

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução
Universidade Federal da Bahia

**Estudos taxonômicos e filogenéticos de *Geastrum*
saccatum Fr. (Geastraceae, Basidiomycota)**

Ruane Vasconcelos Bento de Araújo

Salvador, 2024

Ruane Vasconcelos Bento de Araújo

**Estudos taxonômicos e filogenéticos de *Geastrum saccatum* Fr.
(Geastraceae, Basidiomycota)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia para a obtenção do título de mestra em Biodiversidade e Evolução pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução.

Orientadora: Bianca Denise Barbosa da Silva (UFBA)

Coorientador: Iuri Goulart Baseia (UFRN)

Salvador, 2024

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Araújo, Ruane Vasconcelos Bento de.

Estudos taxonômicos e filogenéticos de *Geastrum saccatum* Fr. (Geastraceae, Basidiomycota) /
Ruane Vasconcelos Bento de Araújo. - 2024.
59 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Bianca Denise Barbosa da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Iuri Goulart Baseia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Salvador, 2024.

1. Biodiversidade. 2. Biologia - Classificação. 3. Micologia. 4. Fungos - Classificação. 5. Basidiomycetes. 6. Estrelas-da-terra. I. Silva, Bianca Denise Barbosa da. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. III. Título.

CDD - 579.5

CDU - 582.28

Comissão julgadora

Estudos taxonômicos e filogenéticos de *Geastrum saccatum* Fr. (Geastraceae, Basidiomycota)

Ruane Vasconcelos Bento de Araújo

Orientadora: Bianca Denise Barbosa da Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre na área de Biodiversidade e Evolução.

Aprovada em 22 de janeiro de 2024 por

Profa. Dra. Bianca Denise Barbosa da Silva (UFBA)

Prof. Dr. Rhudson Henrique Santos Ferreira da Cruz (UFOB)

Prof. Dr. Renato Juciano Ferreira (URCA)

Orientadora: Bianca Denise Barbosa da Silva (UFBA)

Coorientador: Iuri Goulart Baseia (UFRN)

Dedico este trabalho ao meu noivo e parceiro de vida, Inlã, por todo o apoio e compreensão nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio que recebi durante esse período. Minha mãe – Adriana Vasconcelos; irmãos – Lucas e Ana Júlia; que estiveram presente em muitos momentos dessa jornada e com certeza me deram mais suporte do que imaginam.

Ao meu noivo Inlã, além de todo o apoio emocional e incondicional, pelo suporte em todas as etapas de execução deste trabalho, sempre presente e apoiando nos momentos difíceis incentivando o meu sucesso e sempre disposto a me ouvir.

Sou grata a minha amiga Thamires pelo apoio, parceria e pelos bons momentos compartilhados até aqui.

Aos meus orientadores Prof.^a Bianca D. B. da Silva e Prof. Iuri G. Baseia sou muito grata. A Prof.^a Bianca, minha orientadora desde a graduação, agradeço pela confiança e por todo o suporte que me proporcionou durante esses anos. Agradeço aos professores Renato Juciano e Rhudson Cruz por aceitarem participar da banca avaliadora.

Agradeço a Universidade Federal Bahia pelo suporte necessário para minha formação; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução.

Agradeço ao Laboratório de Genética Vegetal do Instituto de Biologia da UFBA e ao Laboratório de Pesquisa em Biologia Molecular da Faculdade de Farmácia da UFBA pela ajuda nas análises moleculares.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma na construção deste trabalho.

SUMÁRIO

Resumo	viii
Introdução Geral	10
1. Morfologia do gênero <i>Geastrum</i>	11
2. Gênero <i>Geastrum</i> para o Brasil	15
3. Taxonomia de <i>Geastrum saccatum</i>	16
Capítulo 1- Taxonomic and phylogenetic studies reveal three new species of the genus <i>Geastrum</i> in the <i>Corollina</i> section (Geastrales, Basidiomycota) from Brazil.....	22
Introduction	22
Materials and methods	23
Results	25
References	39
Capítulo 2 - Revisão de <i>Geastrum saccatum</i> (Geastrales, Basidiomycota) com ênfase em espécies brasileiras.....	43
Introdução	43
Material e Métodos.....	44
Resultados e Discussão.....	44
Referências.....	51
Referências Bibliográficas	54

RESUMO

A espécie *Geastrum saccatum* foi descrita por Fries em 1829 e representa o primeiro registro do gênero para o Brasil. A descrição de Fries para o táxon é sucinta, tornando-se difícil compreender a delimitação da espécie. Fries não indicou o tipo no momento da publicação e não indicou onde o espécime foi depositado. Atualmente, conforme os bancos de dados brasileiros, *G. saccatum* é considerada a segunda espécie mais registrada do gênero para o Brasil. Esta espécie é caracterizada principalmente pelo exoperídio sacado, peristômio fibriloso e delimitado, camada micelial dupla e presença de cristais aciculares nas rizomorfas. Devido à similaridade morfológica de *Geastrum saccatum* com outras espécies do gênero, muitos materiais foram depositados nos herbários brasileiros com possíveis identificações equivocadas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi revisar os espécimes de *G. saccatum* a partir da análise de materiais brasileiros. Foram solicitados empréstimos de exsicatas identificadas como *G. saccatum* das coleções dos herbários JPB, UFRN-Fungos, URM e ICN. Os espécimes foram analisados macro e microscopicamente no Laboratório de Sistemática de Fungos da UFBA. As etapas e procedimentos para análise molecular de DNA foram realizados no Laboratório de Genética e Evolução Vegetal da UFBA. Foram utilizados os primers ITS5/ITS4 e ITS1/ITS4 e LR0R/LR5r. A análise das sequências obtidas foi feita com a utilização de softwares específicos para gerar as árvores filogenéticas. A análise filogenética foi realizada com dados concatenados no CIPRES e MrBayes, com Análise de Máxima Verossimilhança (ML) e Análise Bayesiana, respectivamente. No total, foram analisadas 34 exsicatas identificadas como *G. saccatum*. A partir de análises morfológicas alguns materiais foram identificados como *G. triplex*, outros foram identificados como *G. aff. saccatum*, alguns não foi possível identificar a nível específico pelas condições do material, e em outros apenas foi possível confirmar que não se trata de *G. saccatum* pelas características morfológicas apresentadas. A partir de análises morfológicas e filogenéticas três novas espécies de *Geastrum* foram propostas dentro da Seção *Corollina*. Desse modo, observou-se que características morfológicas como camada micelial dupla e tipo de cristais aciculares nas rizomorfas, são fundamentais nas descrições de *G. saccatum*, bem como, análises filogenéticas incluindo um número maior de espécies de *Geastrum* da seção *Corollina*, pode contribuir para compreender a classificação das três subseções *Marginata*, *Lagerniformia* e *Plicostomata*.

Palavras-chaves: Estrelas-da-terra, Funga, Gasteroides, Geastrales

ABSTRACT

The species *Geastrum saccatum* was described by Fries in 1829 and represents the first record of the genus for Brazil. Fries' description of the taxon is succinct, making it difficult to understand the delimitation of the species. Fries did not indicate the type at the time of publication and did not indicate where the specimen was deposited. Currently, according to Brazilian databases, *G. saccatum* is considered the second most recorded species of the genus for Brazil. This species is characterized mainly by the saccate exoperidium, fibrillose and delimited peristome, double mycelial layer and presence of acicular crystals in the rhizomorphs. Due to the morphological similarity of *Geastrum saccatum* with other species of the genus, many materials were deposited in Brazilian herbarium with possible mistaken identifications. In this context, the objective of this work was to review the specimens of *G. saccatum* based on the analysis of Brazilian materials. Loans of specimens identified as *G. saccatum* were requested from the collections of the JPB, UFRN-Fungos, URM and ICN herbarium. The specimens were analyzed macroscopically and microscopically at the Laboratory of Fungal Systematics of UFBA. The steps and procedures for molecular DNA analysis were performed at the Laboratory of Plant Genetics and Evolution of UFBA. The primers ITS5/ITS4 and ITS1/ITS4 and LR0R/LR5r were used. The analysis of the obtained sequences was performed using specific software to generate phylogenetic trees. The phylogenetic analysis was performed with data concatenated in CIPRES and MrBayes, with Maximum Likelihood Analysis (ML) and Bayesian Analysis, respectively. In total, 34 specimens identified as *G. saccatum* were analyzed. From morphological analyses, some materials were identified as *G. triplex*, others were identified as *G. aff. saccatum*, some of which could not be identified at a specific level due to the conditions of the material, and in others it was only possible to confirm that they were not *G. saccatum* due to the morphological characteristics presented. From morphological and phylogenetic analyses, three new species of *Geastrum* were proposed within the *Corollina* Section. Thus, it was observed that morphological characteristics such as double mycelial layer and type of acicular crystals in the rhizomorphs are fundamental in the descriptions of *G. saccatum*, as well as, phylogenetic analyses including a greater number of *Geastrum* species from the *Corollina* section, can contribute to understanding the classification of the three subsections *Marginata*, *Lagerniformia* and *Plicostomata*.

Key words: Earthstars, Funga, Gasteroides, Geastrales

INTRODUÇÃO GERAL

A família Geastraceae é reconhecida pelos basidiomas em forma de estrela, devido à deiscência do exoperídio em raios na maturidade, sendo denominados comumente de estrelas-da-terra (Sousa *et al.* 2015). Nos últimos anos, essa família passou por várias modificações. Ponce de León em 1968 considerou Geastraceae apresentando três gêneros: *Geastrum* Pers., *Myriostoma* Desv. e *Geasteropsis* Hollós. Em sua análise de espécies de Geastraceae do norte da Europa, Sunhede (1989) considerou oito gêneros na família: *Geastrum*, *Myriostoma*, *Geasteropsis*, *Trichaster* Czern., *Phialastrum* Sunhede, *Pyrenogaster* Malençon e Rioussset, *Radiigera* Zeller e *Terrostella* Long. Hosaka *et al.* (2006) trazem uma classificação baseada em análises filogenéticas, considerando três gêneros: *Geastrum*, *Myriostoma* e *Radiigera*. Posteriormente, Jeppson *et al.* (2013) e Zamora *et al.* (2014) propuseram a sinonimização do gênero *Radiigera* com o gênero *Geastrum*. Deste modo, atualmente são considerados os gêneros *Geastrum* e *Myriostoma* na família Geastraceae.

Embora a maior parte dos representantes de *Geastrum* apresentem o basidioma em forma de estrela, alguns podem apresentar basidioma esférico e hábito geralmente hipógeo, ou seja, desenvolvimento abaixo da camada superficial do solo, sendo denominados como falsas-trufas. Essas espécies eram consideradas no gênero *Radiigera* Zeller, atualmente é um sinônimo de *Geastrum* (Jeppson *et al.*, 2013).

Dentre as espécies presentes no gênero *Geastrum*, uma em particular teve sua descrição feita de maneira problemática: *Geastrum saccatum* Fr. Ela foi proposta por Fries (1829) com base em exemplares brasileiros, caracterizada pelo exoperídio sacado com tufos na camada micelial, sem incrustações, raios longos e afilados nas pontas, séssil, peristômio circular, bem delimitado e plano. Sunhede (1989), em uma revisão da família Geastraceae com ênfase nas espécies da Europa, afirma que não há material tipo de *Geastrum saccatum* e evita selecionar qualquer neótipo com o material europeu estudado.

Historicamente, *Geastrum saccatum* é comumente confundida com *G. lageniforme* Vittad. e *G. triplex* Jungh., pela semelhança na morfologia dos basidiomas, apresentando por exemplo, basidioma expandido sacado, peristômio bem delimitado e camada micelial com incrustações. Além das características encontradas em *G. saccatum*, *G. lageniforme* pode apresentar ranhuras longitudinais na camada micelial, e *G. triplex*, raios involutos e colar proeminente ao redor do endoperídio (Sunhede, 1989).

No entanto, com base nas descrições feitas em publicações sobre novas distribuições de *G. saccatum*, *G. lageniforme* e *G. triplex*, é possível notar que as ranhuras longitudinais na camada micelial pode ser encontrada em *G. saccatum* (Sunhede, 1989) e que a presença do colar pode não ser encontrada em todos os *G. triplex* (Verma *et al.* 2018) Uma circunscrição mais ampla de *G. saccatum* pode contribuir para delimitar suas características, e proporcionar perspectivas para estudos sobre *G. lageniforme* e *G. triplex*.

Baseado no exposto, o objetivo geral deste trabalho foi revisar e delimitar a espécie *G. saccatum*. Com objetivos específicos: (i) caracterizar morfológica e molecularmente *G. saccatum*; (ii) elucidar novos caracteres a serem utilizados nos estudos taxonômicos do gênero; e (iii) propor um lectótipo para *G. saccatum*. Sendo assim, as hipóteses deste trabalho foram: 1) *Geastrum saccatum* faz parte de um complexo de espécies ocultas existente no Brasil; e 2) Existem diversos materiais de herbário identificados como *G. saccatum* e que pertence a *G. lageniforme*, *G. triplex* ou alguma outra espécie do gênero.

1. Morfologia do gênero *Geastrum*

O gênero *Geastrum* foi descrito por Micheli (1729) originalmente como *Geaster*. Em 1801, Persoon, em sua *Synopsis Methodica Fungorum*, padronizou o nome para *Geastrum*. Com isso, houve várias discussões entre diversos pesquisadores sobre qual nome utilizar. Então em 1891, o Conselho Internacional de Nomenclatura Botânica compreendeu que *Geaster* seria uma variação ortográfica de *Geastrum* (Demoulin, 1984), sendo este o nome utilizado atualmente (Sunhede, 1989; Soto & Wright, 2000). *Geastrum* compõe, juntamente com *Myriostoma*, a família Geastraceae (Figura 1), considerada monofilética e inserida na subclasse Phallomycetidae (Hosaka *et al.* 2006; Hosaka & Castellano 2008; Silva *et al.* 2013).

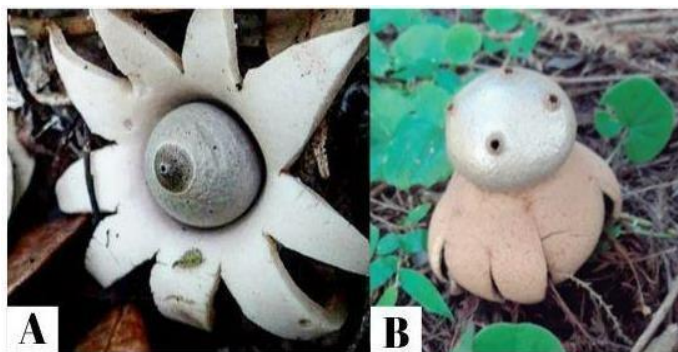


Figura 1. Representantes da família Geastraceae: *Geastrum* e *Myriostoma*, respectivamente. Adaptada de Trierveiler-Pereira & Gugliotta, 2020.

Geastrum faz parte dos fungos gasteroides, os quais são caracterizados principalmente por apresentarem basidiosporos liberados passivamente, estatimospóricos (Alexopoulos *et al.*, 1996; Webster & Weber, 2007), os quais se formam no interior do basidioma, por isso denominados angiocárpicos (Miller & Miller, 1988). Quando o processo de formação dos esporos está completo, o basidioma se expande. Como estes fungos não possuem o apêndice hilar (estrutura que participa da liberação dos esporos), adaptou-se o desenvolvimento de estratégias para a liberação passiva dos esporos. Essas características separam os fungos gasteroides de outros dentro do filo Basidiomycota (Calonge, 1998; Miller & Miller, 1988).

No final do século XX, novos estudos utilizando análises morfológicas, ontogenéticas, filogenéticas e moleculares sobre a classificação dos fungos gasteroides foram realizados e estes passaram a ser considerados um grupo polifilético que engloba fungos de diversas ordens (Hibbet *et al.*, 1997; Hosaka *et al.*, 2006; Hibbett *et al.*, 2007; Kirk *et al.*, 2008; Hibbett *et al.*, 2014;). Atualmente, a classificação mais aceita inclui os fungos gasteroides na classe Agaricomycetes Doweld, alocados nas subclasses Agaricomycetidae Parmasto e Phallomycetidae K. Hosaka, Castellano & Spatafora (Hosaka *et al.*, 2006).

As espécies do gênero *Geastrum* apresentam perídio pluriestratificado, dividido em duas camadas: exoperídio e endoperídio (Figura 2). O exoperídio é responsável pela abertura dos raios na fase madura e é dividido em três camadas: micelial, fibrosa e pseudoparenquimatosa (Miller & Miller, 1988). A camada micelial é a mais externa e permanece em contato com o substrato durante todo ciclo de vida do indivíduo, podendo apresentar uma única ou dupla camada (Figura 3). A camada dupla é dividida em camada externa, consistindo em hifas com paredes espessas, e camada interna, apresentando hifas com paredes finas e grampos de conexão (Sunhede, 1989). A camada micelial apresenta características que são importantes para a taxonomia do grupo: textura (cotonosa, coriácea,

papirácea, lanuginosa); aspecto da superfície (hirsuta, lanuginosa, equinulada, pruinosa, velutínea) e presença ou não de incrustações na sua superfície, que de acordo com o tipo de substrato pode ser de natureza orgânica ou inorgânica (Sunhede, 1989).

