

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA APLICADA AO MANEJO E
CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**ESPOROS DE ESPÉCIES SELECIONADAS DE MUSGOS
(BRYOPHYTA) DE MINAS GERAIS: MORFOLOGIA,
ULTRAESTRUTURA E ASPECTOS ECOLÓGICOS**

Raquel Saar Rodrigues

Juiz de Fora

2014

Raquel Saar Rodrigues

**ESPOROS DE ESPÉCIES SELECIONADAS DE MUSGOS
(BRYOPHYTA) DE MINAS GERAIS: MORFOLOGIA,
ULTRAESTRUTURA E ASPECTOS ECOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais.

Orientadora: Dra. Andréa Pereira Luiz Ponzo

Juiz de Fora

2014

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Afonso Luis Chaves Rodrigues e Maria do Carmo Saar Rodrigues, pelo amor, incentivo e apoio em todos os momentos, e meu irmão Ricardo Saar Rodrigues pelo companheirismo e amizade.

Ao Guilherme Soares de Oliveira, pelo carinho, compreensão e ajuda nos momentos difíceis.

A toda a minha família, em especial à Elizabeth Saar, que serviu de inspiração para a minha escolha profissional.

À Pós-Graduação em Ecologia (PGEcol), pela formação e apoio logístico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de mestrado concedida.

À Dra. Andréa Pereira Luiz Ponzio, pela orientação desde o início da graduação, apoio e confiança.

Aos colegas do Laboratório de Briófitas da UFJF, pela amizade e todos os momentos de descontração, tornando os momentos sérios mais leves e o aprendizado mais fácil. Agradeço, especialmente, à Juliana da Costa Silva, companheira de acetólise, viagens e descobertas, e à Marcella Passarella, pela grande ajuda neste trabalho.

Ao Professor Dr. Daniel Pimenta, por ceder o espaço do Laboratório de Anatomia Vegetal para a realização das acetólises e à Flávia Ferrari, pela participação nos procedimentos.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise (NMM) da Universidade Federal de Viçosa, onde foram realizadas as análises sob MEV, e aos funcionários Karla e Gilmar pelo acolhimento.

Aos funcionários do herbário Leopoldo Krieger da UFJF, pelo auxílio com o material herborizado e aos curadores dos herbários Alexandre Leal Costa (ALCB) e Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo (SP), pelo material emprestado para a realização do presente estudo.

RESUMO

Os musgos, incluídos na divisão Bryophyta, são caracterizados pela criptogamia, ausência de vasos condutores e presença de gametófitos folhosos (fase de vida dominante), com filídios organizados espiraladamente. O padrão de ramificação do gametófito, em conjunto com a sua forma de crescimento, é chamado de forma de vida que, nos musgos, pode ser tapete, trama, dendróide, pendente, relva e almofada. O esporófito é formado por pé, seta e cápsula, sendo esta última, o local de produção dos esporos, unidades de dispersão das espécies, que apresentam parede celular formada por perina, exina e intina. Estudos em Palinologia de musgos, já elucidaram questões importantes acerca da esporogênese, germinação e morfologia dos esporos de muitas espécies, sendo alguns deles empregados em taxonomia. No entanto, dados que correlacionam características morfológicas dos esporos com as estratégias adaptativas das espécies ainda são raros. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi realizar o estudo palinológico de 19 espécies selecionadas de musgos que ocorrem no estado de Minas Gerais, e relacionar os dados palinológicos obtidos, com as estratégias adaptativas das espécies estudadas. Foram incluídas no conjunto amostral espécies acrocárpicas e pleurocárpicas, que ocorrem em diferentes substratos, e com formas de vida variadas. Para o estudo palinológico das espécies, os esporos foram observados sob microscópio de luz antes e após acetólise, momento em que foram realizadas as medidas padrão para estudos palinológicos, e microscópio eletrônico de varredura. Após as análises palinológicas e obtenção dos dados acerca das características adaptativas das espécies, as informações foram incluídas em uma matriz binária e, empregando-se o software PAST 15.2, foi realizada a análise de agrupamento (*cluster*) para verificar como as espécies se agrupam em função das características estudadas. Os resultados palinológicos demonstram a existência de três padrões distintos de ornamentação da perina: granulada formada por grânulos simples, granulada formada por grânulos compostos e baculada. A ornamentação observada nos esporos de *Weissia controversa* foi descrita pela primeira vez. A espécie *Leptodontium viticulosoides* apresentou esporos anisomórficos. As análises de agrupamento revelam uma relação entre espécies acrocárpicas, a ocupação do substrato cimento e a presença de uma parede espessa no esporoderma.

