificam a criação e manutenção de Unidades de Conservação em seus locais de ocorrência. A presença de táxons ameaçados dentro de parques e reservas naturais fortalece ações de educação ambiental e pode contribuir para aumentar o engajamento da sociedade na preservação desses ambientes.

Além disso, os resultados obtidos neste estudo devem incentivar novos levantamentos de campo, especialmente em áreas pouco amostradas, com o objetivo de confirmar a ocorrência de espécies classificadas como possivelmente extintas ou com dados insuficientes. A adoção de medidas de conservação específicas para essas espécies é urgente, especialmente diante das crescentes pressões antrópicas sobre seus habitats naturais.

Recomendações

A documentação detalhada sobre espécies endêmicas e ameaçadas é fundamental para orientar estratégias de conservação efetivas, especialmente em um grupo altamente sensível como *Sphagnum*. O presente estudo representa um marco inicial para a conservação dessas espécies no Brasil, ao fornecer uma avaliação abrangente de risco de extinção com base em dados taxonômicos, ecológicos e geográficos.

A conservação de espécies endêmicas de *Sphagnum* exige ações específicas, dado que muitas espécies apresentam distribuição altamente restrita, ocorrem em microhabitats vulneráveis e são frequentemente impactadas por atividades humanas como turismo desordenado, queimadas, mudanças no regime hídrico e exploração ilegal. Baseando-se nas diretrizes de Hallingbäck & Hodgetts (2000) e Gradstein & Raeymaekers (2000), que recomendam o reconhecimento de centros de diversidade e endemismo, proteção de habitats e programas integrados de conservação, este trabalho propõe as seguintes diretrizes voltadas especificamente ao gênero *Sphagnum* no Brasil:

1. Reconhecimento de áreas-chave para conservação: destacam-se os campos de altitude da Serra da Mantiqueira, os afloramentos úmidos da Chapada Diamantina, os Tepuis amazônicos e a região do Alto Rio Negro, que concentram elevada riqueza e endemismo de *Sphagnum*. Essas áreas devem ser priorizadas em políticas públicas e planos de manejo ambiental.
2. Proteção de microhabitats sensíveis: Espécies terrícolas de *Sphagnum* frequentemente ocorrem em bordas de trilhas, encostas encharcadas e margens de corpos d'água. O pisoteio e a compactação do solo por turistas representam ameaças diretas. Recomenda-se o mapeamento e o isolamento das subpopulações mais vulneráveis, especialmente daquelas classificadas como CR e EN.

3. Fortalecimento da comunicação e educação ambiental: Produção de materiais educativos voltados à divulgação da importância ecológica das espécies de *Sphagnum* e dos riscos associados à sua degradação. Cartilhas, placas informativas em trilhas, exposições em centros de visitantes e mídias digitais podem sensibilizar o público visitante sobre a fragilidade desses musgos.
4. Fiscalização da extração ilegal e estudos sobre regeneração de turfeiras no Brasil.

A consolidação dessas ações poderá contribuir de forma significativa para a proteção de habitats únicos e a manutenção da diversidade de *Sphagnum* no país. A conservação desse grupo é urgente, pois sua perda pode comprometer não apenas a biodiversidade florística, mas também o equilíbrio hidrológico e o sequestro de carbono em ambientes úmidos brasileiros.

Referências

- Araújo, A.C.F.; Lombo-Sanchez, Y.J.; Costa, L.E.N.; Pôrto, K.C.; Silva, M.P.P.** 2025. Assessing richness and endemism centers and conservation status of mosses in the Brazilian Atlantic forest. *Biodiversity and Conservation* 34: 2215–2225. <https://doi.org/10.1007/s10531-025-03072-3>
- Bachman, S.P., Moat J., Hill, A.W., de la Torre, J., Scott, B.** 2011. Supporting Red List threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. In: Smith V & Penev L (eds.). E-Infrastructures for data publishing in biodiversity science. Sofia: ZooKeys 150: 117-126.
- Barbosa-Silva, R.G., Bueno, M.L., Labiak, P.H. et al.** (2020) The Pantepui in the Brazilian Amazon: vascular flora of Serra do Aracá, a cradle of diversity, richness and endemism. *Botanical Review* 86: 359–375. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09235-x>
- Briófitas in Flora e Funga do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB128472>>. Acesso em: 03 jun. 2025
- Fonseca, F.A.S.B, Oliveira, M.L.R.** 2023. Resistência(as) contra a Mineração no entorno do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. *Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 17, n. 46, p. 160–179, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v17i46.5145>. Acesso em: 31 mai 2025.