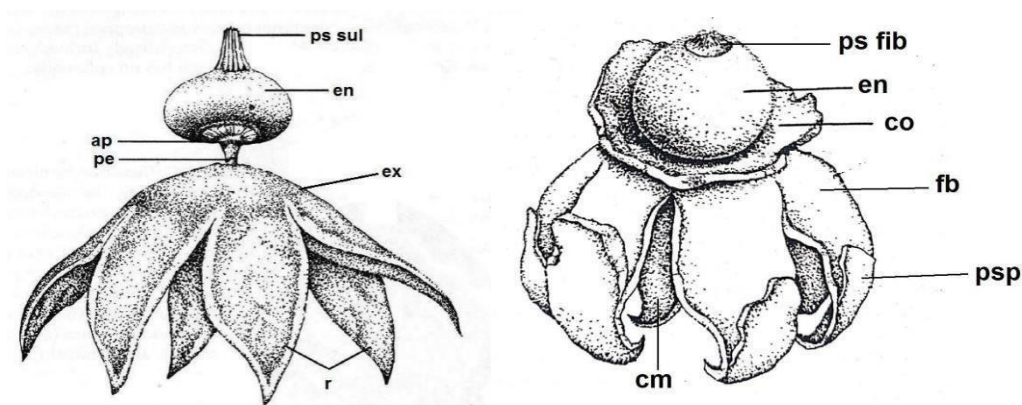


Figura 2. Morfologia dos basidiomas maduros de *Geastrum*: peristômio sulcado (ps sul) e fibriloso (ps fib); endoperídio (en); apófise (ap); pedicelo (pe); exoperídio (ex); raios (r); colar (co); camada fibrosa (fb); camada micelial (cm) e camada pseudoparenquimatosa (psp). Adaptada de Miller & Miller, 1988.

A camada fibrosa se encontra entre a micelial e pseudoparenquimatosa, variando no seu aspecto, normalmente entre coriácea, cotonosa ou papirácea (Sunhede, 1989). Já a camada pseudoparenquimatosa é composta por hifas com formatos globosos e é reconhecida, quando o basidioma está fresco, pelo seu aspecto carnoso e espesso (Sunhede, 1989). No entanto, nos estágios finais do desenvolvimento do indivíduo, essa camada pode se desprender totalmente da camada fibrosa, sendo ausente em basidiomas mais velhos (Sunhede, 1989). Em algumas espécies essa camada pode apresentar características taxonômicas importantes, como a presença de um colar em torno do endoperídio, como observado em *Geastrum triplex* (Trierveiler-Pereira *et al.*, 2011).

O endoperídio, que é a camada mais interna, envolve a porção fértil (gleba) durante todo o desenvolvimento do indivíduo. Sua morfologia pode variar entre globoso, subgloboso e depresso-globoso e ele pode apresentar variações no aspecto de sua superfície (pruinoso, glabro e hifas protuberantes). Estruturas importantes para a taxonomia do grupo podem ser observadas no corpo do endoperídio: ostíolo e pedicelo, já que representantes desse gênero são reconhecidos pelos basidiomas uniostiolados (único ostíolo) e unipedicelados (um pedicelo).

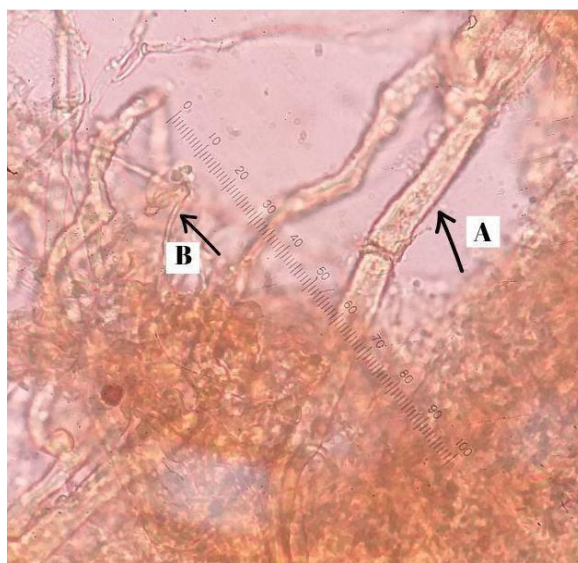


Figura 3. Hifas da camada micelial dupla: A - Externa e B - Interna. Fonte: Autoria própria.

O ostíolo é observado na porção apical do endoperídio e é usado para dispersão dos esporos através do mecanismo de fole, que é caracterizado como uma pressão exercida no endoperídio por algum agente externo. Já o pedicelo é localizado na base do endoperídio, ligando este ao exoperídio, como ocorre em *Geastrum lloydianum* Rick. e *Geastrum pectinatum* Pers., por exemplo. Quando presente, o basidioma é denominado pedicelado e, quando ausente, é dito como séssil (Bates, 2004; Sunhede, 1989).

Em torno do endoperídio é possível observar o peristômio, que tem um grande valor taxonômico para o gênero e pode apresentar estrutura sulcada, fibrilosa ou fimbriada (Figura 4). Quando sulcado, apresenta sulcos regulares ou irregulares em relação à sua organização. A estrutura fimbriada forma uma rede de fibras finas que envolvem praticamente todo o ostíolo. O peristômio fibriloso possui fibras mais grossas e normalmente é possível observar a abertura do ostíolo. O peristômio pode ser delimitado, apresentando uma linha circular de coloração mais clara que o separa do restante do endoperídio ou pode não apresentar essa delimitação. Sua morfologia pode variar entre cônico, mamiforme ou plano (Sunhede, 1989).



Figura 4. Peristômio em *Geastrum*: A) Sulcado; B) Fibriloso; C) Fimbriado. Fotos da autora

2. Gênero *Geastrum* para o Brasil

De acordo com o Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>) são encontradas 379 espécies de *Geastrum* no mundo (incluindo as espécies sinônimos). O primeiro registro do gênero para o Brasil foi *Geastrum saccatum* (como *Geaster saccatus*), proposto como espécie nova para a ciência por Fries em 1829. Outros trabalhos foram realizados no Brasil, porém seus estudos não foram focados em Geastraceae: Berkley e Cooke (1876); Hennings (1904); Sydow e Sydow (1907) e Viégas (1945). Somente no século XX iniciaram os trabalhos que passaram a dar ênfase na família Geastraceae. O padre austríaco Johannes Rick, considerado o pai da micologia brasileira (Fidalgo, 1962), em dezenas de publicações realizadas para o Rio Grande do Sul, atribuiu em seus estudos 29 espécies para o gênero (Rick, 1961).

Accioly *et al.* (2019) citaram para o Brasil 67 espécies, o que demonstra um número expressivo de espécies ocorrentes no país, visto que Zamora *et al.* (2014) estimaram cerca de 100-120 espécies deste gênero para o mundo. Entretanto, esse número já sofreu alterações visto que novas espécies brasileiras foram publicadas: *Geastrum albofibrosum* R.L. Oliveira, Dourado-Barbosa, R. Cruz, M.P. Martín & Baseia, (Crous *et al.*, 2023); *Geastrum caatingense* J.O Sousa, M.P Martín & Baseia; *G. parvistellum* J.O Sousa, M.P Martín & Baseia (Sousa *et al.* 2019); *G. hyalinum* Freitas-Neto, N.M. Assis, J.O. Sousa, Baseia (Assis *et al.* 2019); *G. lanuginosum* R.V.B. Araújo, J.O. Sousa, M.P. Martín, Baseia & B.D.B Silva (Crous *et al.* 2019); *G. calycicoriaceum* Freitas-Neto, J.O. Sousa, Ovrebo, M.P. Martín & Baseia (Crous *et al.* 2020); *G. squameoramulosum* T.S. Cabral, J.O. Sousa & Baseia 2022 e *G. tupiense* J.O. Sousa, Freitas-Neto & Baseia, totalizando 75 espécies do gênero para o Brasil, distribuídas em 15 estados (Figura 5).

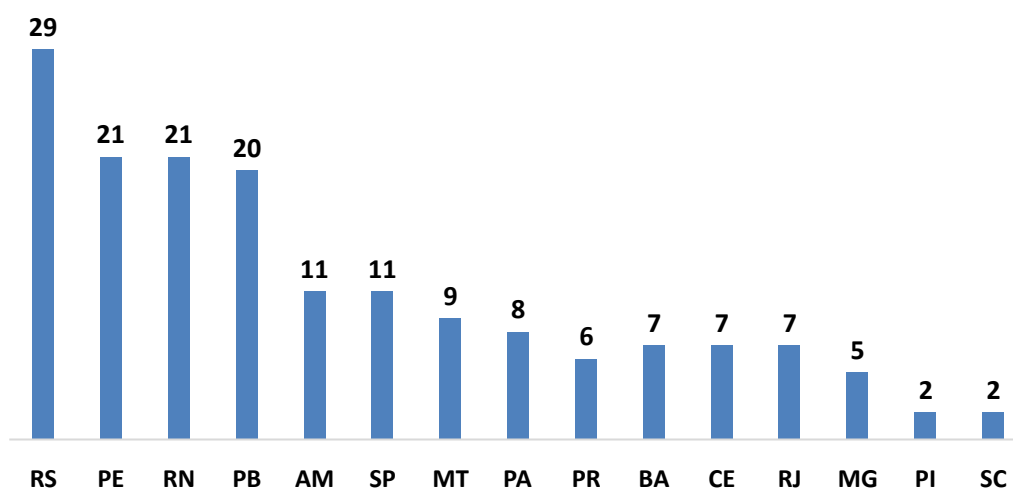


Figura 5. Quantidade de espécies de *Geastrum* registrada nos estados brasileiros.

Especificamente sobre o primeiro *Geastrum* descrito para o território brasileiro, *Geastrum saccatum*, existem 273 registros em herbários brasileiros, conforme dados disponíveis no Specieslink, representando a segunda espécie mais citada no banco de dados, sendo a primeira, *Geastrum schweinitzii* (Berk. & M.A. Curtis) Zeller com 414 registros.

3. Taxonomia de *Geastrum saccatum*

Geastrum saccatum foi descrita por Fries em 1829, como *Geaster saccatus*, a partir de material brasileiro enviado por Hornemann. Fries apontou como referência a ilustração apresentada por Plumier (1703) denominada como *Lycoperdon coronatum* (Figura 6). Sunhede (1989), em uma revisão sobre a morfologia, ecologia e sistemática da família Geastraceae com ênfase nas espécies do norte da Europa, afirma que não há material tipo de *Geastrum saccatum* e evita selecionar qualquer neótipo com o material europeu estudado, uma vez que a espécie é brasileira.

Fries (1829) descreveu *G. saccatum* apresentando exoperídio sacado com um tufo de micélio basal, camada de micélio sem detritos incrustantes, raios afunilando-se em pontos muito longos (com margens arredondadas e pontas torcidas em estado seco), endoperídio sésil, e peristômio com um disco circular bem delimitado, plano, um tanto enrugado, com um centro pequeno e boca fibrilosa. Sunhede (1989) pontua que é difícil entender o que Fries compreendeu como *G. saccatum*, devido: (1) não citar características microscópicas, (2) ter conhecimento insuficiente da flora brasileira de Geastraceae, e (3) ter necessidade de uma revisão feita em espécimes bem preservados e, na medida do possível, também em material fresco.



Figura 6. *Geastrum saccatum* ilustrado como *Lycoperdon coronatum* por Plumier (1703)

A ilustração de Plumier (1703) denominada como *Lycoperdon coronatum* e indicada como parte do protólogo no trabalho de Fries, não pode ser considerada para representar o tipo, pois a mesma não reflete as características de *Geastrum saccatum*. O Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas recomenda que quando um holótipo, um lectótipo ou um neótipo é uma ilustração, o espécime ou espécimes nos quais aquela ilustração está baseada deveriam ser utilizados para ajudar a determinar a aplicação do nome (Recomendação 8A - 8A.1.).

Levando em consideração o Artigo 9.3 do Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Fungos e Plantas, o qual estabelece que um lectótipo é um espécime designado a partir do material original como tipo nomenclatural se: i) o holótipo não foi indicado na época da publicação, ii) se o holótipo está desaparecido ou iii) se for concluído que ele inclui mais de um táxon, *Geastrum saccatum* necessita ser lectotipificado. Fries não indicou o holótipo no momento da publicação e não indicou onde o espécime foi depositado. Ainda, é necessário que a espécie seja epitificada, uma vez que as características e ilustrações apresentadas não permitem que a espécie seja identificada de forma crítica para efeitos de precisão do nome do táxon.

Sunhede (1989) descreve os espécimes de *Geastrum saccatum* europeus com basidiomas maduros de pequeno a médio porte; camada micelial sem incrustações e exoperídio não higroscópico; raios expandidos variando de 5-8, normalmente sacados; endoperídio sésil e peristômio geralmente fibriloso, mais ou menos delimitado; e basidiosporos ornamentados variando de 4 a 6 µm diam. Zamora *et al.* (2013), adicionaram à caracterização da espécie, cristais de oxalato de cálcio aciculares em um arranjo irregular (Figura 7).

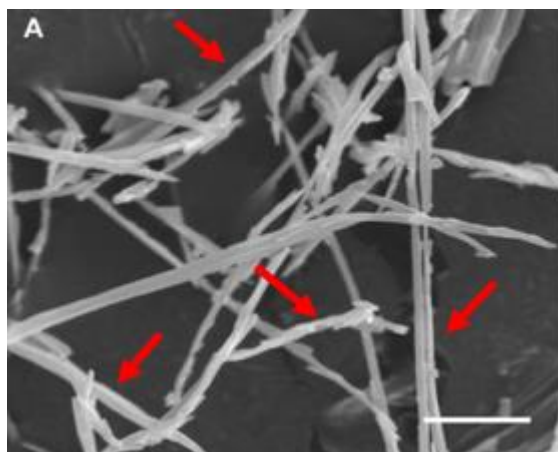


Figura 7. Cristais aciculares da rizomorfa de *Geastrum saccatum*. Adaptada de Zamora *et al.* (2013)

O oxalato de cálcio é comumente encontrado nas paredes celulares fúngicas de diversos fungos, incluindo basidiomas de *Geastrum* (Amott & Webb, 1983; Graustein *et al.*, 1977; Homer *et al.*, 1983; Whitney & Amott, 1986). Alguns trabalhos mostram a importância do estudo da estrutura da rizomorfa e dos cristais em determinados tipos de fungos (Agerer, 1999, Agerer & Iosifidou, 2004). Dentro da subclasse Phallomycetidae, a qual *Geastrum* está inserida, os cristais das rizomorfias se mostraram ter alto valor taxonômico (Methven, 1990).

Historicamente, *G. saccatum* é comumente confundida com *G. lageniforme* e *G. triplex* Jungh., pela semelhança na morfologia dos basidiomas. Além das características encontradas em *G. saccatum*, *G. lageniforme* pode apresentar ranhuras longitudinais na camada micelial, e *G. triplex*, raios involutos e colar proeminente ao redor do endoperídio (Sunhede, 1989). Assim, a delimitação destas espécies não é trivial. *Geastrum lageniforme* foi proposto por Vittadini em 1842, utilizando material europeu; e *G. triplex* foi proposto por Jungh em 1840 a partir de material da Indonésia.

Desde então, vários autores divergem nas suas considerações. Em 1886, Quelet traz a primeira discordância quando considera *G. saccatum* e *G. lageniforme* como a mesma espécie. Posteriormente, Coker & Couch (1928), Cunningham (1944), Bottomley (1948) e Ponce de León (1968) concordam que *G. lageniforme* e *G. triplex* são iguais. Enquanto Boiffard (1976), Dorfelt (1978), Vidal (1987), Sunhede (1989) e Calonge (1998) consideram três espécies diferentes. Portanto, observa-se que não há consenso na taxonomia dessas espécies e uma dificuldade em delimitar a espécie *G. saccatum*.

Em 2014, Zamora e colaboradores propuseram uma classificação infragenérica para *Geastrum*, com 14 seções e 9 subseções: sec. *Campestris*, sec. *Corollina* (subseç.

Lageniformia, subseç. *Marginata* e subseç. *Plicostomata*), sec. *Elegantia*, sec. *Exareolata*, sec. *Fimbriata*, sec. *Fornicata*, sec. *Geastrum* (subseç. *Sulcostomata*, subseç. *Geastrum* e subseç. *Quadrifida* e subseç. *Arenaria*), sec. *Harlotia*, sec. *Hieronymia*, sec. *Myceliostroma* (subseç. *Velutina* e subseç. *Epigaea*), sec. *Papillata*, sec. *Pseudolimbata*, sec. *Schimidelia* e sec. *Trichaster*; baseadas em análises filogenéticas de quatro marcadores moleculares: 5.8S nrDNA, nrLSU, rpb1 e atp6.

A seção *Corollina*, na qual está inserida *Geastrum saccatum*, é composta por espécies com morfologia bastante diversa, sendo caracterizada pelo peristômio fibriloso a plicado irregularmente, basidioma frequentemente sacado, raramente arqueado, exoperídio higroscópico ou não, camada micelial normalmente sem detritos incrustantes, raramente incrustado, corpo endoperidial sésil. Essa seção é dividida em três subseções: subseç. *Lageniformia* J.C. Zamora caracterizada por rizomorfos com cristais semelhantes a chifres, camada micelial única, peristômio fibriloso distintamente delimitado, que inclui a espécie *G. lageniforme*; subseç. *Marginata* P. Ponce de León, a qual *Geastrum saccatum*, *G. corollinum* e *G. flexuosum* fazem parte, definida pela presença de rizomorfos com cristais aciculares, camada micelial dupla e peristômio fibriloso fortemente delimitado e subseç. *Plicostomata* V.J. Staněk, caracterizada principalmente pelo peristômio não delimitado ou levemente delimitado, irregularmente plicado, cristais aciculares na rizomorfa e camada micelial dupla, incluindo as espécies *G. morganii* e *G. violaceum*.