Palavras-chave: Bryophyta, ecologia, Hypnales, Palinologia, Pottiaceae.

ABSTRACT

Mosses are cryptogamic land plants, included in Bryophyta and characterized by an avascular condition and the presence of leafy gametophytes (dominant life generation), with leaves spirally arranged around the stem. The growth form, together with the branching pattern, is called the life-form, which may be mat, weft, dendroid, pendant, turf and cushion. The sporophyte consists of foot, seta and capsule. The spores, dispersal units of mosses, are formed in the capsule and show a three layered sporoderm, consisting in perine, exine and intine. Studies in palynology of mosses have elucidated important issues about sporogenesis, spore germination and morphology of many species, some of them being employed in taxonomy. Observing that the data correlating morphological characteristics of the spores with the adaptive strategies of species are still rare, this work aimed to study the spores of 19 species of mosses which occur in the state of Minas Gerais and to correlate the palynological data obtained with the adaptive life strategies of species. We included in the sample a set of acrocarpous and pleurocarpous mosses which occur on different substrates and show with different life-forms. For the palynological study, the spores were observed untreated or submitted to the acetolysis method, under light microscope and scanning electron microscope. After we obtained the data concerning to the palynological analysis and the adaptative strategies of species, the information was included in a binary matrix and through the PAST 15.2 software, a cluster analysis was performed. The palynological results show three distinct patterns of perine ornamentation: granular formed by individual granules, granular formed by compounded granules and baculated. The ornamentation observed in spores of *Weissia controversa* was first described. *Leptodontium viticulosoides* showed anisomorphic spores. Cluster analysis revealed a relationship between acrocarpous species, the occupation of the substrate concrete and the presence of a thick wall in sporoderm.

Key words: Bryophyta, ecology, Hypnales, Palynology, Pottiaceae.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL:	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 MATERIAL ESTUDADO	12
3.2 MICROSCOPIA DE LUZ	14
3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA	16
3.4 ANÁLISES ECOLÓGICAS	16
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO 1	25
RESUMO	26
ABSTRACT	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS	30
RESULTADOS	32
CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO 2	46
RESUMO	47
ABSTRACT	48
INTRODUÇÃO	49
MATERIAL E MÉTODOS	51
RESULTADOS	52
DISCUSSÃO	58
CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO 3	63
RESUMO	64
ABSTRACT	65
INTRODUÇÃO	66
MATERIAL E MÉTODOS	70
RESULTADOS	74
DISCUSSÃO	82
CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS	86
5. CONCLUSÕES	91

1. INTRODUÇÃO

Briófitas são plantas criptogâmicas, avasculares, com alternância de gerações heteromórficas, na qual a fase gametofítica é de vida livre, perene e fotossintetizante, enquanto a fase esporofítica permanece ligada ao gametófito, sendo frequentemente efêmera (SCHOFIELD, 1985; SHAW & GOFFINET, 2000; GRADSTEIN *et al.*, 2001; RAMSAY, 2006; CRANDALL-STOTLER & BARTHOLOMEW-BEGAN, 2007). Estudos de filogenia e registros fósseis evidenciam que as briófitas foram as primeiras plantas a ocupar o ambiente terrestre, tendo surgido há cerca de 475 M.a. (KENRICK & CRANE, 1997; SHAW & RENZAGLIA, 2004; JORDAN, 2006). Nos dias atuais, elas representam o segundo maior grupo de embriófitas, com cerca de 15.000 espécies (BUCK & GOFFINET, 2000; GRADSTEIN *et al.*, 2001), sendo que destas, aproximadamente 1.650 são referidas para o Brasil (COSTA *et al.*, 2011).

Apesar das características que aproximam as espécies de briófitas, estudos moleculares mostram que estas consistem em um grupo parafilético (MISHLER & CHURCHILL, 1984; HEDDERSON *et al.*, 1996; SHAW & GOFFINET, 2000). Desta forma, o termo “briófita” não possui valor taxonômico, sendo utilizado para designar plantas das divisões Anthocerotophyta (antóceros), Marchantiophyta (hepáticas) e Bryophyta (musgos) (VANDERPOORTEN & GOFFINET, 2009).