- Comitê de Padrões e Petições da UICN.** 2022. Diretrizes para o Uso das Categorias e Critérios da Lista Vermelha da UICN. Versão 15.1. Preparada pelo Comitê de Padrões e Petições. Disponível em <https://www.iucnredlist.org/resources/redlistguidelines>
- Costa, D.P.** 1999. Metzgeriaceae (Metzgeriales, Hepatophyta) no Brasil. Tese de doutorado em Ciências Biológicas (Botânica) não publicada, Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo. 261 pp.
- Costa D.P., Imbassahy C.A.A., Silva V.P.A.V.** 2005. Diversidade e Importância das Espécies de Briófitas na Conservação dos Ecossistemas do Estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 56: 13–49.
- Costa D.P., Pôrto K.C., Starling F., Santos N.D., Yano O.** 2006. Briófitas. p. 42–43. In: Drummond, G.M., Martins, C.S. & Mendonça, M.P. (Eds.). Revisão das listas das espécies da flora e fauna ameaçadas de extinção do estado de Minas Gerais. Relatório Final. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas.
- Costa D.P., Santos N.D.** 2009. Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. *Acta Botanica Brasilica* 23: 913–922.
- Costa D.P., Fernandez E.P., Monteiro N.P., Messina T.** 2013. Briófitas. In: Martinelli G, Moraes MA. (eds.) Livro Vermelho da Flora do Brasil. Rio de Janeiro, CNCFLORA.
- Costa D.P., Paranhos C.P.** 2008. Conservation priorities for the bryophytes of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Bryology* 30: 133–142.
- Costa MLMN, Bajgielman, T (Orgs.).** 2016. Estratégia Nacional para a conservação *ex situ* de espécies ameaçadas da flora brasileira. Centro Nacional de Conservação da Flora — CNCFlora: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson, Rio de Janeiro. 24 pp.
- Costa, D.P., Rezende, M.A.** 2015. Threatened Liverworts of Itatiaia National Park, Rio de Janeiro — Brazil. Field Guides. Disponível: <https://fieldguides.fieldmuseum.org/guides/guide/803>.
- França, H., Ramos-Neto, M.B., Setzer, J.** 2007. Plano de Manejo do Parque Nacional das Emas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 124 p.

- Freitas, W.K., Magalhães, L.M.S.** 2012. Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. *Floresta e Ambiente* 9(4): 520–540.
- Hallingbäck, T., Hodgetts, N.** 2000. Mosses, Liverworts, and Hornworts. Status Survey and Conservation Action Plan for Bryophytes. IUCN/SSC Bryophyte Specialist Group.
- Hallingbäck, T., Hodgetts, N., Raeymaekers, G., Schumacker, R., Sergio, C., Soderstrom, L., Stewart, N., Vana, J.** 1998. Guidelines for application of the revised IUCN threat categories to bryophytes. *Lindbergia* 23: 6–12.
- Hawkins, B., Sharrock, S., Havens, K.** 2008. Plants and Climate Change: Which Future? Botanic Gardens Conservation International. pp 46-56.
- IUCN.** 2012. Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. 41 pp.
- Jackson, P.W., Kennedy, K.** 2009. The Global Strategy for Plant Conservation: a challenge and opportunity for the international community. Special Issue: Plant science research in botanic gardens. *Trends in Plant Science* 14(11): 578–580. doi:10.1016/j.tplants.2009.08.011
- Lockhart, N., Hodgetts, N. & Holyoak, D.** 2012. *Rare and threatened bryophytes of Ireland*. National Museums Northern Ireland, Cultra, Holywood, County Down. ISBN 978190589355.
- Mace, G.M., Collar, N.J., Gaston, K.J., Hilton-Taylor, C., Akçakaya, H.R., Leader-Williams, N., Milner-Gulland, E.J., Stuart, S.N.** 2008. Quantification of extinction risk: IUCN's system for classifying threatened species. *Conservation Biology* 22(6): 1424–1442.
- Messina, T.** 2015. Conservação e diversidade de musgos (Sphagnaceae) com potencial de uso na Reserva Particular do Patrimônio Natural Serra do Caraça (Minas Gerais) e no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (Goiás). Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Botânica da Escola Nacional de Botânica Tropical/JBRJ. 79 pp.
- Mittermeier, R.A., Fonseca, G.A.B., Rylands, A.B., Brandon, K.** 2005. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. *Conservation Biology* 19: 601 – 607.

- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J.** 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Negrelle, R.R.B., Bordignon, S.E., Ferreira, M.R., Sampaio, L.K.** 2014. Extrativismo e comercialização de *Sphagnum* (veludo): características, implicações socioeconômicas e ecológicas e perspectivas. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental* 20(1): 53–66.
- Pessini, L., Sganzerla, A.** 2016. Evolução histórica e política das principais conferências mundiais da ONU sobre o clima e meio ambiente. *Revista Iberoamericana de Bioética* 1: 1–1. doi: 10.14422/rib.i01.y2016.009
- Pôrto, K.C., Germano, S.R.** 2002. Biodiversidade e importância das briófitas na conservação dos ecossistemas naturais de Pernambuco, p. 125-152. In: Tabarelli M, Silva JMC. Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. Recife: Massangana.
- Rancura, S., Ribeiro, M.M., Nordi, N.** 2010. Considerações sobre a coleta de *Sphagnum* no município de Cananéia, estado de São Paulo, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24(2): 328–334.
- Rezende, M.A.** 2015. Conservação de Briófitas na Mata Atlântica do Sudeste do Brasil: Uma Análise das Espécies de Hepáticas Endêmicas e/ou Ameaçadas do Parque Nacional do Itatiaia. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
- Salafsky, N., Salzer, D., Stattersfield, A.J., Hilton-Taylor, C., Neugarter, R., Butchart, S.H.M., Collen, B.** 2008. A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology* 22(4): 897–911.
- Santos, N.D., Oliveira, J.R.P.M., Silva, L.T.P., Peralta, D.F.** 2019. Briófitas ameaçadas no Espírito Santo. pp. 108–123. In: Fraga CN, Formigoni MH, Chaves FG (Orgs) Fauna e flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo. Santa Teresa, Instituto Nacional da Mata Atlântica.
- Sharrock, S.** 2020. Plant Conservation Report 2020: A review of progress in implementation of the Global Strategy for Plant Conservation 2011-2020. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada and Botanic Gardens Conservation International, Richmond, UK. Technical Series No. 95: 68 pages.

- Silva, J. M. C., & Bates, J. M.** 2002. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, 52(3), 225–233. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)
- Torres, F.T.P., Torres, C.M.M.E., Lima, G.S., Martins, S.V., Mendes, A.E.O., Padovani, M.T., Siqueira, R.G., Moreira, G.F., Valverde, S.R.** 2018. Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). *Ciência Florestal* 28(3):1008–1021. <https://doi.org/10.5902/1980509833384>
- Yano, O., Peralta, D.F.** 2007. As briófitas ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo, pp. 81–87. In: Simonelli M, Fraga CN (Orgs.). *Espécies da flora ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo*. Instituto de Pesquisas Mata Atlântica, Vitória.
- Yano, O., Costa, D.P., Pôrto, K.C., Peralta, D.F.** 2005. Lista de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção: briófitas. Disponível em: <http://www.biodiversitas.org.br/floraBr/grupo3fim.asp>.