Recentemente, as espécies *G. caatingense* (subseç. *Marginata*), *G. parvistellum* (subseç. *Plicostomata*), *G. gorgonicum* M.P. Martín, M. Dueñas & Telleria, *G. oxysepalum* T. Bau & Xin Wang, *G. melanorhynchum* T. Bau & Xin Wang e *G. pseudosaccatum* T. Bau & Xin Wang foram incluídas na seção *Corollina* (Sousa *et al.* 2019, Boonmee *et al.* 2021; Wang & Bau, 2023). A tabela 01 apresenta as principais características das espécies incluídas na seção *Corollina*.

Tabela 1. Principais características morfológicas das espécies de *Geastrum* que compõem a seção *Corollina*.

Espécie	Basidioma imaturo	Basidioma expandido largura (mm)	Raios	Camada micelial	Peristômio	Basidiósporos (µm)	Tipos de cristais da rizomorfa
<i>G. caatigense</i>	Não observado	11–29	6–10	Dupla	Fibriloso	5,2–6,5	Aciculares
<i>G. corollinum</i>	Formato de cebola	11–30	7–10	Dupla	Fibriloso	4,5–5	Aciculares
<i>G. diosiae</i>	Ápice umbonado	5–14	6–13	Dupla	Fibriloso	4–5	Aciculares
<i>G. gorgonicum</i>	Ápice umbonado	11–23	8–10	Dupla	Fibriloso	4,5–5	Aciculares
<i>G. flexuosum</i>	Arredondado	20–40	Não informado	Dupla	Não informado	4–5	Aciculares
<i>G. lageniforme</i>	Formato de cebola, lageniforme a obpiriforme	15–44	6–7	Simples	Fibriloso	4,5–5	Formato de chifres
<i>G. melanorhynchum</i>	Não observado	12–32	7–9	Não informado	Fibriloso	3,5–3,9	Não informado
<i>G. morganii</i>	Formato de cebola	9–28	6–7	Dupla	Irregularment e sulcado	4,5–6	Aciculares
<i>G. oxysepalum</i>	Forma de cebola	12–17	5–8	Não informado	Fibriloso	2,7–3,9	Não informado
<i>G. parvistellum</i>	Não observado	6–12	5–7	Dupla	Fibriloso	4,8–6,5	Aciculares
<i>G. pseudosaccatum</i>	Forma de cebola	12–37	5–9	Não informado	Fibriloso	2,6–3	Não informado
<i>G. saccatum</i>	Ápice umbonado e formato de cebola	8–44	5–8	Dupla	Fibriloso	4,5–6	Aciculares
<i>G. violaceum</i>	Piriforme	9–26	6–9	Dupla	Irregularment e sulcado	2,7–3,1	Aciculares

Capítulo 1

Título: Taxonomic and phylogenetic studies reveal three new species of the genus *Geastrum* in the *Corollina* section (Geastrales, Basidiomycota) from Brazil

Autores: Ruane Vasconcelos Bento de Araújo¹, Tiara Sousa Cabral³, Iuri Goulart Baseia², Alessandra Selbach Schnadelbach¹, Bianca Denise Barbosa da Silva¹

A ser submetido para Mycological Progress

Taxonomic and phylogenetic studies reveal three new species of the genus *Geastrum* in the *Corollina* section (Geastrales, Basidiomycota) from Brazil

Ruane Vasconcelos Bento de Araújo¹, Tiara Sousa Cabral³, Iuri Goulart Baseia²,
Alessandra Selbach Schnadelbach¹, Bianca Denise Barbosa da Silva¹

¹Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Evolução (PPGBioEvo), Instituto de Biologia, Ondina s/n, 40170-155 Salvador, BA, Brazil

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Botânica e Zoologia, Programa de Pós-graduação em Sistemática e Evolução, Campus Universitário, 59072-970, Natal, RN, Brazil

³Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Avenida André Araújo 2936, Petrópolis, 69067-375 Manaus, AM, Brazil

* Corresponding author email: ruane.vasconcelos@ufba.br

Abstract

Three new species in *Geastrum* are proposed as new after review of exsiccata of *Geastrum* species from the ICN Herbarium collection, identified as *Geastrum saccatum* named as *Geastrum iguassuensis*, *G. nodimycelialis* and *G. unumsaccatum*, were described. Phylogenetic analyses, based on ITS and LSU sequences, support the inclusion of these three species in the genus *Geastrum*. According to the results of morphological and phylogenetic analysis, *Geastrum iguassuensis*, *G. nodimycelialis* and *G. unumsaccatum* are included in the section *Corollina*. Descriptions, photographs and a key to the species of section *Corollina* are provided.

Key words: Earth-star, Geastraceae, *Geastrum saccatum*, Taxonomy

Introduction

The species of the *Geastrum* genus have a pluri-stratified peridium, divided into an exoperidium and an endoperidium, and a peristome that varies from furrowed to fibrillose or fimbriated. The exoperidium is opened into rays in the mature phase and is divided into mycelial, fibrous and pseudoparenchymatous layers (Miller & Miller, 1988). The mycelial layer is the outermost and remains in contact with the substrate throughout the individual's life cycle and may have a single layer or a double layer. The double layer is divided into the outer layer, consisting of skeletal hyphae with thick, long and unbranched walls; and the

inner layer, featuring generative hyphae with thin walls and usually with connecting staples (Sunhede, 1989, Zamora *et al.*, 2014).

Among the 14 sections proposed by Zamora and collaborators (2014), the *Corollina* section stands out, characterized by the fibrillose to irregularly plicated peristome, basidioma frequently saccate, rarely arched, exoperidium hygrosopic or not, mycelial layer normally without encrusting debris, rarely encrusted, sessile endoperidial body. This section includes the species *G. caatingense* J.O. Sousa, M.P. Martín & Baseia, *G. corollinum* (Batsch) Hollós, *G. diosiae* J.C. Zamora, *G. gorgonicum* M.P. Martín, M. Dueñas & Telleria (Boonmee *et al.*, 2021), *G. flexuosum* (L.S. Domínguez & Castellano) Jeppson & E. Larss., *G. lageniforme* Vittad., *G. melanorhynchum* T. Bau & Xin Wang, *G. morganii* Lloyd, *G. oxysepalum* T. Bau & Xin Wang, *G. parvistellum* J.O. Sousa, M.P. Martín & Baseia, *G. pseudosaccatum* T. Bau & Xin Wang, *G. saccatum* Fr. and *G. violaceum* Rick (Sousa *et al.*, 2019, Jeppson *et al.*, 2013, Wang & Bau, 2023).

In Brazil, 74 species of the genus have been recorded, distributed in the northeast, north and south of the country. Many materials have been deposited in national herbaria identified as *G. saccatum*, according to information available in databases such as SpeciesLink, which suggests that due to the similarity of this species with *G. lageniforme* and *G. triplex* Jungh., much material was identified inaccurately, requiring studies on *Geastrum saccatum* and related species. Based on morphological and molecular analyses, the aim of this work was to contribute to the knowledge of section *Corollina* by describing three new species of the genus *Geastrum* for Brazil.

Materials and methods

Morphology

Exsiccates identified as *Geastrum saccatum* from collections of the Herbarium of the Institute of Natural Sciences – ICN, UFRGS was analyzed. The specimens were analyzed at the Fungal Systematics Laboratory of the Federal University of Bahia, Brazil. The macroscopic analyzes were performed on fresh material, using a stereoscopic microscope. Colors were standardized according to Küppers (2002). For the analysis of microstructures, hand-cut sections of dried material were mounted in 5% KOH for light microscopic examination. We measured 20 of each of the basidiospores, capillitium, pseudoparenquimatous layer, fibrous layer, mycelial layer and rhizomorph. Were

standardized 20 measurements to measure each structure. Scanning electron microscopy was performed to detail the surface morphology of some structures considered essential for taxonomic studies of *Geastrum*. The material was analyzed at the Oswaldo Cruz Foundation - FIOCRUZ and the Electronic Microscopy Laboratory - LAMUME at the Physics Institute of the Federal University of Bahia.

DNA extraction, amplification, and sequencing

DNA extraction was performed from dried basidiomata of collection ICN (Table 1), following Silva *et al.*, (2013). The ITS and LSU regions were amplified using previously described primers combination ITS5/ITS4 or ITS1/ITS4 (White *et al.*, 1990) and LR0R/LR5 (Vilgalys & Hester 1990). The PCR amplifications were performed in a total volume of 50 μ L containing 2 μ L of each primer, 4 μ L 50 mM $MgCl_2$, 5 μ L of 10 $\times$ pcr - $MgCl_2$ buffer, 3 μ L of dNTPs, 0.3 μ L Taq DNA polymerase, 32.7 μ L of deionized water and 1 μ L of DNA. The ITS amplifications cycling parameters were 1 cycle of 94 °C for 5 min., 5 cycles of 94 °C for 30 sec., 54 °C for 30 sec., 33 cycles of 48 °C for 30 sec., 72 °C for 1 min., and 72 °C for 10 min., and final extension of 72 °C for 10 min; while LSU cycling parameters were 1 cycle of 95 °C for 2 min., 35 cycles of 94 °C for 30 sec., 53 °C for 30 sec. and 72 °C for 1.5 min., and final extension of 72 °C for 10 min. The PCR reactions were confirmed in a 1.5% agarose gel, stained with GelRed™ and examined under UV light. The PCR fragments were purified using the ExoSAP-IT™ PCR Product Cleanup Reagent purification kit, following the protocol provided by the kit itself. The sequencing of the PCR fragments was carried out at the Gonalo Moniz Institute.

Phylogenetic analyses

The newly generated ITS and LSU sequences and those selected from Genbank (Table 1) were aligned and manually edited in AliView v.1.26 software (Alignment Viewer and Editor). The two blocks of aligned sequences from each DNA region were concatenated to form one single matrix, which was used to perform Bayesian and Maximum Likelihood analyses, each using the partitioned dataset. The substitution model for each partition (ITS and LSU nrDNA) was chosen using MrModelTest (Nylander, 2004). MrBayes 3.2.6 (Ronquist and Huelsenbeck, 2003) was used to run the Bayesian analysis (BA), on two parallel runs executed with four incrementally heated simultaneous MCMC simulations over 3 million generations, with trees sampled every 1000 generations. The Maximum Likelihood

analysis was run in RAxML (Stamatakis, 2014) using the partitioned dataset, with an estimated proportion of invariable sites (GTRGAMMA + I), at CIPRES Science Gateway (Miller et al. 2010). Trees were visualized and edited in FigTree version 1.4.2.

Results

Phylogenetic analyses

The concatenated dataset (ITS/LSU) included thirty-eight *Geastrum* taxa (Table 1, Figure 1), with thirty-seven taxa from the ingroup of section *Corollina* (*G. caatingense*, *G. corollinum*, *G. diosiae*, *G. gorgonicum*, *G. flexuosum*, *G. iguassuensis* sp. nov., *G. lageniforme*, *G. melanorhynchum*, *G. morganii*, *G. oxysepalum*, *G. paranaensis* sp. nov., *G. pseudosaccatum*, *G. saccatum*, *G. nodimycelialis* sp. nov., *G. unumsaccatum* sp. nov. and *G. violaceum*) and one from *G. pleosporum* Douanla-Meli as outgroup. Fifty-six sequences were retrieved from GenBank and four were newly generated in this study. The concatenated matrix of ITS and LSU had 1590 positions (1 - 624 ITS, and 625 - 1585 LSU). The nucleotide substitution model selected by jModelTest 2.1.10 was GTR+I+G, for both ITS and LSU analyses. According to our analyses, *G. iguassuensis*, *G. nodimycelialis* e *G. unumsaccatum* are strongly support and are proposed as new.

With the inclusion of the species *Geastrum iguassuensis* sp. nov., *G. nodimycelialis* sp. nov. and *G. unumsaccatum* sp. nov. it was not possible to maintain the classification proposed by Zamora *et al.* (2014) of three subsections (*Marginata*, *Lagerniformia* and *Plicostomata*) in section *Corollina*. The study based on ITS and LSU analyses showed that *Geastrum nodimycelialis* formed a sister clade with *G. pseudosaccatum* (IB = 1.00 MLbs = 100%), a species recently proposed for China. *Geastrum nodimycelialis* also formed a larger clade with *G. pseudosaccatum*, *G. diosiae*, *G. morganii*, and *G. parvistellum*. According to Zamora *et al.* (2014), *G. morganii* belongs to subsection *Plicostomata* and *G. diosiae* to subsection *Marginata*; while *G. pseudosaccatum* was not classified in any section when it was proposed and *G. parvistellum* was classified in subsection *Plicostomata* according to Sousa *et al.* (2019).

Geastrum ununsaccatum formed a clade with the species *G. saccatum*, *G. flexuosum*, *G. corollinum* and *G. caatingense* (IB = 0.98 MLbs = 73%), all of which were classified in subsection *Marginata* (Zamora *et al.* 2014; Sousa *et al.* 2016). *Geastrum iguassuensis*

formed a sister clade with *G. gorgonicum* (IB = 1.00 MLbs = 100%), which was recently proposed for Cape Verde by Boonmee *et al.* (2021).

Geastrum violaceum remained in a separate clade from the species in section *Corollina*, possibly due to the inclusion of the species proposed after Zamora *et al.* (2014). *Geastrum oxysepalum* and *G. melanorhynchum* remained close, corroborating Wang and Bau (2023) and forming a clade with *G. lageniforme*.

Taxonomy

Geastrum iguassuensis R.V.B. Araújo & B.D.B. Silva sp. nov. (Figure 2, 5 e-f)

Mycobank: to be deposited.

Etymology: In reference to the collection site, Iguaçu National Park.

Diagnosis: This species is mainly characterized by saccate basidiomas measuring 6–7 × 15–20 mm, mycelial layer free of encrustations and fimbriate peristome.

Holotype: Brazil, Paraná, Foz do Iguaçu, Parque Nacional do Iguaçu, 25°41'S/54°26'W, 16.V.2014, Alves, C.R., 190, ICN188437.

Description: *Unexpanded basidiomata* epigeous, light brown (Y70Y40C30), subglobose, 13 × 12 mm, slightly, rounded with an umbo, surface papery, lacking encrusting debris, and attached to the soil by a small tuft of basal mycelium, with many rhizomorphs. *Expanded basidiomata* saccate, 6–7 × 15–20 mm (including peristome). *Exoperidium* splitting into 5–8 rays, revolute, recurved under the basidiomata, non-hygroscopic. *Mycelial layer* light brown (Y70Y40C30) not encrusted with debris, papery and persistent in all basidiomata. *Fibrous layer* pale yellow (Y40M10C00), cottony surface. *Pseudoparenchimatous layer* brown (Y90M80C70), rimose in some basidiome and in some persistent in all basidiomata. *Endoperidial body* grayish brown (Y70M60C60), globose, 8.6 × 10.2 mm, sessile, glabrous surface. *Peristome* same colour as endoperidium, with 1.70 mm height, fimbriate, mammiform. *Mature gleba* dark brown (Y99M70C90). *Rhizomorph* at 2–3 µm diam., hyaline, with acicular crystals. *Mycelial layer* single, unbranched, formed by hyaline and septate hyphae, 2–5 µm diam, thin walls (at 1 µm), with some clamps. *Fibrous layer* hyaline, 2–4 µm diam., thin-walled (at 1 µm). *Pseudoparenquimatous layer* with thin walled, hyaline cells, variable in shape and size, 55–20 × 22–52 µm. *Capillitium* brownish, thin-walled,

(3)5–6(10) μm diam. *Basidiospores* subglobose, brownish, $3\text{--}4 \times 3\text{--}4 \mu\text{m}$ diam. including the ornamentation, verrucose in SEM, columnar warts, rounded at apex.

Additional material examined: Brazil, Paraná, Foz do Iguaçu, Parque Nacional do Iguaçu, $25^{\circ}41'S/54^{\circ}26'W$, 17.V.2014, Alves, C.R., 190, ICN188422.

Notes: *Geastrum iguassuensis* is morphologically close to *G. gorgonicum*. The two species have expanded basidiomes of similar size: *G. iguassuensis* is 6–7 mm high $\times$ 15–20 mm diam, and *G. gorgonicum* is 10–11 mm high $\times$ 11–23 mm diam. They differ in the number of rays, which can reach up to 10 in *G. gorgonicum* and 8 in *G. iguassuensis*. They are also differentiated by the conical, fibrillar and well-defined peristome and double mycelial layer in *G. gorgonicum* (Boonmee *et al.*, 2021). The immature basidiome in *G. iguassuensis* is larger (14.78 mm diam.), while *G. gorgonicum* has (7–11 mm diam.), but both have a basal tuft of mycelium with a lot of rhizomorphs.

Another species similar to *G. iguassuensis* is *G. saccatum*, as both have immature basidiomata with an umbonate apex, “onion-shaped” to lageniform, non-hygroscopic and saccate basidiomata. *G. iguassuensis*, like *G. saccatum*, has acicular crystals on the rhizomorpha (Zamora *et al.*, 2013). Another characteristic that brings these two species together is the size of the capillitium, which vary up to 10 μm in width (Sunhede, 1989). However, they can be differentiated mainly by the single mycelial layer in *G. iguassuensis*, while *G. saccatum* has a double layer (Sunhede, 1989). They are also separated by the peristome, since *G. iguassuensis* has a fimbriated peristome, while *G. saccatum* has a fibrillar peristome. As well as the basidiospores, which are smaller in *G. iguassuensis*, ranging up to 4 μm in diameter, while *G. saccatum* has basidiospores up to 6 μm in diameter.

Finally, *Geastrum iguassuensis* is also similar to *G. melanorhynchum* due to the size of the basidiospores (3–4 μm diam.) and the mycelial layer without incrustations (Wang & Bau, 2023). They are differentiated by the fimbriated peristome and larger capillitium (up to 10 μm) in *G. iguassuensis*.

Geastrum nodimycelialis R.V.B. Araújo & B.D.B. Silva sp. nov. (Figure 3, 5 a-b)

Mycobank: to be deposited.

Etymology: In reference to the presence of hyphae forming nodes in the mycelial layer.

Diagnosis: This species is mainly characterized by the presence of tortuous hyphae of the mycelial layer, saccate basidiomes measuring 24 mm and a single mycelial layer with (2–3) μm diam.

Holotype: Brazil, Rio Grande do Sul, Riozinho, growing on the ground, 29S38'27"/50W27'10", 10.IV.2010, L. Trierveiler-Pereira, LTP28, ICN177114.

Description: *Unexpanded basidiomata* epigeous, brown light (Y60M40C30), subglobose, 19.5×19.3 mm, with an small umbo, surface papery, lacking encrusting debris, and attached to the soil by a small tuft of basal mycelium, with many rhizomorphs. *Expanded basidiomata* saccate, 24 mm (including peristome). *Exoperidium* splitting into 5 rays, revolute, nonhygroscopic. *Mycelial layer* beige (N20Y30M20), encrusted with debris, papery and persistent. *Fibrous layer* pale beige (N10Y30M10), papery surface. *Pseudoparenchimatous layer* dark brown (N80Y60M40), persistent. *Endoperidial body* grayish brown (Y60M50C60), globose, 4–13.7 mm, sessile, glabrous surface. *Peristome* lighter than endoperidium, light beige (Y20M10C10), with 1 mm height, fimbriate. *Mature gleba* light brown (Y60M50C50). *Rhizomorph* > 1.0 μm diam., hyaline. *Mycelial layer* single, branched, formed by hyaline, 2–3 μm diam., encrusted surface, thin walls (1 μm) and evident lumen. *Fibrous layer* hyaline, 2–3 μm diam., thin-walled ($<1\mu\text{m}$). *Pseudoparenchimatous layer* with thin-walled, yellowish cells, variable in shape and size, $18\text{--}54 \times 12\text{--}38$ μm . *Capillitium* hyaline thin-walled, 2–4 μm diam. *Basidiospores* subglobose, brownish, $3\text{--}5 \times 3\text{--}5$ μm diam. including the ornamentation, verrucose in SEM, columnar warts, rounded at apex.

Notes: In phylogenetic analyses, *Geastrum nodimycelialis* is phylogenetically close to *G. pseudosaccatum*, *G. diosiae* and *G. morganii*. *Geastrum nodimycelialis* can be differentiated from *G. pseudosaccatum* by the fibrillose peristome, smaller spores (2.6-3.0 μm diam.) and larger capillitium (3.5-7.1 μm diam) in the latter (Wang & Bau, 2023). In the original description of *G. pseudosaccatum*, it is not mentioned whether the mycelial layer is single or double. *Geastrum nodimycelialis* is differentiated from *G. diosiae* by the capillitium (6-7 μm diameter) and larger spores (4.0-5.0 μm diameter) and double mycelial layer in *G. diosiae* (Crous *et al.*, 2015). Another species close to *G. nodimycelialis* is *G. morganii*, both of which have saccate basidiomes, a papyraceous fibrous layer and umbonate immature basidiomes. However, they can be separated by the conical and irregularly plicate peristome, larger basidiospores (4-6 μm diam) and encrusted mycelial layer in *G. morganii* (Sunhede,

1989). *Geastrum nodimycelialis* is also morphologically similar to *G. saccatum* as both species have expanded saccate basidioma, papyraceous fibrous layer and globose and sessile endoperidium. However, they can be separated by the fibrillose peristome, basidiospores (4–6 µm diam) and larger capillitium (2–10 µm wide) in *G. saccatum* (Sunhede, 1989).

Geastrum unumsaccatum R.V.B. Araújo & B.D.B. Silva, sp. nov. (Figure 4, 5 c-d)

Mycobank: to be deposited.

Etymology: In reference to the similarity with *Geastrum saccatum*, but with a single mycelial layer.

Diagnosis: This species is mainly characterized by medium basidiomas, non-hygroscopic rays, mycelial layer free of encrustations, fibrillose peristome, without delimitation.

Holotype: Brazil, Rio Grande do Sul, Viamão, growing in rural area, 30S04'51"/51W01'22", 17.IV.2011, L. Trierveiler-Pereira, LTP203, ICN177081.

Description: *Unexpanded basidiomata* epigeous, brown (N60Y80M50), subglobose, 10.21–12.62 mm, rounded with an umbo, surface papery, lacking encrusting debris, and attached to the soil by a small tuft of basal mycelium, with rhizomorphs. *Expanded basidiomata* saccate, 10.55–12.62 × 18.28–24.48 mm (including peristome). *Exoperidium* splitting into 6–7 rays, revolute, recurved under the basidiomata, non-hygroscopic. *Mycelial layer* brown (N60Y80M50 to N70Y80M50), not encrusted with debris, papery and persistent in all basidiomata. *Fibrous layer* medium beige (N20Y30M20), cottony surface. *Pseudoparenchimatous layer* dark brown (N80Y60M50 to N90Y70M50), persistent, rimosa in some basidioms. *Endoperidial body* medium brown (N70Y50M30 to N70Y70M40), globose, 9.62–10.15 × 11.56–14.04 mm, sessile, glabrous surface. *Peristome* with 2.28–2.59 µm diam., fibrillose, mammiform, same colour as endoperidium. *Mature gleba* dark brown (Y99M70C90). *Rhizomorph* > 1.0 µm diam., hyaline, with acicular crystals. *Mycelial layer* single, unbranched, formed by hyaline, 2–4 µm diam., encrusted surface, thin walls (1µm) and evident lumen. *Fibrous layer* 2–4(5) µm diam., hyaline, thin-walled (<1µm) and evident lumen. *Pseudoparenquimatous layer* with thin-walled, hyaline cells, variable in shape and size, 30–80 × 21–70 µm. *Capillitium* brownish, thin-walled (< 1 µm wide), 3–6 µm diam. *Basidiospores* globose, brownish, 3–4 × 3–4 µm diam. including the ornamentation, verrucose in SEM, columnar warts, up to 0.1–0.2 µm, rounded at apex.

Additional material examined: Brazil, Rio Grande do Sul, Caçapava do Sul, Pedra do Segredo, 30S30'43''/53W29'27'', 06.VI.2011, L. Trierveiler-Pereira, LTP275, ICN175624.

Notes: *Geastrum unumsaccatum* is grouped with *G. caatingense*, *G. corollinum* and *G. flexuosum*. *Geastrum caatingense* is similar to *G. unumsaccatum*, as both have a fibrillose peristome and saccate basidiomata, but can be separated morphologically by the hygroscopic basidiomata and mycelial layer without incrustations in *G. caatingense* (Sousa *et al.*, 2019). *G. flexuosum* is differentiated from *G. unumsaccatum* by its smaller basidiomata (20-40 mm) and mycelial layer encrusted with debris. While *G. corollinum* is close to *G. unumsaccatum* by its fibrillar peristome and mycelial layer free of encrustations, it is separated from *G. unumsaccatum* by its larger (14-61 mm) and hygroscopic basidiomes (Sunhede, 1989). *Geastrum unumsaccatum* is also morphologically close to *G. saccatum*, as it has saccate, non-hygroscopic basidiomes, a fibrillar peristome and acicular crystals in the rhizomorpha (Sunhede, 1989; Zamora *et al.* 2013). They also have an encrusted mycelial layer and immature basidiomata with an umbonate apex (Sunhede, 1989). Even so, they can be differentiated by the single mycelial layer and smaller basidiospores (3-4 μm diam) in *G. unumsaccatum*. Differences can also be observed in the hyphae of the mycelial layer, as *G. unumsaccatum* has larger hyphae (2-4 μm diam), as well as the capillitium hyphae, where *G. unumsaccatum* has hyphae ranging from 3-6 μm diam and *G. saccatum* has capillitium hyphae ranging from (2-10 μm diam).

Table 1: Specimens used in the phylogenetic analysis of *Geastrum* and GenBank accession numbers. The new species are represented in bold.

Species	Voucher/Number	Country	Genbank	
			ITS	LSU
<i>Geastrum corollinum</i>	MA-Fungi 5746	Spain	KF988359	KF988481
<i>Geastrum corollinum</i>	Herb Sunhede 7744	Sweden	KF988360	KF988482
<i>Geastrum flexuosum</i>	UPS F-119844	Sweden	KF988371	KF988493
<i>Geastrum gorgonicum</i>	MA-Fungi 92118	Cape Verde	MN754045	MN754083
<i>Geastrum gorgonicum</i>	MA-Fungi 92114	Cape Verde	MN754047	MN754085
<i>Geastrum gorgonicum</i>	MA-Fungi 92116	Cape Verde	MN754046	MN754084
<i>Geastrum lageniforme</i>	Herb. Zamora 207	Spain	KF988388	KF988513
<i>Geastrum lageniforme</i>	Herb. Zamora 316	Spain	KF988339	KF988514
<i>Geastrum</i> aff. <i>lageniforme</i>	COFC Hama 327	Niger	KF988390	KF988517
<i>Geastrum</i> aff. <i>lageniforme</i>	MA-Fungi 83770	Argentina	KF988391	–
<i>Geastrum</i> aff. <i>lageniforme</i>	MA-Fungi 83769	Argentina	KF988392	KF988519
<i>Geastrum melanorhynchum</i>	HMJAU65765	China	OP964616	–
<i>Geastrum melanorhynchum</i>	HMJAU65764	China	OP964617	OP964614
<i>Geastrum melanorhynchum</i>	HMJAU65768	China	OP964618	OP964615
<i>Geastrum morganii</i>	Herb. Lebeuf HRL0177	Canada	KF988406	KF988534
<i>Geastrum oxysepalum</i>	HMJAU65730	China	OP964629	–
<i>Geastrum oxysepalum</i>	HMJAU65735	China	OP964630	–
<i>Geastrum oxysepalum</i>	HMJAU65734	China	OP964631	OP964621
<i>Geastrum oxysepalum</i>	HMJAU65727	China	OP964632	OP964622
<i>Geastrum oxysepalum</i>	HMJAU65728	China	OP964633	OP964623
<i>Geastrum pleosporum</i>	MA-Fungi 56971	Cameroon	KF988416	–
<i>Geastrum pseudosaccatum</i>	HMJAU65778	China	OP964624	–
<i>Geastrum pseudosaccatum</i>	HMJAU65781	China	OP964625	OP964635
<i>Geastrum pseudosaccatum</i>	HMJAU65772	China	OP964626	–
<i>Geastrum pseudosaccatum</i>	HMJAU65774	China	OP964627	–
<i>Geastrum pseudosaccatum</i>	HMJAU65769	China	OP964628	OP964634
<i>Geastrum saccatum</i>	Herb. Zamora 260	Spain	KF988430	KF988560
<i>Geastrum saccatum</i>	COFC Hama 343	Niger	KF988432	KF988562
<i>Geastrum saccatum</i>	Herb. Zamora 461	Spain	–	KF988561
<i>Geastrum saccatum</i>	MA-Fungi 83778	Argentina	KF988433	KF988563
<i>Geastrum violaceum</i>	MA-Fungi 82487	Argentina	KF988451	KF988586
<i>Geastrum unumsaccatum</i> sp. nov.	ICN177081	Brazil	It will still be deposited.	It will still be deposited.
<i>Geastrum nodimycelialis</i> sp. nov.	ICN177114	Brazil	It will still be deposited.	–
<i>Geastrum iguassuensis</i> sp. nov.	ICN188437	Brazil	It will still be deposited.	–

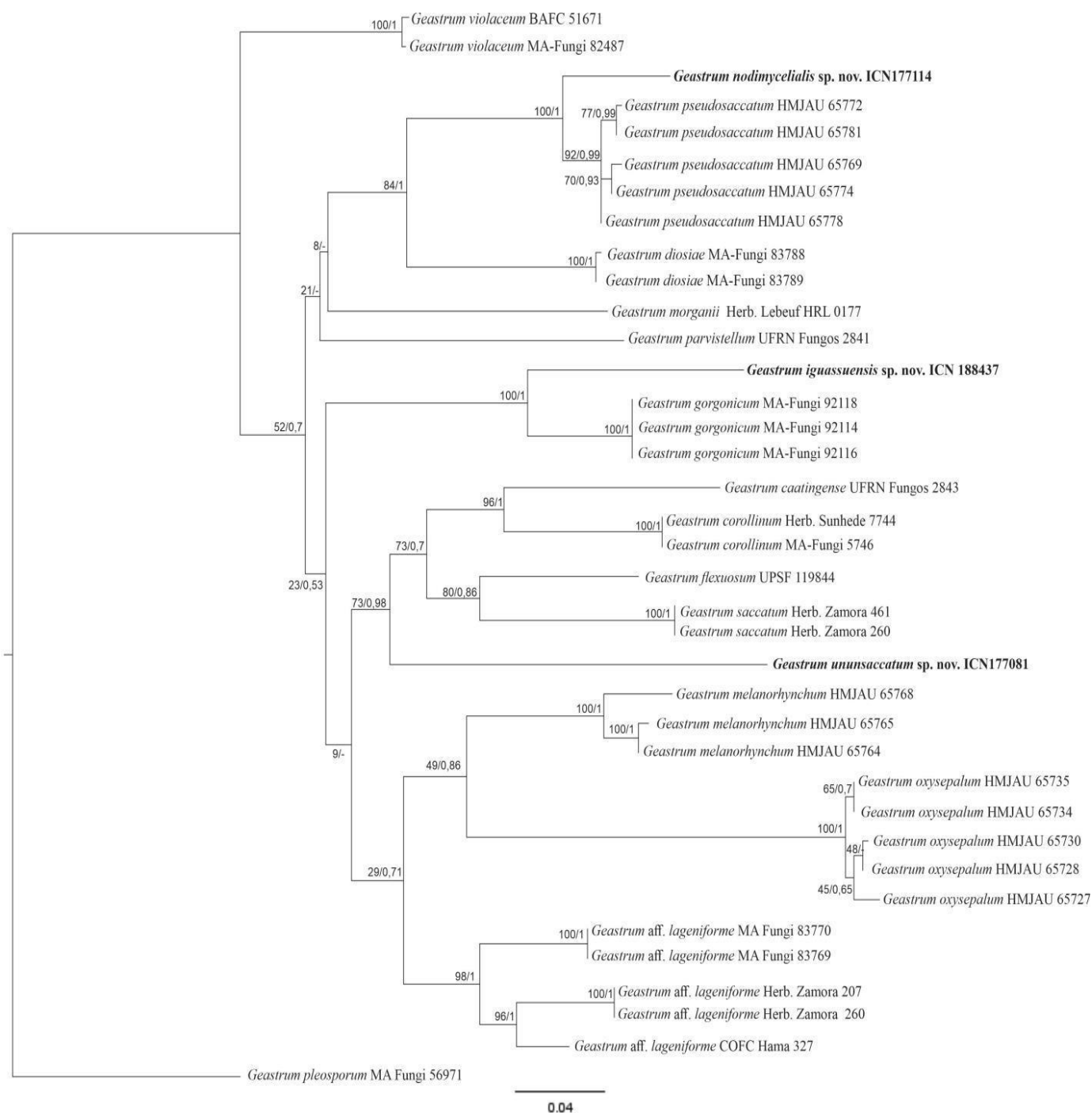


Figure 1. Phylogram generated from maximum likelihood (ML) analyses based on ITS and LSU nrDNA sequence data representing *Geastrum* from Section *Corollina*, with *G. pleosporum* from Sect *Miceliostroma* as outgroup. Number above branches are maximum likelihood bootstrap (MLbs) values and Bayesian posterior probability (pp) values.