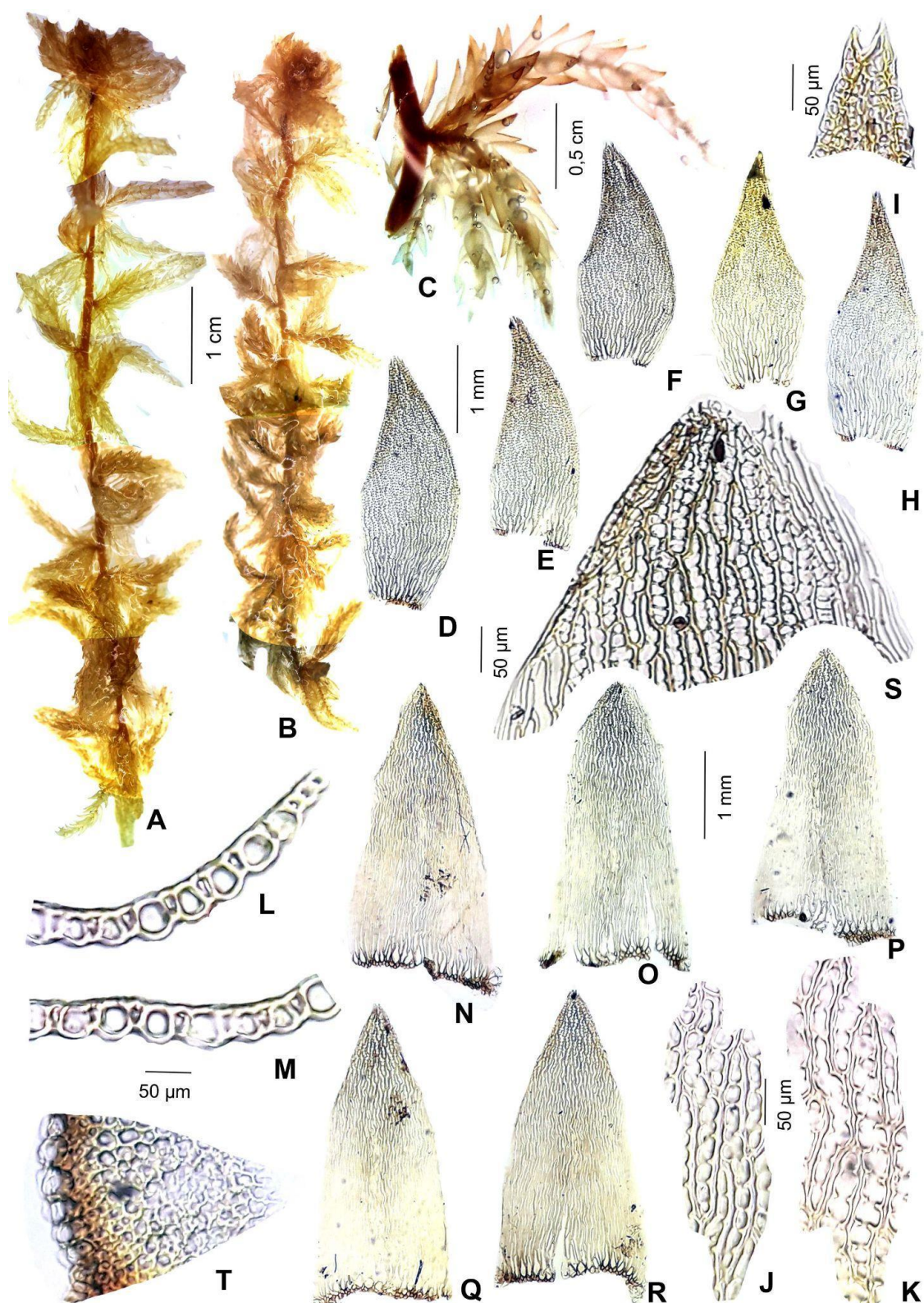


Figura 3. *Sphagnum leonii*, espécie classificada como Criticamente em Perigo de Extinção. A-B. Gametófitos. C. Fascículo. D-H. Filídios do ramo. I. Ápice do filídio do ramo. J. Hialocistos do filídio do ramo. K. Hialocistos do filídio do caulídio. L-M. Corte transversal evidenciando os clorocistos do filídio do ramo. N-R. Filídios do caulídio. S. Ápice do filídio do caulídio. T. Corte transversal do caulídio.

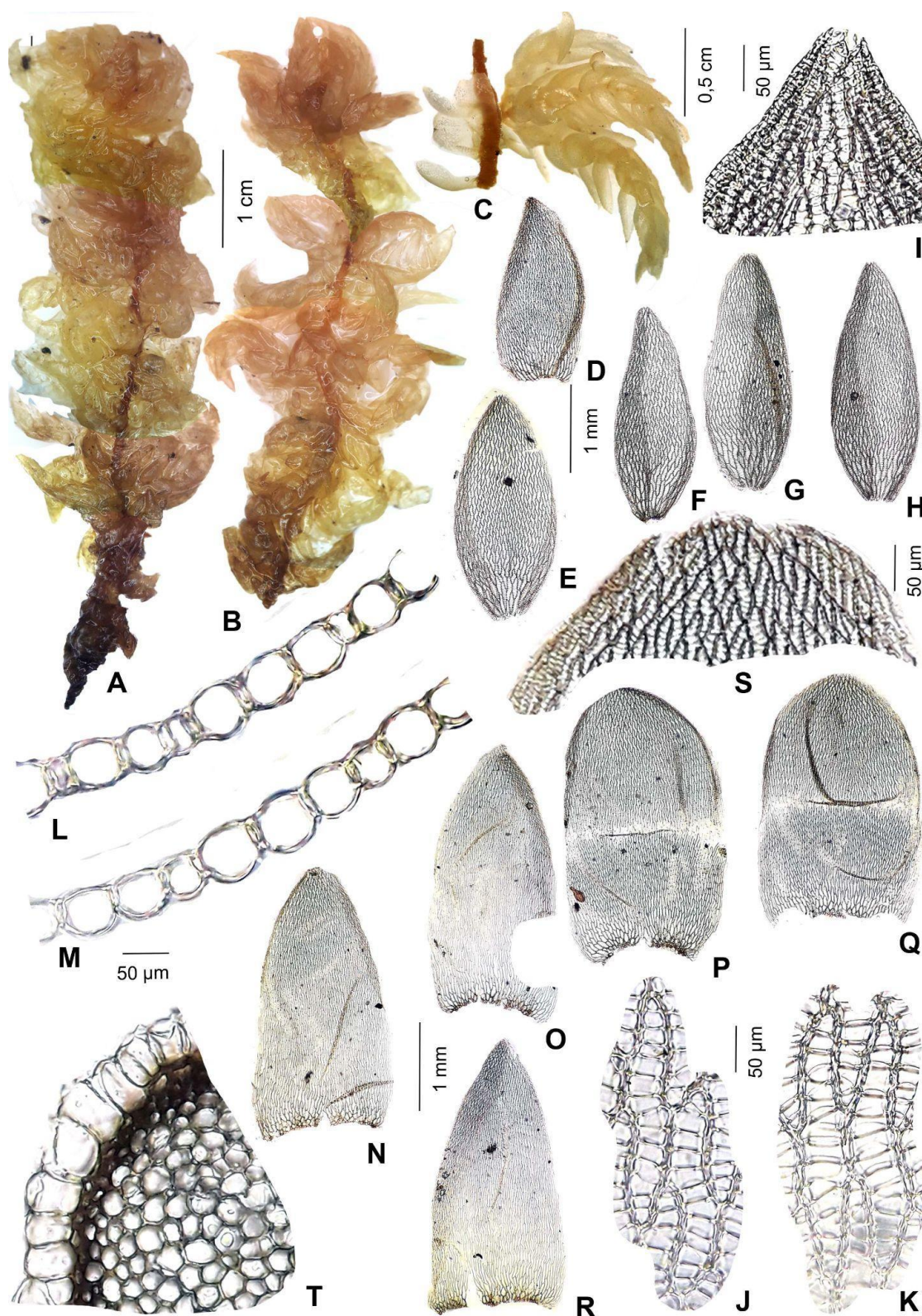


Figura 4. *Sphagnum paranense*, espécie classificada como Criticamente em Perigo de extinção. A-B. Gametófitos. C. Fascículo. D-H. Filídios do ramo. I. Ápice do filídio do ramo. J-K. Hialocistos dos filídios do ramo. L-M. Corte transversal evidenciando os clorocistos dos filídios do ramo. N-R. Filídios do caulídio. S. Ápice do filídio do caulídio. T. Corte transversal do caulídio.

CAPÍTULO 5

REDISCOVERY OF *SPHAGNUM CRIBRIFORME* H.A.CRUM (SUBGENUS SUBSECUNDA, BRYOPHYTA) IN BRAZIL

Short communication

Rediscovery of *Sphagnum cribriforme* H.A.Crum (subgenus *Subsecunda*, Bryophyta) in Brazil

MATEUS TOMÁS ANSELMO GONÇALVES^{1*} & DENILSON FERNANDES PERALTA²

¹ Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; mateus-tomas@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0939-0511>

² Núcleo de Briologia, Instituto de Pesquisas Ambientais, 04301–902, São Paulo, SP, Brazil; denilsonfperalta@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4304-7258>

* Corresponding author: mateus-tomas@hotmail.com

Sphagnum cribriforme is an endemic species of Brazil and until now was known only from its type-specimen, collected about 130 years ago. During the review of *Sphagnum* from the Herbarium SP, we found two samples that coincide with the descriptions and illustrations of *S. cribriforme*, and therefore, it is an important rediscovery for bryology, presented here in this brief study.

Keywords: bryophytes, cerrado, ecology, mosses, peat mosses

The genus *Sphagnum* L. (Linnaeus 1753: 1106) is known as peat moss and is widely found in moist and acidic environments such as peatlands and bogs (Michaelis 2019). These mosses are important for the hydrological cycle and carbon sequestration, and *Sphagnum* peatlands form a stable reservoir of organic matter (Tuba *et al.* 2011). *Sphagnum* species have specialized hyaline cells that retain water in large volumes, giving them the ability to create and sustain small habitats (Glime 2017). Furthermore, the genus *Sphagnum* contributes to climate change mitigation and has horticultural and biotechnology applications (Tuba *et al.* 2011, Gaudig *et al.* 2014).

When reviewing the *Sphagnum* specimens deposited in Herbarium SP (acronym according to Thiers 2025), we found two samples from Parque Nacional das Emas, Goiás state, in Brazil. These specimens had been identified as *Sphagnum perichaetiale* Hampe (Hampe 1847: 66) and *Sphagnum laxulum* H.A.Crum (Crum 1995: 136), respectively. However, the characteristics of both specimens coincide with *Sphagnum cribriforme* H.A.Crum (Crum 1993: 458), species previously known only from the type-specimen, collected around 130 years ago, in Serra dos Pirineus, Goiás (Costa 2022).