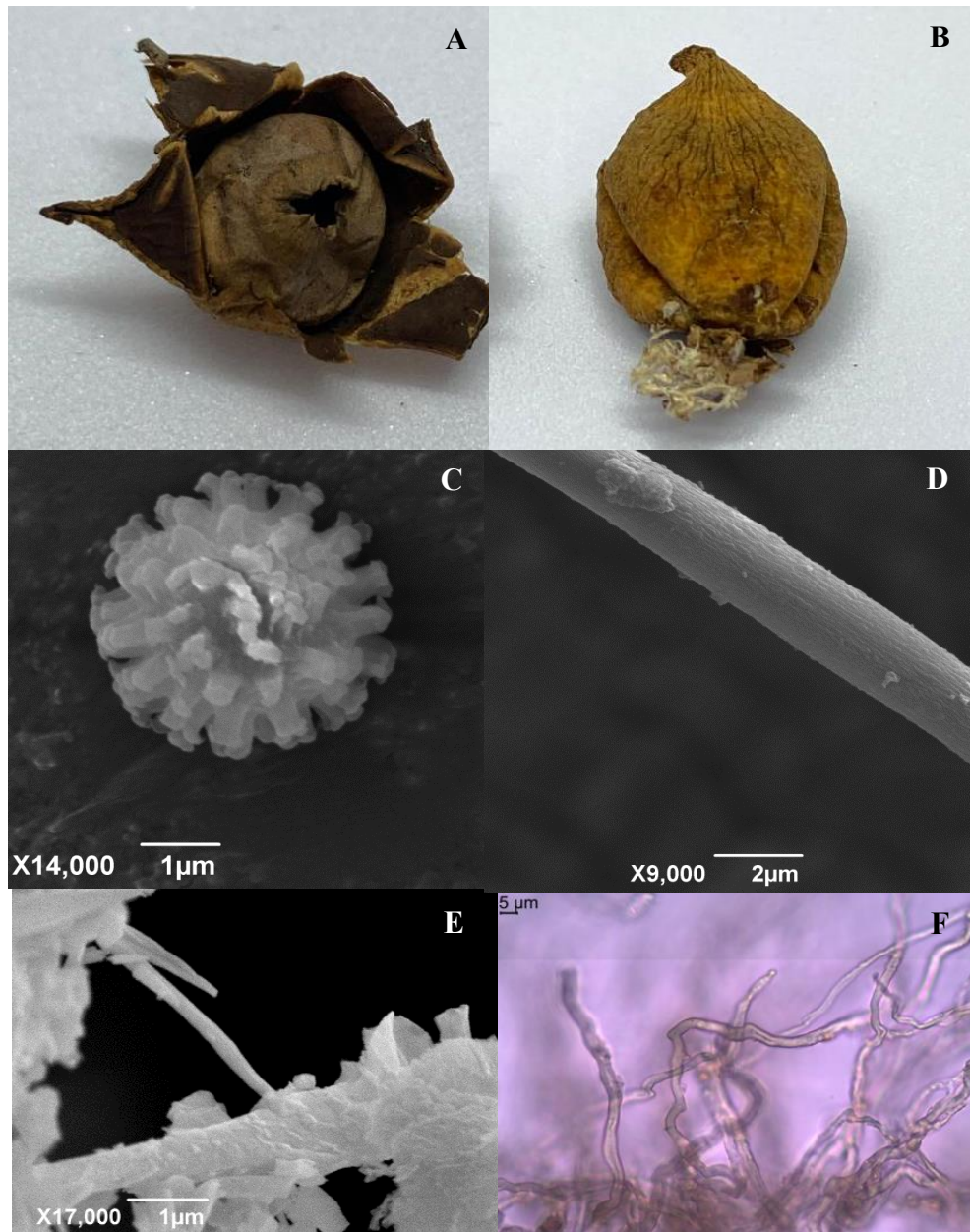


Figure 2. *Geastrum iguassuensis* (ICN188437, **holotype**), a: Expanded basidiomata. b: Unexpanded Basidiomata. c: Basidiospores. d: Capillitium. e: Acicular crystal. f: Hyphae of the mycelial layer. Scale bars: a-b= 1cm, c=1 μm , d=2 μm , e=1 μm , f=5 μm

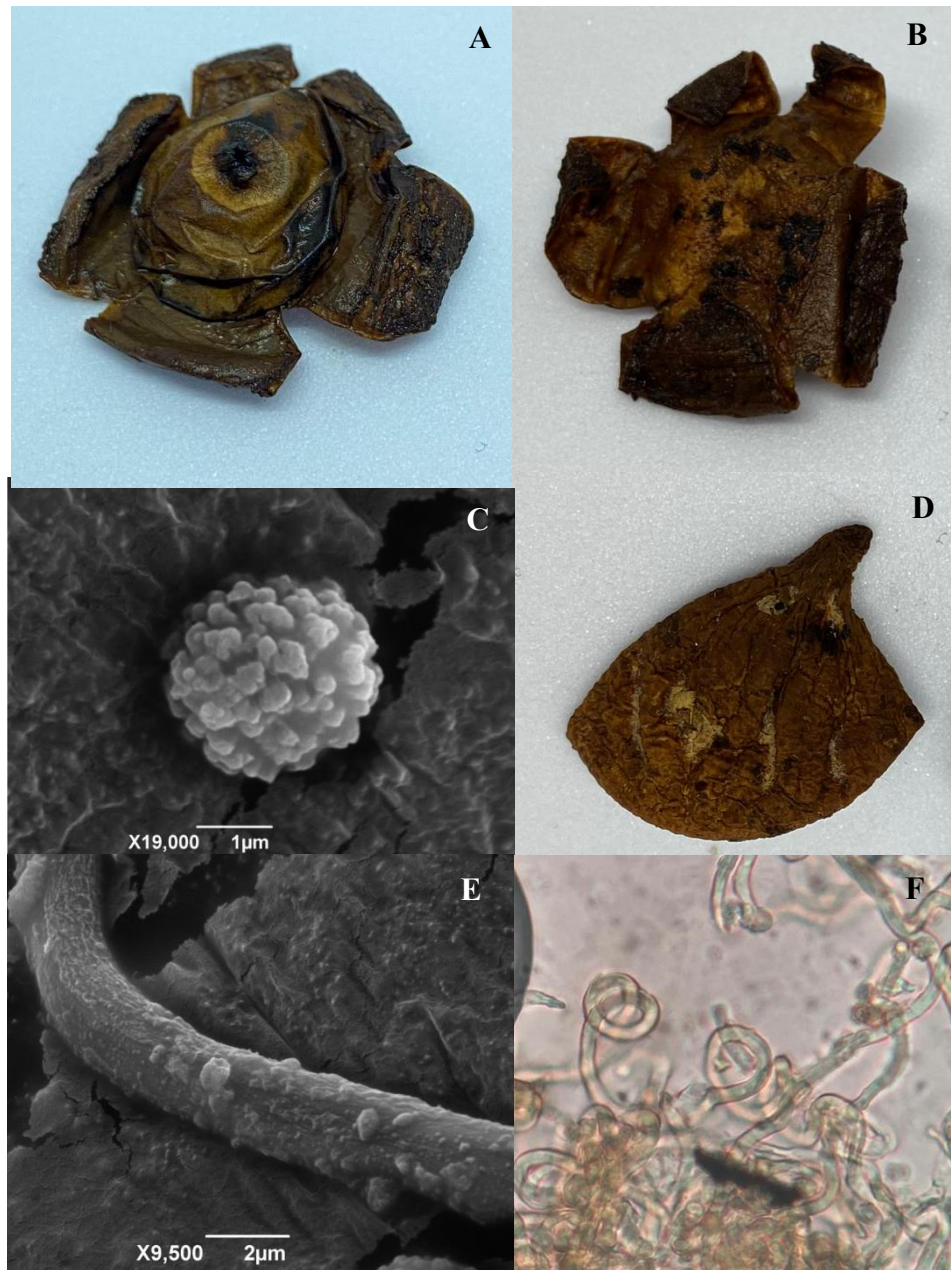


Figure 3. *Geastrum nodimycelialis* (ICN177114, **holotype**), a-b: Expanded basidiomata. c: Basidiospores. d: Unexpanded Basidiomata. e: Capillitium. f: Hyphae of the mycelial layer. Scale bars: a= 1cm, b=1μm, c=2μm, d=5μm

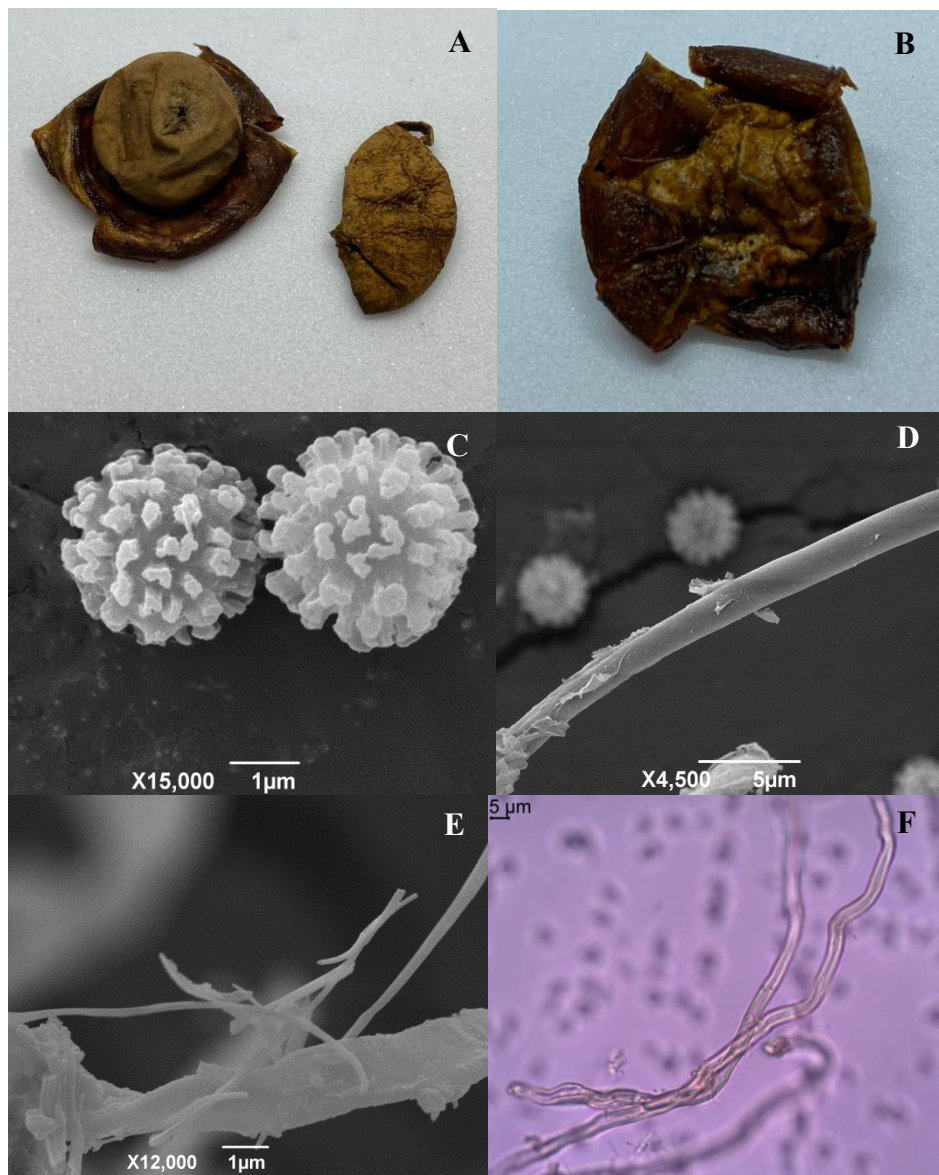


Figure 4. *Geastrum unumsaccatum* (ICN177081, **holotype**), a-c: Expanded basidiomata and Unexpanded basidiomata. c: Basidiospores. d: Capillitium. e: Acicular crystal. f: Hyphae of the mycelial. Scale bars: a-b= 1 cm, c=1 μm, d=5 μm, e= 1 μm and f= 5 μm.

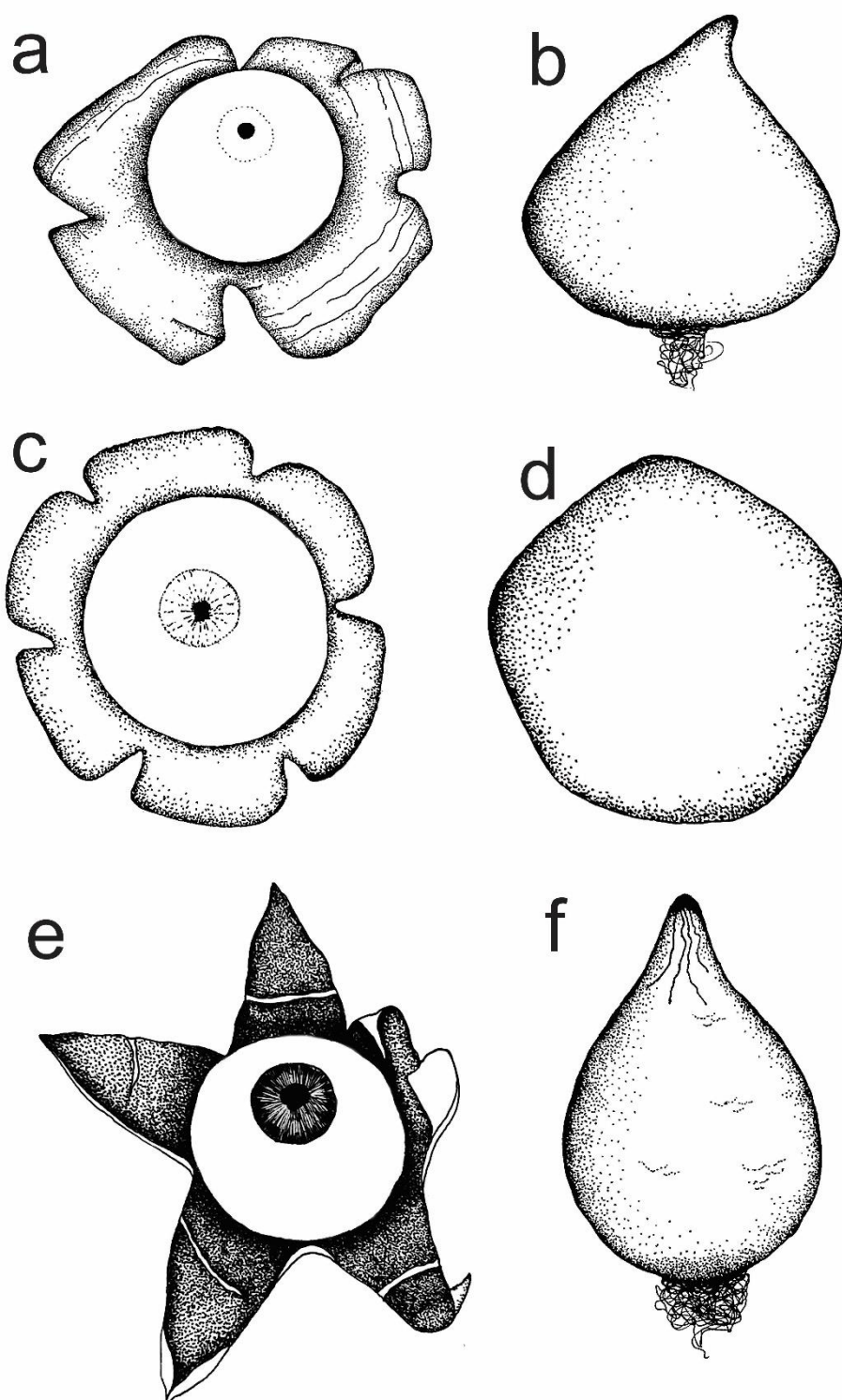


Figure 5. *Geastrum nodimycelialis*, a-b. Expanded and immature basidioma.; *Geastrum unumsaccatum*, c-d. Expanded and immature basidioma. *Geastrum iguassuensis*, e-f. Expanded and immature basidioma..

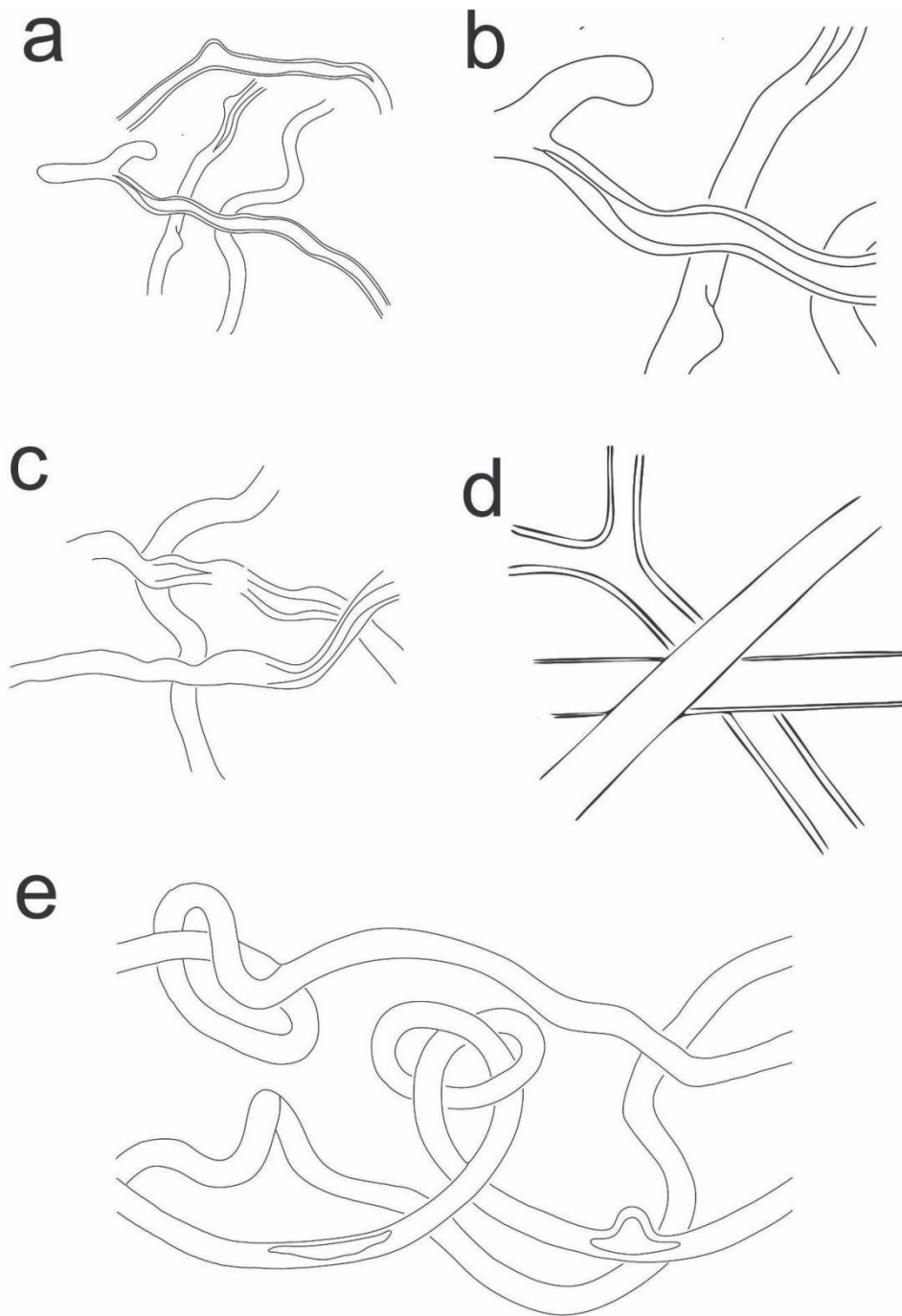


Figure 6. Details of the hyphae in the mycelial layer. *Geastrum unumsaccatum*, a-b. Single mycelial; *Geastrum iguassuensis*, c. Inner mycelial, d. Outer mycelial; *Geastrum nodimycelialis*, e. single mycelial forming nodes.