Mistakes in the identification of *Sphagnum* species are common due to the complexity of the process, which requires cross-sections in the leaves and stems, in addition to the analysis of cells characteristics, such as fibrils, presence and arrangement of pores and pseudopores in the leucocysts, as well as the shapes of the chlorocysts, among other aspects. Because it is an important rediscovery of an endemic and little-known moss in Brazil, we carried out a brief review to *Sphagnum cribriforme* with description, illustration and comments.

Formal treatment

Sphagnum cribriforme H.A.Crum, Bryologist 96: 458. 1993 $\equiv$ *Sphagnum perforatum* var. *rotundifolium* Warnst. in. Broth., Hedwigia 34: 130. 1895. Type: [Brazil] Goyaz: Serra dos Pyreneos, Aug 1892, Ule 1528 (lectotype by Crum (1993): CHR, isoelectotype: R [bc.000080051!]).

Plants are small-sized, brownish. Stem cortex with 1 layer, brown, pores absent. Stem leaves 1,0 – 1,5 mm long, flat, ovate, apex rounded, narrowly bordered, leucocysts fibrillose on both surfaces near apex, outer surface with numerous median pores, the inner surface with few or no pores. Branches in fascicles of 2–3, spreading, short, julaceous. Branch leaves 1,8–2,0 mm long, concave, ovate to oblong-ovate, weakly cucullate, apex denticulate, leucocysts in the outer surface with many ringed pores crowded in commissural rows and a median row of round, thin-margined pores, on inner surface with many ringed pores in commissural rows, median pores absent. Chlorocysts in the cross-section are elliptical, central, but exposed to both surfaces; leucocysts are plane on both surfaces.

Additional descriptions and illustrations in Warnstorf (1985), Crum (1993), and Costa (2022).