Identification key for species of the genus *Geastrum* of the section *Corollina*

- 1 Peristome and rays absent..... *Geastrum flexuosum*
1. Peristome and rays present..... 2
- 2 Irregularly grooved peristome 3
2. Fibrillose peristome 5
- 3 Pseudoparenchymatous layer lilac to pink..... *G. violaceum*
3. Beige to brown pseudoparenchymatous layer4
- 4 Basidiome measuring 9-28 mm diam., non-hygroscopic exoperidium, mycelial without incrustation and absent pedicel..... *G. morganii*
4. Basidiome measuring 6-12 mm diam., sub-hygroscopic exoperidium, encrusted mycelial and inconspicuous pedicel (<0.5 mm high).....*G. parvistellum*
- 5 Pruinose endoperidium *G. corollinum*
5. Glabrous endoperidium..... 6
- 6 Basidiospores larger than 5 µm in diam..... 7
6. Basidiospores up to 5 µm in diameter.....8
- 7 Expanded basidioma measuring 11-29 mm wide, inconspicuous pedicel (<1 mm al.) and basidiospores 5.2-6.5 µm diam., capillitium 3.8-6.7 µm diam.....*G. caatingense*
7. Expanded basidioma measuring 8-44 mm wide, pedicel absent, basidiospores 4.5-6.0 µm diam, capillitium 2-10 µm diam..... *G. saccatum*
- 8 Exoperidium strongly hygroscopic..... *G. diosiae*
8. Non-hygroscopic exoperidium..... 9
- 9 Black peristome (darker in color than the endoperidium)*G. melanorhynchum*
9. Peristome lighter than the endoperidium..... 10
- 10 Expanded basidiom measuring up to 17 mm wide..... *G. oxysepalum*
10. Expanded basidiom measuring 12-37 mm wide..... 11
- 11 Basidiospores up to 3 µm in diameter..... *G. pseudosaccatum*
11. Basidiospores from 3 µm in diameter..... 12
- 12 Double mycelial layer..... 13
12. Simple mycelial layer..... 14
- 13 Expanded basidiom 11-23 mm diam., with 8-10 rays, fibrillar peristome, capillitium 1.5-3 µm diam..... *G. gorgonicum*
13. Expanded basidiom 14.9-18.4 mm diam., with 5-8 rays, fimbriated peristome, capillitium 6-6 µm diam..... *G. iguasueensis*

- 14 Expanding basidioma measuring 24 mm diam., with 5 rays, hyphae of the mycelial layer forming nodes..... *G. nodimycelialis*
14. Expanded basidiome up to 44 mm diam., up to 7 rays, hyphae without forming nodes..... 15
- 15 Obpyriform immature basidiome, fibrilous peristome, horn-shaped rhizomorph crystals..... *G. lageniforme*
15. Subglobose immature basidiom with umbo, fimbriated peristome, acicular rhizomorph crystals..... *G. unumsaccatum*

Acknowledgements: The authors express their gratitude to the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES—Brazil) by the scholarship for Ruane Vasconcelos Bento de Araújo and to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for financing part of the research (CNPq universal project - Process 436853/2018-3). The authors also like to thank the URM and ICN herbarium for loaning the exsicates.

Author contribution: All authors contributed to the preparation and development of the work. Material preparation and data analysis were carried out by Araújo, R.V.B., Silva, B.D.B., Cabral, T.S, Schnadelbach, A.S. and Baseia, I.G. The first draft of the manuscript was written Araújo, R.V.B. and Silva, B.D.B. and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding: This research is supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Data availability: The datasets generated and/or analyzed during the present study are available in the repositories: GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>).

References

Boonmee, S., Wanasinghe, D.N., Calabon, M.S., Huanraluek, N., Chandrasiri, S.K., Jones, G.E. & Hyde, K.D. (2021). Fungal diversity notes 1387–1511: Taxonomic and phylogenetic contributions on genera and species of fungal taxa. *Fungal Diversity*, *III*, 1-335.

- Crous, P.W., Wingfield, M.J., Le Roux, J.J., Richardson, D.M., Strasberg, D. *et al.*, 315 (2015): Fungal Planet Description Sheets: 371–399. – *Persoonia*. 35: 264–327
- Jeppson, M., Nilsson, H.R. & Larsson, E. (2013): European earthstars in Geastraceae (Geastrales, Phallomycetidae) – a systematic approach using morphology and molecular sequence data. – *Systematics and Biodiversity*. 11 (4): 437–465.
- Küppers, H. (2002). Atlas de Los Colores. 1a ed. Blume, Barcelona.
- Miller JR., O.K. and H.H. Miller. (1988). *Gasteromycetes: morphology and developmental features*. Mad River, Eureka.
- Miller MA, Pfeifer W, Schwartz T (2010) Creating the CIPRES science gateway for inference of large phylogenetic trees. In: *Proceedings of the gateway computing environments workshop (GCE)*. New Orleans, pp 1–8
- Nylander J.A.A. (2004) MrModeltest v2. Program distributed by the author.
- Rick, J. (1961). *Basidiomycetes Eubasidii no Rio Grande do Sul*. *Iheringia* 9: 451-480.
- Ronquist F., Huelsenbeck J.P. (2003) MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19:1572–1574. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btg180>
- Silva, B.D.B., Cabral, T.S., Marinho, P., Ishikawa, N.K. & Baseia, I.G. (2013) Two new species of *Geastrum* (Geastraceae, Basidiomycota) found in Brazil. *Nova Hedwigia* 96(3-4): 445-456.
- Sousa, J.O., Baracho, G.S., Martín, M.P. & Baseia, I.G. (2019) Contribution to Neotropical data of *Geastrum* section *Corollina* (Basidiomycota): Two new earth-stars from Caatinga vegetation, Brazil. *Nova Hedwigia* 109(1-2): 161-175.
- Stamatakis A. (2014) RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinf Appl Note* 30:1312–1313. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu033>
- Sunhede S. (1989) Geastraceae (Basidiomycotina). Morphology, ecology and systematics with special emphasis on the North European species. *Synopsis Fungorum*, vol. 1. Fungiflora, Oslo.

Vilgalys, R. & Hester, M. (1990): Rapid genetic identification and mapping of enzymatically amplified ribosomal DNA from several *Cryptococcus* species. – *Journal of Bacteriology*. 172: 4238–4246. PMID: 2376561

Wang, X., & Bau, T. (2023). Seven New Species of the Genus *Geastrum* (Geastrales, Geastraceae) in China. *Journal of Fungi*, 9(2), 251.

White, T.J., Bruns, T. & Taylor, J. (1990): Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. – In: Innes, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J. & White, T.J. (eds), *PCR protocols: A guide to methods and applications*. Academic Press, Inc.; pp. 315–322. California, San Diego

Zamora J. C., Calonge F.D.D., Hosaka K, Martín M.P. (2014) Systematics of the genus *Geastrum* (Fungi: Basidiomycota) revisited. *Taxon* 63:477–497 <https://doi.org/10.12705/633.36>.

Zamora J. C., Calonge F.D.D., Hosaka K, Martín M.P. (2013). New sources of taxonomic information for earthstars (*Geastrum*, Geastraceae, Basidiomycota): phenoloxidases and rhizomorpha crystals. *Phytotaxa*, 132(1), 1. doi:10.11646/phytotaxa.132.1.1.

Capítulo 2

Título: Revisão de *Geastrum saccatum* (Geastrales, Basidiomycota) com ênfase em espécies brasileiras.

Autores: Ruane Vasconcelos Bento de Araújo, Iuri Goulart Baseia e Bianca Denise Barbosa da Silva

Revisão de *Geastrum saccatum* (Geastrales, Basidiomycota) com ênfase em espécies brasileiras

Ruane Vasconcelos Bento de Araújo¹, Iuri Goulart Baseia², Bianca Denise Barbosa da Silva¹

¹Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Evolução (PPGBioEvo), Instituto de Biologia, Ondina s/n, 40170-155 Salvador, BA, Brazil

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Botânica e Zoologia, Programa de Pós-graduação em Sistemática e Evolução, Campus Universitário, 59072-970, Natal, RN, Brazil

* Corresponding author email: ruane.vasconcelos@ufba.br

Resumo

Geastrum saccatum foi descrito por Fries em 1829, com base em material brasileiro enviado por Hornemann. A espécie é amplamente distribuída no Brasil com registros para todas as regiões do país, sendo a segunda mais citada no banco de dados SpeciesLink. É proposto neste trabalho uma revisão de *Geastrum saccatum* com base em espécies depositadas em herbários brasileiros. Foram analisadas trinta e uma exsicatas identificadas como *Geastrum saccatum*, dez identificadas como *G. aff. saccatum*, nove como *G. triplex* e quatorze como *Geastrum* sp.

Palavras-chave: Geastraceae, Taxonomia, Funga, Estrela da terra

Introdução

Fries (1829) descreveu e publicou *Geaster saccatus* em sua obra intitulada *Systema Mycologicum* a partir de espécimes brasileiros enviados por Jens Wilken Hornemann para a Universidade de Lund, localizada na Suécia. Devido a uma correção no uso do nome válido e legítimo para a espécie, ocorreu a mudança do nome *Geaster saccatus* para *Geastrum saccatum*.

Na descrição de Fries (1829) *Geastrum saccatum* foi referenciada na ilustração apresentada por Plumier (1703), denominada *Lycoperdon coronatum* Batsch., e caracterizada pelo exoperídio sacado com tufos na camada micelial, sem incrustações, peristômio sésil, circular, bem delimitado e plano, dividido ao meio em cerca de oito raios,

iguais, abertos, estreitados de uma base mais larga até uma ponta longa, sub-enrolados longitudinalmente quando secos e retorcidos na ponta, a camada interna é fina, exatamente da mesma cor do perídio interno globoso e basidiósporos marrons.

Sunhede (1989), em uma revisão sobre a morfologia, ecologia e sistemática da família Geastraceae com ênfase em espécies do norte da Europa, complementou a descrição feita por Fries, adicionando basidiomas maduros de tamanhos pequeno a médio; exoperídio não higroscópico; raios expandidos variando de 5-8, normalmente sacados; endoperídio sésil e peristômio geralmente fibriloso; e basidiósporos variando de 4 a 6 μm de diâmetro. Sunhede afirma que não há material tipo para *Geastrum saccatum* e evita propor qualquer tipificação, uma vez que a espécie é brasileira.

No entanto, Fries (1829) não indicou o tipo nomenclatural no momento da publicação e onde o espécime foi depositado, bem como não especificou de qual local do Brasil o material foi coletado. Além disso, a ilustração citada como *L. coronatum* por Plumier e indicada como parte do protólogo na obra de Fries não reflete as características de *G. saccatum*. A ilustração é representada por um basidioma de *Geastrum* com peristômio delimitado e exoperídio aberto com oito raios, cuja características podem ser de qualquer outra espécie do gênero. Diante do exposto, *G. saccatum* necessita ser lectotipificada, uma vez que Fries (1829) não indicou o holótipo no momento da publicação e não indicou onde o espécime foi depositado.

No Brasil, *G. saccatum* é amplamente distribuída com registros para as regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sul e Sudeste (Hennings 1904; Lloyd 1907, Bononi et al. 1984; Liu 1984, Rick 1961; Kimbrough et al. 1994/1995; Baseia et al. 2003; Sobestiansky 2005; Meijer 2006; Leite & Baseia 2007, Cortez et al. 2008; Trierveiler-Pereira et al. 2009; Leite et al 2011; Trierveiler-Pereira & Baseia 2011; Cabral et al. 2014.) e no banco de dados disponível no Specieslink, representa a segunda espécie mais citada com 273 registros em herbários brasileiros. A partir do exposto, propomos uma revisão de *Geastrum saccatum* com base em espécies depositadas em herbários brasileiros.

Materiais e Métodos

Empréstimos de material

Foram solicitados empréstimos de 31 exsicatas identificadas como *G. saccatum*, selecionadas previamente no SpeciesLink, provenientes do Herbário do Instituto de Ciências Naturais – ICN, localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul –

UFRGS; da Coleção de Fungos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN; do Herbário Lauro Pires Xavier da Universidade Federal da Paraíba – UFPB e do Herbário Pe. Camille Torrend – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Estudo das Espécies

As análises macroscópicas e microscópicas foram realizadas no Laboratório de Sistemática de Fungos do Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia – UFBA. As cores foram padronizadas segundo Küppers (2002). A análise macroscópica foi realizada a olho nu e com auxílio do microscópio estereoscópico para observar a forma, tamanho, coloração e ornamentação das estruturas do basidioma. Para análise das microestruturas, fragmentos do material seco foram cortados manualmente e lâminas foram preparadas em KOH 5% para exame em microscopia óptica. Foram realizadas mensurações dos basidiósporos, capilício, hifas das camadas pseudoparenquimatosa, fibrosa e micelial, bem como das hifas da rizomorfa. Para observar a ornamentação dos basidiósporos foi realizado microscopia de varredura na Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz. Todas as características observadas nos basidiomas foram anotadas em fichas de identificação.

Resultados e discussão

Foram analisadas trinta e uma exsiccatas identificadas como *Geastrum saccatum* (Tabela 1) das quais dez tem proximidade com *G. saccatum* por apresentarem camada micelial dupla sem incrustações, peristômio fibriloso e delimitado, e capilício variando de 2-8 μm diâm. Sete exsiccatas foram identificadas como *G. triplex* devido à presença cristais da rizomorfa com formato de drusas, camada pseudoparenquimatosa rompendo levemente ao redor do endoperídio formando colar e camada micelial simples. Enquanto quatorze exsiccatas foram identificadas como *Geastrum* sp., principalmente por apresentarem camada micelial simples e peristômio fimbriado.

Geastrum saccatum é caracterizada principalmente pela camada micelial sem incrustações, exoperídio sacado não higroscópico, camada micelial dupla, peristômio geralmente fibriloso e delimitado, basidiósporos variando de 4 a 6 μm diâm. e cristais de oxalato de cálcio aciculares em um arranjo irregular nas rizomorfais (Sunhede 1989, Zamora *et al.* 2013).

O tipo de camada micelial e de cristais ainda não é uma característica citada com frequência nas descrições de *Geastrum*. Os cristais possivelmente não são citados,

principalmente, pela ausência das rizomorfa nos basidiomas. Para *Geastrum saccatum*, a maior parte das descrições consideram apenas uma camada micelial, o que pode ter levado o grande número de identificação equivocada nas descrições.

As exsiccatas UFRN-Fungos 1021, UFRN-Fungos 1025, UFRN-Fungos 1026, UFRN-Fungos 1027, UFRN-Fungos 632, UFRN-Fungos 339 e UFRN-Fungos 3428 correspondem a espécimes com camada micelial simples e cristais em forma de drusas, e por isso foram identificadas neste estudo como *Geastrum triplex*. A ausência de um colar proeminente nestes espécimes pode ter levado a sua identificação como *G. saccatum*.

Nos espécimes identificados como *Geastrum* aff. *saccatum* não foram encontrados cristais nas rizomorfa para confirmar a sua identificação. Uma descrição detalhada relacionando as dez exsiccatas foi elaborada. Seus capilícios variaram de 3 a 6 µm diâm. e seus basidiósporos de 3–6 × 3–6 µm diâm. *Geastrum gorgonicum* e *G. pseudosaccatum* são espécies próximas de *G. saccatum*, que podem ser diferenciadas pelos capilícios menores em *G. gorgonicum* M.P. Martín, M. Dueñas & Telleria (1,5–3 µm diâm.) e basidiósporos menores em *G. pseudosaccatum* T. Bau & Xin Wang (2,6–3 µm diâm.) (Boonmee et al., 2021, Wang & Bau, 2023).

O conjunto de características descritas para *Geastrum* aff. *saccatum* não dão suporte para propor uma lectotipificação, pois para uma definição mais precisa do que define *Geastrum saccatum*, é necessário incluir todas as características morfológicas, incluindo cristais das rizomorfias, o que não foi possível observar nas exsiccatas analisadas.