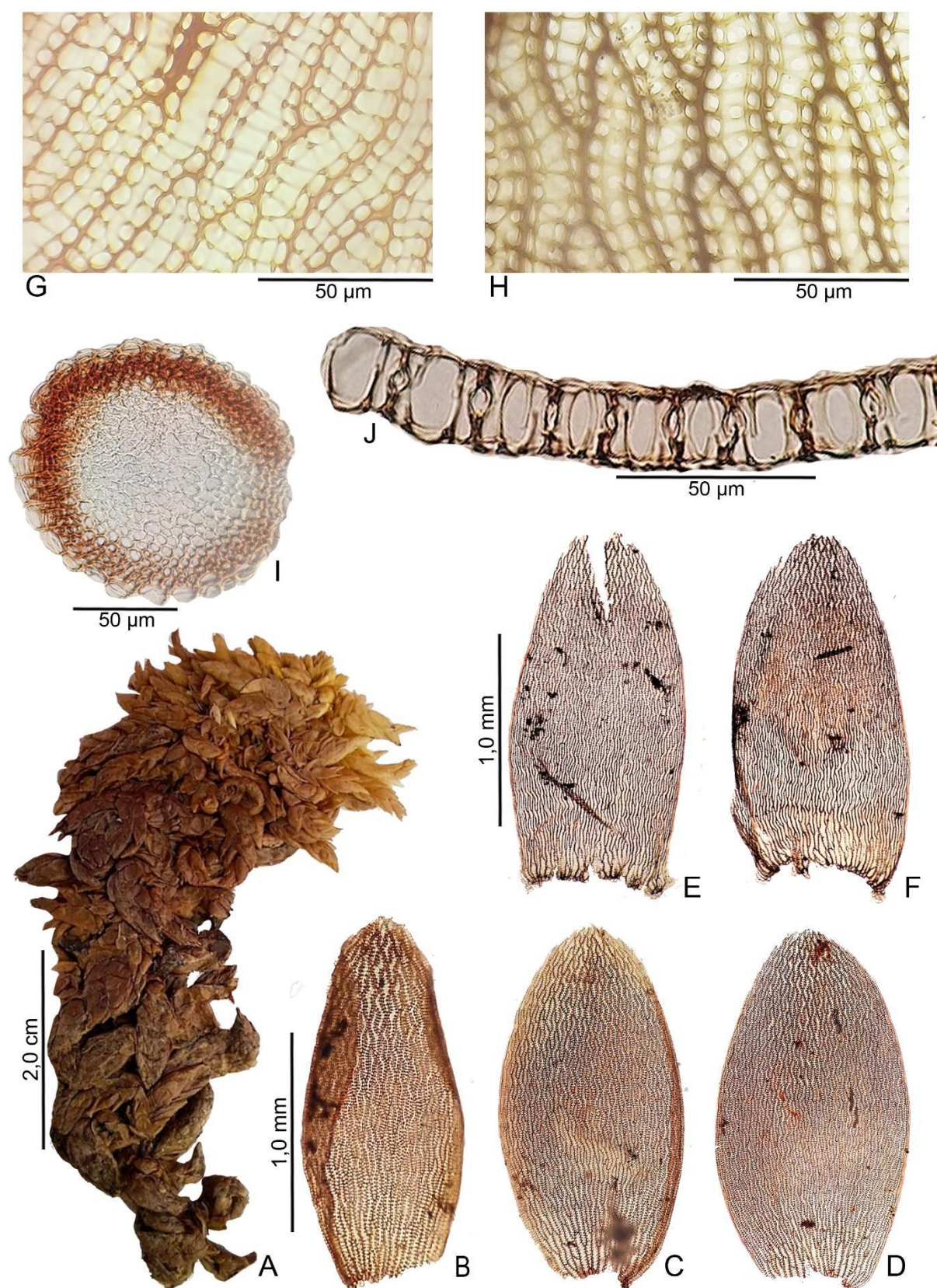


Figure 1. *Sphagnum cribriforme*. A. Habit. B–D. Branch leaves. E–F. Stem leaves. G. Upper cells of branch leaf (inner surface). H. Upper cells of branch leaf (outer surface). I. Cross-section of stem. J. Cross-section of branch leaf.

Specimens examined—BRAZIL. Goiás: Chapadão do Céu, Parque Nacional das Emas, vegetação de cerrado, 810 m, 18°09'33''S, 52°53'44''W, 02 Aug 2008, *J. Bordin s/n°* (SP); idem, mata de galeria, 784 m, 18°15'33''S, 52°53'14''W, 11 Jan 2022, *D.F. Peralta 27208* (SP).

Distribution—*Sphagnum cribriforme* is endemic to Goiás state, in Brazil. The type-specimen was collected in the Serra dos Pirineus (Warnstorf 1895, Crum 1993), and another sample is recorded to the Serra Dourada (Warnstorf 1911). In this study we rediscovery this species and expanded the distribution to the Parque Nacional das Emas.

Ecology and habitat—This species occurs in “cerrado” vegetation, close to riverbanks in riparian forests, on the surface of rocks, at 780 – 800 m elev.

Comments—*Sphagnum cribriforme* is characterized by grouped leaves that form a globose structure on the branches, sequential annular pores at the commissures of the inner surface of the branch leaves, while on the outer surface the median pores are restricted to the apex of the leaves, in addition to the presence of pores or pseudopores at the commissures. In addition, the chlorocysts are elliptical and appear to be immersed, but they present a thickening of the cell wall that allows them to be exposed on both surfaces.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), for a PhD grant provide to the first author. And for the Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente of Instituto de Pesquisas Ambientais de São Paulo, Brazil, for the necessary structure to do this doctoral degree.

References

- Costa, D.P. (2022) A Synopsis of the Family Sphagnaceae in Brazil. *Systematic Botany Monograph* 111: 1–144.
- Crum, H.A. (1993) Miscellaneous notes on the genus *Sphagnum*. 3. *Bryologist* 96: 455–462.
- Crum, H.A. (1995) Miscellaneous notes on the genus *Sphagnum*. 6. *Contr. Univ. Michigan Herb.* 20: 129–140.
- Gaudig, G., Fengler, M., Krebs, M., Prager, A., Schulz, J., Wichmann, S. & Joosten, H. (2014) *Sphagnum* farming in Germany – a review of progress. *Mires and Peat* 13: 1–11.

- Glime, J.M. (2017) 7.1. Water relations. In: Glime, J.M. *Bryophyte Ecology – vol. 1. Physiological Ecology*. Michigan Technological University and International Association of Bryologists, Michigan. Available: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology1> (18 May 2025).
- Hampe, E. (1847) Ein Referat über die Columbischen Moose, welche von Herrn Moritz gesammelt wurden. *Linnaea* 20: 65–98.
- Linnaeus, C. von (1753) *Species Plantarum*, vol. 2. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae: 1–1200.
- Michaelis, D. (2019) The *Sphagnum* species of the world. *Bibliotheca Botanica* 162: 1–145.
- Thiers, B. (2025) *Index Herbariorum*. The New York Botanical Garden. Available: <https://sweetgum.nybg.org/ih> (18 May 2025).
- Tuba, Z., Slack, N.G. & Stark, L.R. (2011) *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge University Press & Assessment, New York: 1–528.
- Warnstorf, C. (1895) Sphagnaceae. In: Brotherus, V.F. Beiträge zur Kenntniss der Brasilianischen Moosflora. *Hedwigia* 34: 130.
- Warnstorf, C. (1911) Sphagnales, Sphagnaceae (Sphagnologia universalis). In: Engler, A. (ed.). *Das Pflanzenreich (Regni Vegetabilis Conspectus)*. Vol. 5. Leipzig: 1–546.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho representa um avanço significativo no conhecimento sobre a diversidade, morfologia, distribuição e estado de conservação de espécies brasileiras do gênero *Sphagnum*. Os resultados apresentados demonstram a riqueza ainda pouco explorada do gênero no Brasil, a presença de táxons endêmicos em áreas de elevada sensibilidade ambiental, como os campos rupestres e os tepuis amazônicos, e a existência de espécies ainda desconhecidas para a ciência.