Algumas exsiccatas apresentaram camada micelial dupla com peristômio fimbriado, as quais não foram consideradas em *Geastrum* aff. *Saccatum*: ICN 177014, ICN 192579, UFRN-Fungos 1800, UFRN-Fungos 1801, UFRN-Fungos 1802, UFRN-Fungos 549, UFRN-Fungos 2333, UFRN-Fungos 2048, UFRN-Fungos 1937, UFRN-Fungos 1226, UFRN-Fungos 92, JPB 22883, URM 82114, URM 82021, URM 82772.

Geastrum sp. foi caracterizada principalmente pela camada micelial única, peristômio fimbriado e esporos variando de 3–5 µm diâm. Esta espécie pode corresponder a uma possível novidade para ciência, com base nas suas características morfológicas. O estudo sugere que, para uma melhor compreensão e identificação da espécie, seja feito estudos adicionais como análises filogenéticas.

Tabela 1. Relação das exsiccatas de *Geastrum saccatum* analisadas.

Identificação na exsicata	Identificação após revisão	Procedência da coleta	Número de tombo
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Minas Gerais	UFRN - Fungos 2332
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Minas Gerais	UFRN - Fungos 2331
<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Paraná	ICN 177037
<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Paraná	ICN 177026
<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Rio Grande do Sul	ICN 192645
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Pernambuco	URM 82022
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Rio Grande do Norte	UFRN - Fungos 561
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Rio Grande do Norte	UFRN - Fungos 1044
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	Rio Grande do Norte	UFRN - Fungos 760
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> aff. <i>saccatum</i> Fr.	São Paulo	UFRN - Fungos 2593
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 1026
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 1021
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 1027
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 632
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 1025
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 339
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum triplex</i> Jungh.	Rio Grande do Norte	UFRN- Fungos 3428

<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Minas Gerais	UFRN- Fungos 2330
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Minas Gerais	UFRN- Fungos 1938
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Minas Gerais	UFRN- Fungos 2334
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraná	ICN 188440
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraíba	JPB 22888
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraíba	JPB 20083-1
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraíba	JPB 22876
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraíba	URM 85117
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Pernambuco	URM 82022
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Pernambuco	URM 82023
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraná	ICN 177043
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Paraná	ICN 177048
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Rio Grande do Sul	ICN 175610
<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	<i>Geastrum</i> sp.	Pernambuco	UFRN- Fungos 1856

Taxonomia

***Geastrum aff. saccatum* Fr., *Syst. mycol. (Lundae)* 3(1): 16 (1829)**

Descrição: *Basidioma imaturo* epígeo, bege amarelado a esverdeado (Y60M30C10, N50Y60M30), subgloboso, 08–16 × 6,6–14 mm, ápice umbonado, papiráceo, com rizomorfa. *Basidioma expandido* sacado, 4.55–11.40 × 20.08–38.67 mm (incluindo peristômio). *Exoperídio* abrindo em 7–9 raios, revoluto, recurvado sob o basidioma, não higroscópico. *Camada micelial* marrom claro (N20Y40M20), não incrustado com detritos, papirácea e persistente. *Camada fibrosa* bege claro (N10Y30M10), superfície papirácea. *Camada pseudoparenquimatosa* marrom claro (N60Y80M50), persistente. *Endoperídio* marrom acinzentado (N70Y40M30), depresso-globoso, 3.54–13.77 × 11.78–18.45 mm, sésil, superfície glabra. *Peristômio* marrom claro (N70Y30M20), fibriloso, mamiforme, levemente delimitado. *Gleba madura* marrom escuro (Y99M70C90). *Rizomorfa* ausente. *Camada micelial* dupla com camada externa formada por hifas 6–8 (9) µm diâm. marrom claro, não ramificado; e interna com hifas 3–4 µm diâm., hialina, não ramificado, com alguns grampos. *Camada fibrosa* 2–4 µm diâm., hialina, paredes finas (<1µm) e lúmen evidente. *Camada pseudoparenquimatosa* com paredes finas, células hialinas, variando em tamanho e forma, 20– 42 × 20–60 µm. *Capilício* amarronzado, parede fina (< 1 µm larg.), 3–6 µm diâm. *Basidiósporos* globosos, amarronzado, 3–6 × 3–6 µm diâm. incluindo a ornamentação, verrugas em MEV, colunares, arredondado no ápice.

Material analisado: Brasil, **Minas Gerais:** Santa Rita do Sapucaí, Reserva Biológica de Serra de Santa Rita Mítzi Brandão, 27/XII/2013, Alfredo, D.S. (UFRN 2332), (UFRN 2331); **Paraná:** Foz do Iguaçu, Parque Nacional do Iguaçu, 12/XII/2013, L. Trierveiler-Pereira (ICN 177026); 14/XII/2010, Trierveiler-Pereira, L., (ICN 177037) **Pernambuco:** São Vicente Férrer, Mata do Estado, 19/VII/2008, L. Trierveiler-Pereira, J.M. Baltazar, (URM 82022); **Rio Grande do Norte:** Natal, Parque das Dunas - Trilha Geologia, 26/V/2007, Fazolino, E.P.; Oliveira, J.J.S.; Ottoni T.B.S. (UFRN 561); 25/IV/2009, Silva, B.D.B.; Oliveira, J.J.S.; Cruz, R.H.S.F. (UFRN 1044); Oliveira, J.J.S., (UFRN 760); **Rio Grande do Sul:** São Francisco de Paula, 13/IV/2014, Alves, C.R., (ICN 192645); **São Paulo:** Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 13/XII/2000, Baseia, I.G., (UFRN 2593).

***Geastrum* sp.**

Descrição: *Basidioma imaturo* epígeo, bege a marrom claro (N10Y70M30, N80Y80M40, N30Y50M30), globoso, subgloboso a piriforme, 09–13 × 7–15 mm, ápice umbonado, papiráceo. *Basidioma expandido* sacado, 10–12 × 12–40 mm (incluindo o peristômio). *Exoperídio* abrindo em 6–9 raios, revoluto, recurvado sob o basidioma, não-higroscópico. *Camada micelial* marrom claro (N60Y60M30) não incrustado com detritos, papirácea e persistente em todo o basidioma. *Camada fibrosa* bege pálido (N10Y30M10), superfície cotonosa. *Camada pseudoparenquimatosa* marrom escuro (N20Y40M20), persistente. *Endoperídio* marrom (Y80M50C50), globoso, 7.10 × 14.22 mm, séssil, superfície glabra. *Peristômio* concolor ao endoperídio, fimbriado, plano a mamiforme. *Gleba* madura marrom escura (Y99M70C90). *Rizomorfa* > 1µm diâm., hialino em 5 % KOH. *Camada micelial simples*, não-ramificado, formada por hifas hialinas e septadas, 1–4 µm diâm, paredes finas (<1µm). *Camada fibrosa* hialina, 2–4 µm diâm., paredes finas (<1µm). *Camada pseudoparenquimatosa* com paredes finas, células hialinas, variando em forma e tamanho, 15–50 × 15–80 µm. *Capilício* amarronzado, parede fina, 2–7 µm diâm. *Basidiósporos* subglobosos, amarronzados, 3–5 × 3–5 µm diâm. incluindo a ornamentação, verrugas em MEV, verrugas colunares, arredondado no ápice.

Material analisado: Brasil, **Minas Gerais:** Santa Rita do Sapucaí, Reserva Biológica de Serra de Santa Rita Mítzi Brandão, 27/XII/2013, Alfredo, D.S., (UFRN 2330); 23/II/2012, Alfredo, D.S., Lavor, P.R., (UFRN 1938); 27/XII/2013, Alfredo, D.S., (UFRN 2334); **Paraíba:** João Pessoa, Campus I da UFPB, 12/III/1977, Baseia, I.G. (JPB 22888); 25/VII/1994, Baseia, I.G., (JPB 20083-1); Mata do Buraquinho, 12/VII/1997, Baseia, I.G., (JPB 22876) Mataraca, Área da Mineradora Millenium Inorganic Chemicals, 05/V/2009, Coimbra, V.R.M., Wartchow, F., (URM 82117); **Paraná:** Foz do Iguaçu, Parque Nacional do Iguaçu, 17/V/2014, Alves, C.R., (ICN 188440); 08/II/2011, Trierveiler-Pereira, (ICN 177043); 08/II/2011, Trierveiler-Pereira, (ICN 177048) **Pernambuco:** São Vicente Férrer, 19/VII/2008, Trierveiler-Pereira, L., Baltazar, J.M., (URM 82022), 28/VIII/2008, Trierveiler-Pereira, L., Baltazar, J.M., (URM 82023); **Rio Grande do Norte:** Areia, 18/VII/2012, Alfredo D.S. (UFRN 1856); **Rio Grande do Sul:** Caçapava do Sul, Pedra do Segredo, 06/VI/2011, Trierveiler-Pereira, L., (ICN 175610).

Agradecimentos: Gostaríamos de agradecer ao curador (a) da coleção Herbário do Instituto de Ciências – ICN, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS; da Coleção de Fungos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN; do Herbário Lauro Pires Xavier da Universidade Federal da Paraíba – UFPB e Herbário Pe. Camille Torrend – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE pelo empréstimo do material e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES—Brasil) pela bolsa de Ruane Vasconcelos Bento de Araújo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de parte da pesquisa (projeto universal CNPq - Processo 436853/2018-3).

Referências

- Baseia, I.G., Cavalcanti, M.A. & Milanez A.I. **Additions to our knowledge of the genus *Geastrum* (Phallales: Geastraceae) in Brazil.** Mycotaxon 85, 409–416. 2003.
- Berkeley, M.J.; Cooke, M.C. **The fungi of Brasil.** Journal of the Linnean Society, 15: 363-398. 1876.
- Bononi, Vera et al. Basidiomicetos do Parque Estadual da Ilha do Cardoso V: Gasteromicetos. Rickia 11: 91–97. 1984.
- Boonmee, S., Wanasinghe, D.N., Calabon, M.S., Huanraluek, N., Chandrasiri, S.K., Jones, G.E. & Hyde, K.D. Fungal diversity notes 1387–1511: Taxonomic and phylogenetic contributions on genera and species of fungal taxa. Fungal Diversity, *III*, 1-335. 2021.
- Cabral, T.S., Silva, B.D.B., Ishikawa, N.K., Alfredo, D.S., Braga-Neto, R., Clement, C.R. & Baseia, I.G. **A new species and new records of gasteroid fungi (Basidiomycota) from Central Amazonia, Brazil.** Phytotaxa 183 (4): 239–253. 2014.
- Cortez, V.G.; Baseia I.G. & Silveira, R.M.B. Gasteromicetos (Basidiomycota) no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre 6(3): 291-299. 2008.
- Fries, E. **Systema mycologicum**, vol. 3. Greifswald, VIII + 259 pp. 1829.
- Hennings, p.: **Fungi amazonici I. a cl. Ernesto Ule collecti.** – Hedwigia 43(3): 154–186. 1904.

- Kimbrough, et al. **Basidiomycetes saprófitos em troncos vivos e em folheto de "sombreiro" (*Clitoria fairchildianai* [Benth.] Howard).** Biologica Brasílica 6(1/2): 51–56.1994/1995
- Küppers, H. Atlas de Los Colores. 1a ed. Blume, Barcelona. 2002.
- Leite, A.G., Calonge, F.D. & Baseia, I.G. **Additional studies on *Geastrum* from northeastern Brazil.** Mycotaxon 101, 103–111. 2007.
- Leite, A.G. et al. *Geastrum* species from the Amazon Forest, Brazil. Mycotaxon, [S.l.], v.118, p. 383-392, 2011.
- Lloyd, C.G. New notes on the Geasters. Mycological Notes 25, 309–317. 1907.
- Liu, B. **The *Gasteromycetes* of China.** Beihefte zur Nova Hedwigia, Stuttgart, Germany, v. 74, p. 1-235, 1984.
- Meijer, A.A.R. **Preliminary list of the macromycetes from the Brazilian State of Paraná.** Boletim do Museu. Botânico Municipal: 68: 1–55. 2006.
- Persoon, CH. **Synopsis Methodica Fungorum.** Apud Henricum Dietrich, Germany. 1801.
- Plumier, C. -Nova planta'rum Americanorum genera. Parisiis, Boudot. p. 45. 1703
- Rick, J.: **Basidiomycetes Eubasidii in Rio Grande do Sul** – Brasilia. 6. – Iheringia, Bot. 9:455–479. 1961
- Sobestiansky, Georg. **Contribution to a macromycete survey of the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina in Brazil.** Brazilian Archives of Biology and Technology 48(3):437–457. 2005.
- Sunhede S. Geastraceae (Basidiomycotina). **Morphology, ecology and systematics with special emphasis on the North European species.** Synopsis Fungorum, vol. 1. Fungiflora, Oslo. 1989.
- Trierveiler-Pereira, L. & Baseia, I.G. **A checklist of the Brazilian gasteroid fungi (*Basidiomycota*).** Mycotaxon 108: 441-444. 2009.
- Trierveiler-Pereira L, Baseia IG. **Contribution to the knowledge of gasteroid fungi (*Agaricomycetes*, *Basidiomycota*) from the state of Paraíba, Brazil.** Revista Brasileira de Biociências 9: 167–173. 2011.
- Wang, X., & Bau, T. Seven New Species of the Genus *Geastrum* (Gastrales, Geastraceae) in China. Journal of Fungi, 9(2), 251. 2023.

Zamora, J. C., Calonge, F. D. D., Martín, M. P. **New sources of taxonomic information for earthstars (Geastrum, Geastraceae, Basidiomycota): phenoloxidases and rhizomorphcrystals. Phytotaxa**, 132(1), doi:10.11646/phytotaxa.132.1.1. 2013

Referências Bibliográficas

ACCIOLY, T., SOUSA, J.O., MOREAU, P.-A., LÉCURU, C., SILVA, B.D.B., ROY, M., GARDES, M., BASEIA, I.G. & MARTIN, M.P. **Hidden fungal diversity from the Neotropics: *Geastrum hirsutum*, *G. schweinitzii* (Basidiomycota, Geastrales) and their allies.** PloS One 14: E0211388. 2019.

ASSIS, N. M. **Sistemática e Taxonomia de Fungos Gasteroides (Basidiomycota) na Amazônia Meridional, Brasil** 2019. 128f. Dissertação (Mestrado em Sistemática e Evolução) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

AGERER, R. **Never change a successful principle: the evolution of Boletales s.l. (Hymenomycetes, Basidiomycota) as seen from below ground features.** Sendtnera 6: 5–91. 1999.

AGERER, R. & IOSIFIDOU, P. **Rhizomorph structures of Hymenomycetes: a possibility to test DNA-based phylogenetic hypotheses?** In: R. Agerer, M. Piepenbring & P. Blanz (eds.) *Frontiers in Basidiomycote Mycology*. IHW-Verlag, Berchtesgaden, pp. 249–302. 2004.

ALEXOPOULOS, C. J., MIMS, C. W. & BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. 4 ed. Wiley, New York, 1996.

BATES, S. T., BEEVER, R. E., CASTELLANO, M. A., COLGAN, W., DOMINGUEZ, L. S., TRAPPE, J. M. **Molecular phylogenetics of the gomphoid-phalloid fungi with an establishment of the new subclass Phallomycetidae and two new orders.** Mycologia, 98(6), 949–959. doi:10.3852/mycologia.98.6.949. 2004.

BERKELEY, M.J.; COOKE, M.C. **The fungi of Brasil.** Journal of the Linnean Society, 15: 363-398. 1876.

BOIFFARD, J. **Contribution à l'étude des Geastraceae du Littoral Atlantique. Genres *Geastrum* Pers. & *Myriostoma* Desv.** Documents Mycologiques 6, 1–34. 1976.

BOONMEE, S. et al. Fungal diversity notes 1387–1511: **Taxonomic and phylogenetic contributions on genera and species of fungal taxa.** Fungal Diversity, v. 111, p. 1-335, 2021.

BOTTOMLEY, A.M. **Gasteromycetes of South Africa.** Bothalia 4, 473–810. 1948.

CALONGE, F.D. **Gasteromycetes: Lycoperdales, Nidulariales, Phallales, Sclerodermatales, Tulostomatales.** Flora Micológica Ibérica 3, 271 pp. 1998.

COKER, W.C.; COUCH, J.N. (ed): **The Gasteromycetes of the Eastern United States and Canada.** University of North Carolina Press. 1928.

CROUS, P.W., WINGFIELD, M.J., LOMBARD, L., ROETS, F., SWART, W.J., ALVARADO, P., CARNEGIE, A.J., MORENO, G., LUANGSAARD, J., THANGAVEL, R., ALEXANDROVA, A.V., BASEIA, I.G., BELLANGER, J.-M., BESSETTE, A.E., BESSETTE, A.R., PEÑA-LASTRA, S., GARCÍA, D., GENÉ, J., PHAM, T.H.G.,

HEYKOOP, M., MALYSHEVA, E., MALYSHEVA, V., MARTÍN, M.P., MOROZOVA, O.V., NOISRIPOOM, W., OVERTON, B.E. REA, A.E., SEWALL, B.J., SMITH, M.E., SMYTH, C.W., TASANATHAI, K., VISAGIE, C.M., ADAMČÍK, S., ALVES, A., ANDRADE, J.P., ANINAT, M.J., ARAÚJO, R.V.B., BORDALLO, J.J., BOUFLEUR, T., BARONCELLI, R., BARRETO, R.W., BOLIN, J., CABERO, J., CABOŇ, M., CAFÀ, G., CAFFOT, M.L.H., CAI, L., CARLAVILLA, J.R., CHÁVEZ, R., CASTRO, R.R.L., DELGAT, L., DESCHUYTENEER, D., DIOS, M.M., DOMÍNGUEZ, L.S., EVANS, H.C., EYSSARTIER, G., FERREIRA, B.W., FIGUEIREDO, C.N., LIU, F., FOURNIER, J., GALLI-TERASAWA, L.V., GIL-DURÁN, C., GLIENKE, C., GONÇALVES, M.F.M., GRYTA, H., GUARRO, J., HIMAMAN, W., HYWEL-JONES, N., ITURRIETA-GONZÁLEZ, I., IVANUSHKINA, N.E., JARGEAT, P., KHALID, A.N., KHAN, J., KIRAN, M., KISS, L., KOCHKINA, G.A., KOLAŘÍK, M., KUBÁTOVÁ, A., LODGE, D.J., LOIZIDES, M., LUQUE, D., MANJÓN, J.L., MARBACH, P.A.S., MASSOLA, N.S., MATA, M., MILLER, A.N., MONGKOLSAMRIT, S., MOREAU, P-A., MORTE, A., MUJIC, A., NAVARRO-RÓDENAS, A., NÉMETH, M.Z., NÓBREGA, T.F., NOVÁKOVÁ, A., OLARIAGA, I., OZERSKAYA, S.M., PALMA, M.A., PETTERS-VANDRESEN, D.A.L., PIONTELLI, E., POPOV, E.S., RODRÍGUEZ, A., REQUEJO, Ó., RODRIGUES, A.C.M., RONG, I.H., ROUX, J., SEIFERT, K.A., SILVA, B.D.B., SKLENÁŘ, F., SMITH, J.A., SOUSA, J.O., SOUZA, H.G., DE SOUZA, J.T., ŠVEC, K., TANCHAUD, P., TANNEY, J.B., TERASAWA, F., THANAKITPIPATTANA, D., TORRES-GARCIA, D., VACA, I., VAGHEFI, N., VAN IPEREN, A.L., VASILENKO, O.V., VERBEKEN, A., YILMAZ, N., ZAMORA, J.C., ZAPATA, M., JURJEVIĆ, Ž. & GROENEWALD, J.Z. **Fungal Planet Description Sheets**. Persoonia 43: 951-1041. 2019.

CROUS, P.W., CROUS, P.W., WINGFIELD, M.J., CHOOI, Y.- H., GILCHRIST, C.L.M., LACEY, E., PITT, J.I., ROETS, F., SWART, W.J., CANO-LIRA, J.F., VALENZUELA-LOPEZ, N., HUBKA, V., SHIVAS, R.G., STCHIGEL, A.M., HOLDOM, D.G., JURJEVIĆ, Ž., KACHALKIN, A.V., LEBEL, Y., LOCK, C., MARTÍN, M.P., TAN, Y.P., TOMASHEVSKAYA, M.A., VITELLI, J.S., BASEIA, I.G., BHATT, V.K., BRANDRUD, T.E., DE SOUZA, J.T., DIMA, B., LACEY, H.J., LOMBARD, L., JOHNSTON, P.R., MORTE, A., PAPP, V., RODRÍGUEZ, A., RODRÍGUEZ-ANDRADE, E., SEMWAL, K.C., TEGART, L., ABAD, Z.G., AKULOV, A., ALVARADO, P., ALVES, A., ANDRADE, J.P., ARENAS, F., ASENJO, C., BALLARÀ, J., BARRETT, M.D., BERNÁ, L.M., BERRAF-TEBBAL, A., BIANCHINOTTI, M.V., BRANSGROVE, K., BURGESS, T.I., CARMO, F.S., CHÁVEZ, R., ČMOKOVÁ, A., DEARNALEY, J.D.W., SANTIAGO, A.L.C.M. DE A., FREITAS-NETO, J.F., DENMAN, S., DOUGLAS, B., DOVANA, F., EICHMEIER, A., ESTEVE-RAVENTÓS, F., FARID, A., FEDOSOVA, A.G., FERISIN, G., FERREIRA, R.J., FERRER, A., FIGUEIREDO, C.N., FIGUEIREDO, Y.F., REINOSO-FUENTEALBA, C.G., GARRIDO-BENAVENT, I., CAÑETE-GIBAS, C.F., GILDURÁN, C., GLUSHAKOVA, A.M., GONÇALVES, M.F.M., GONZÁLEZ, M., GORCZAK, M., GORTON, C., GUARD, F.E., GUARNIZO, A.L., GUARRO, J., GUTIÉRREZ, M., HAMAL, P., HIEN, L.T., HOCKING, A.D., HOUBRAKEN, J., HUNTER, G.C., INÁCIO, C.A., JOURDAN, M., KAPITONOV, V.I., KELLY, L., KHANH, T.N., KISŁO, K., KISS, L., KIYASHKO, A., KOLAŘÍK, M., KRUSE, J., KUBÁTOVÁ, A., KUČERA, V., KUČEROVÁ, I., KUŠAN, I., LEE, H.B., LEVICÁN, G., LEWIS, A., LIEM, N.V., LIIMATAINEN, K., LIM, H.J., LYONS, M.N., MACIÁ-VICENTE, J.G., MAGAÑA-DUEÑAS, V., MAHIQUES, R., MALYSHEVA, E.F., MARBACH, P.A.S., MARINHO, P., MATOČEC, N., MCTAGGART, A.R., MEŠIĆ, A., MORIN, L., MUÑOZ-MOHEDANO, J.M., NAVARRORÓDENAS, A., NICOLLI, C.P., OLIVEIRA, R.L., OTSING, E., OVREBO, C.L., PANKRATOV, T.A., PAÑOS, A., PAZCONDE, A., PÉREZ-SIERRA, A., PHOSRI, C., PINTOS, Á., POŠTA, A.,

PRENCIPE, S., RUBIO, E., SAITTA, A., SALES, L.S., SANHUEZA, L., SHUTTLEWORTH, L.A., SMITH, J., SMITH, M.E., SPADARO, D., SPETIK, M., SOCHOR, M., SOCHOROVÁ, Z., SOUSA, J.O., SUWANNASAI, N., TEDERSOO, L., THANH, H.M., THAO, L.D., TKALČEC, Z., VAGHEFI, N., VENZHNIK, A.S., VERBEKEN, A., VIZZINI, A., VOYRON, S., WAINHOUSE, M., WHALLEY, A.J.S., WRZOSEK, M., ZAPATA, M., ZEIL-ROLFE, I. & GROENEWALD, J.Z. **Fungal Planet Description Sheets**. Persoonia 44: 1042-1111. 2020.

CROUS, P.W., OSIECK, E.R., SHIVAS, R.G., TAN, Y.P., BISHOP-HURLEY, S.L., ESTEVE RAVENTÓS, F., LARSSON, E., LUANGSA-ARD, J.J., PANCORBO, F., BALASHOV, S., BASEIA, I.G., BOEKHOUT, T., CHANDRANAYAKA, S., COWAN, D.A., CRUZ, R.H.S.F., CZACHURA P., DE LA PEÑA-LASTRA, S., DOVANA, F., DRURY, B., FELL, J., FLAKUS, A., FOTEDAR, R., JURJEVIĆ, Ž., KOLECKA, A., MACK, J., MAGGS-KÖLLING, G., MAHADEVAKUMAR, S., MATEOS, A., MONGKOLSAMRIT, S., NOISRIPOOM, W., PLAZA, M., OVERY, D.P., PIĄTEK, M., SANDOVALDENIS, M., VAURAS, J., WINGFIELD, M.J., ABELL, S.E., AHMADPOUR, A., AKULOV, A., ALAVI, F., ALAVI, Z., ALTÉS, A., ALVARADO, P., ANAND, G., ASHTEKAR, N., ASSYOV, B., BANC-PRANDI, G., BARBOSA, K.D., BARRETO, G.G., BELLANGER, J.M., BEZERRA, J.L., BHAT, D.J., BILAŃSKI, P., BOSE, T., BOZOK, F., CHAVES, J., COSTA-REZENDE, D.H., DANTESWARI, C., DARMOSTUK, V., DELGADO, G., DENMAN, S., EICHMEIER, A., ETAYO, J., EYSSARTIER, G., FAULWETTER, S., GANGA, K.G.G., GHOSTA, Y., GOH, J., GÓIS, J.S., GRAMAJE, D., GRANIT, L., GROENEWALD, M., GULDEN, G., GUSMÃO, L.F.P., HAMMERBACHER, A., HEIDARIAN, Z., HYWEL-JONES, N., JANKOWIAK, R., KALIYAPERUMAL, M., KAYGUSUZ, O., KEZO, K., KHONSANIT, A., KUMAR, S., KUO, C.H., LÆSSØE, T., LATHA, K.P.D., LOIZIDES, M., LUO, S.M., MACÍÁ-VICENTE, J.G., MANIMOHAN, P., MARBACH, P.A.S., MARINHO, P., MARNEY, T.S., MARQUES, G., MARTÍN, M.P., MILLER, A.N., MONDELLO, F., MORENO, G., MUFEEDA, K.T., MUN, H.Y., NAU, T., NKOMO, T., OKRASÍNSKA, A., OLIVEIRA, J.P.A.F., OLIVEIRA, R.L., ORTIZ, D.A., PAWŁOWSKA, J., PÉREZ-DE-GREGORIO, M.À., PODILE, A.R., PORTUGAL, A., PRIVITERA, N., RAJESHKUMAR, K.C., RAUF, I., RIAN, B., RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., RIVAS-TORRES, G.F., RODRIGUEZ-FLAKUS, P., ROMEROGORDILLO, M., SAAR, I., SABA, M., SANTOS, C.D., SARMA, P.V.S.R.N., SIQUIER, J.L., SLEIMAN, S., SPETIK, M., SRIDHAR, K.R., STRYJAK-BOGACKA, M., SZCZEPAŃSKA, K., TAŞKIN, H., TENNAKON, D.S., THANAKITPIPATTANA, D., TROVÃO, J., TÜRKEKUL, İ., VAN IPEREN, A.L., VAN'T HOF, P., VASQUEZ, G., VISAGIE, C.M., WINGFIELD, B.D., WONG, P.T.W., W.X. YANG, YARAR, M., YARDEN, O., YILMAZ, N., ZHANG, N., ZHU, Y.N. & GROENEWALD, J.Z. **Fungal Planet Description Sheets**. Persoonia 50: 1478-1549. 2023.

CUNNINGHAM, G.H. **The Gasteromycetes of Australia and New Zealand**. Bibliotheca Mycologica 67: 1-239. 1944.

DEMOULIN, V. **Typification of *Geastrum* Pers.: Pers. and its orthographic variant *Geaster* (Gasteromycetes)**. Taxon 33: 498-501, 1984.

FIDALGO, O. **Rick, o pai da micologia brasileira**. Rickia, v. 1, p. 3-11, 1962.

FRIES, E. **Systema mycologicum**, vol. 3. Greifswald, VIII + 259 pp. 1829.

GRAUSTEIN W. C., CROMACK J., JR., and SOLLINS P. **Calcium oxalate: Occurrence in soils and effect on nutrient and geochemical cycles.** Science 198, 1252- 1254. 1977.

HENNINGS, P. **Fungi amazonici I. a cl. Ernesto Ule collecti.** – Hedwigia 43(3): 154–186. 1904.

HIBBETT DS, GRIMALDI D, DONOGHUE MJ. **Fossil mushrooms from Miocene and Cretaceous ambers and the evolution of homobasidiomycetes.** American Journal of Botany 84: 981–991. 1997

HIBBETT DS. [‘2006’]. **A phylogenetic overview of the Agaricomycotina.** Mycologia 98: 917–925. 2007.

HIBBETT DS, Stajich JE, Spatafora JW. **Toward genome-enabled mycology.** Mycologia 105:1339– 1349. 2014.

HORNER, H. T, AND B. L. WAGNER. **Calcium oxalate formation in higher plants.** In S. R. Khan [ed.], **Calcium oxalate in biological systems**, ch. 4, 53-72. CRC Press, Boca Raton, FL. 1995.

HOSAKA, K., CASTELLANO, M. A., & SPATAFORA, J. W. **Biogeography of Hysterangiales** (Phallomycetidae, Basidiomycota). Mycological Research, 112(4), 448–462. doi:10.1016/j.mycres.2007.06.004. 2008.

JEPPSON M, NILSSON RH, LARSSON E. **European earthstars in Geastraceae (Geastrales, Phallomycetidae) – a systematic approach using morphology and molecular sequence data.** Systematics and Biodiversity 11, 4: 437–465. 2013.

JUNGHUHN F. **Nova genera et species plantarum florae Javanicae.** Tijdschrift voor Natuurlijke Geschiedenis en Physiologie 7:285–317. 1840

KIRK PM, CANNON P, STALPERS. J (eds) **Dictionary of the fungi**, 10th edn. CABI, Wallingford. 2008.

MICHEL, P. A. **Nova Plantarum Genera.** Florença: Typis Francisci Moetii, 1729.

MILLER OK, MILLER HH. **Gasteromycetes. Morphological and development features with keys to the orders, families and genera.** Eureka, California: Mad River Press. 157 p. 1988.

PERSOON, CH. **Synopsis Methodica Fungorum.** Apud Henricum Dietrich, Germany. 1801.

PLUMIER, C. -**Nova planta'rum Americanorum gencra.** Parisiis, Boudot. p. 45. 1703.

PONCE DE LEÓN P. **A revision of the family Geastraceae.** Fieldiana Bot 31: 302–349. 1968.

QUÉLET, L. **Enchiridion fungorum in Europae mediae et praesertim in Gallia virgentium.** Lutetiae, Paris, 352 pp. 1886.

RICK, J. **Basidiomycetes Eubasidii in Rio Grande do Sul** – Brasilia. 6. – Iheringia, Bot. 9:455–479. 1961.

SILVA B.D.B., CABRAL T.S., MARINHO P., ISHIKAWA N.K., BASEIA I.G. **Two new species of *Geastrum* (Gastraceae, Basidiomycota) found in Brazil**. Nova Hedwigia 96(3-4): 445–456. 2013.

SOTO, M.; WRIGHT, J. E. **Taxonomia del genero *Geastrum* (Basidiomycetes, Lycoperdales) en la provincia de Buenos Aires, Argentina**. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 34: 185–201, 2000.

SOUSA, J. O. **O gênero *Geastrum* Pers. (Gastraceae, Basidiomycota): ocorrência, chave taxonômica e descrições de novas espécies do Nordeste brasileiro**. 2015. 162f. Dissertação (Mestrado em Sistemática e Evolução) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SOUSA, Julieth O. et al. **Contribution to Neotropical data of *Geastrum* section *Corollina* (Basidiomycota): Two new earth-stars from Caatinga vegetation, Brazil**. 2019.

SUNHEDE S. **Gastraceae (Basidiomycotina). Morphology, ecology and systematics with special emphasis on the North European species**. Synopsis Fungorum, vol. 1. Fungiflora, Oslo. 1989

SYDOW, H. & SYDOW, P. **Verzeichnis der von Herrn F. Noack in Brasilien gesammelten 771 Pilze**. Annales Mycologici 5(4): 348–363. 1907.

TRIERVEILER-PEREIRA, L. CALONGE, F.D.; BASEIA, I.G. **New distributional data on *Geastrum* (Gastraceae, Basidiomycota) from Brazil**. Acta Botânica Brasileira, [S.l.], v. 25, n. 3, p. 577-585, 2011

VERMA, R. K., et al. "Diversity of macro-fungi in Central India-XVII: *Geastrum fimbriatum* and *Geastrum triplex*." *Van Sangyan* 5.10: 1-11. 2018.

VIDAL, J.M. **Aportacio al coneixement de la micoflora del Baix Emporda i rodalies (Catalunya). Fam. Gastraceae (Gasteromycetes)**. Butlletí Societat Catalana de Micologia 11, 111–122. 1987.

VIÉGAS, A.P. **Alguns fungos do Brasil. Cercosporae**. Boletim da Sociedade Brasileira de Agronomia 8: 1-64. 1945

VITTADINI, C. **Monographia Lycoperdineorum**. Torino, 93 pp. 1842

WANG, Xin; BAU, Tolgor. **Seven new species of the genus *Geastrum* (Gastrales, Gastraceae) in China**. Journal of Fungi, v. 9, n. 2, p. 251, 2023.

WEBB, M. A., AND H. J. ARNOTT. **A survey of calcium oxalate crystals and other mineral inclusions in seeds**. Scanning Electron Microscopy 1982/111:1109-1131. 1982.

WEBSTER, J.; WEBER, R. **Introduction of Fungi**. New York: Cambrige University Press, 2007.

ZAMORA J. C., CALONGE F.D.D., HOSAKA K, MARTÍN M.P. **Systematics of the genus *Geastrum* (Fungi: Basidiomycota) revisited.** *Taxon* 63:477–497 <https://doi.org/10.12705/633.36>. 2014.

ZAMORA, J. C., CALONGE, F. D. D., MARTÍN, M. P. **New sources of taxonomic information for earthstars (*Geastrum*, *Geastraceae*, *Basidiomycota*): phenoloxidases and rhizomorphocrystals.** *Phytotaxa*, 132(1), doi:10.11646/phytotaxa.132.1.1. 2013.