A descrição de três novas espécies, a redescoberta de uma espécie conhecida apenas pelo tipo contribuem diretamente para o aprimoramento e compreensão da taxonomia do grupo. A análise morfológica e esporal de 13 táxons reforçou o potencial diagnóstico de caracteres micromorfológicos, ampliando as possibilidades de identificação e diferenciação entre subgêneros.

A avaliação do risco de extinção das espécies endêmicas de *Sphagnum* no Brasil, realizada com base nos critérios da IUCN, revelou que boa parte desses táxons está sob algum grau de ameaça, sendo duas espécies possivelmente extintas. Tal cenário evidencia a urgência de medidas de conservação voltadas às briófitas, grupo negligenciado nas políticas ambientais e nos esforços de pesquisa no país.

Diante disso, esta tese reforça a necessidade de investimento em inventários florísticos, formação de especialistas em briologia, incentivo à pesquisa básica em sistemática e ampliação das ações de conservação. O gênero *Sphagnum*, por seu papel funcional e diversidade singular, deve ser reconhecido como prioridade em estratégias de pesquisa e conservação da biodiversidade brasileira.

Sobretudo, um dos objetivos inicialmente propostos neste projeto de doutorado, além dos apresentados nos capítulos da tese, era identificar quais espécies do gênero *Sphagnum* são comercializadas nos grandes centros urbanos do Brasil, localizar suas origens geográficas por meio da comparação com registros em coleções científicas e complementar essas análises com dados de certificação molecular. Foram obtidas amostras de diversas regiões do país e, por meio de identificação morfológica, constatou-se que as espécies mais frequentemente comercializadas são *Sphagnum aciphyllum* Müll.Hal. (subg. *Acutifolia*) e *Sphagnum recurvum* P.Beauv. (subg. *Cuspidata*).

Além disso, observou-se que estudos recentes indicam que *Sphagnum magellanicum* Brid. representa, na verdade, um complexo de espécies. Com base nisso, foram iniciados estudos moleculares com foco nas populações de *S. aciphyllum*, com o objetivo de construir redes de haplótipos e mapear suas áreas de ocorrência, bem como rastrear as localidades de

coleta das populações exploradas comercialmente. Também foi proposta a análise de *S. magellanicum* com o intuito de verificar se as populações brasileiras pertencem à mesma espécie da localidade-tipo (Patagônia) ou se, assim como apontado na literatura, trata-se de um complexo de espécies.

Esses estudos moleculares foram iniciados, com a extração de DNA de mais de 100 amostras. Parte desse material foi submetida à amplificação de quatro regiões do cloroplasto, incluindo regiões conservadas, mais apropriadas para o estudo populacional de *S. magellanicum*, e regiões mais variáveis, adequadas para as análises de *S. aciphyllum*. No entanto, dificuldades técnicas e logísticas limitaram o avanço das análises e impedem, até o momento, a continuidade das etapas de sequenciamento.

Apesar dos desafios, durante este doutorado também serão descritas duas novas espécies de *Sphagnum* – *Sphagnum* sp. (com ocorrência confirmada para o estado de Mato Grosso) e *Sphagnum* sp. (com ocorrência no estado da Bahia), além do reestabelecimento de uma espécie anteriormente mal interpretada e da exclusão de registros incorretos de ocorrência para o Brasil, os quais resultarão em notas taxonômicas futuras. E para isso, é necessário o incentivo aos estudos moleculares que darão maior embasamento tanto para o reconhecimento dos novos táxons, quanto para reestabelecimentos e exclusão de espécies.

ANEXOS

Link planilhas GeoCat: https://drive.google.com/drive/folders/16sedNi7O0q4pkG-a31RN7lDQWpqD_7Ie?usp=drive_link