A divisão Bryophyta inclui os musgos, plantas que correspondem àquelas mais complexas dentre o grupo das briófitas (GRADSTEIN *et al.*, 2001). Dentre as características que distinguem este grupo estão o gametófito formado por filídios não divididos, em geral, organizados espiraladamente ao redor do caulídio e rizóides pluricelulares. O esporófito nos musgos é formado por pé, seta e cápsula, sendo que o alongamento da seta ocorre previamente à maturação simultânea dos esporos na cápsula (BUCK & GOFFINET, 2000; GRADSTEIN *et al.*, 2001).

A divisão Bryophyta é considerada por alguns autores como sendo a mais diversa dentre as briófitas (BUCK & GOFFINET, 2000; CRANDALL-STOTLER & BARTHOLOMEW-BEGAN, 2007). Os musgos ocorrem em diversos habitats do globo, incluindo regiões de montanhas, ambientes aquáticos, desérticos e com formações de geleiras (MISHLER & OLIVER, 1991; STARK & CASTETTER, 1995; LEWIS SMITH, 1999;

GLIME, 2007). A ocupação destes diferentes ambientes pelos musgos foi possível devido à capacidade que estas plantas possuem de se adaptar em aspectos fisiológicos, morfológicos e de estratégias reprodutivas, às condições ambientais do meio em que vivem (GLIME, 2007).

Uma destas adaptações morfológicas é a forma de vida das espécies, que pode ser influenciada pelo substrato onde elas ocorrem (LA FARGE-ENGLAND, 1966; GIMINGHAM & BIRSE, 1957). Segundo La Farge-England (1996), a forma de vida é o conjunto do padrão de ramificação e forma de crescimento de uma planta, modificados pelo seu habitat. São classificadas seis formas de vida para as espécies de musgos: almofada, dendróide, tapete, trama, pendente e relva. Gimingham & Birse (1957) realizaram um estudo no qual observaram que determinadas formas de vida ocorrem preferencialmente em certos substratos. Segundo os autores, espécies que apresentam forma de vida tapete ou dendróide estariam associadas à ocorrência em rochas, enquanto as que apresentam forma de vida trama ou relva (alta) estariam associadas ao solo.

A ampla distribuição geográfica dos táxons de musgos também é uma característica possibilitada pela sua capacidade de adaptação às condições do meio. Essa ampla distribuição geográfica se verifica pela ocorrência continental de algumas espécies, assim como pela baixa taxa de endemismo de musgos em relação às plantas vasculares. Por exemplo, na Nova Zelândia, 86% das angiospermas são endêmicas, enquanto para os musgos essa taxa é de 28% (FRAHM, 2008). Uma das estratégias que possibilitou esta ampla ocupação das espécies de briófitas no ambiente terrestre é a dispersão através da reprodução vegetativa, por meio de gemas, propágulos e fragmentos de filídios ou ramos (FRAHM, 2008; GOFFINET *et al.*, 2009; FREY & KÜRSHNER, 2011).

Outra estratégia importante para a ampla dispersão dos musgos é a formação de esporos durante o ciclo da reprodução sexuada (GOFFINET *et al.*, 2009). A produção e dispersão dos esporos de musgos aumentam as chances das espécies se estabelecerem em diferentes habitats, caso eles caiam em um substrato que favoreça a germinação e crescimento da planta.

A distância que os esporos atingem após a liberação da cápsula está diretamente ligada ao seu tamanho. Esporos que medem menos do que 25µm podem ser dispersos a distâncias mais longas, já que o tamanho diminuto faz com que eles sejam carregados mais facilmente

pelo vento, principal mecanismo de dispersão de espécies de musgos (DURING, 1979; GLIME, 2007; GOFFINET *et al.*, 2009; FRAHM, 2008). Essa fonte de dispersão a longas distâncias favorece a variabilidade genética, já que os esporos são formados durante o ciclo da reprodução sexuada, além de permitir a colonização de novos ambientes e possibilitar que plantas femininas e masculinas se estabeleçam a uma distância próxima entre si, de forma que o anterozóide flagelado, que depende da presença de água para se locomover, consiga chegar à oosfera, ocorrendo, novamente, a reprodução sexuada (GOFFINET *et al.*, 2009).

Os esporos de musgos são, na maior parte das vezes, unicelulares, esféricos, sendo tipicamente formados por três camadas no esporoderma: intina, exina e perina (MCCLYMONT & LARSON, 1964; OLESEN & MOGENSEN, 1978; NEIDHART, 1979; MOGENSEN, 1981).

A intina, camada mais interna, é formada por polissacarídeos e, em algumas espécies, possui uma região mais espessa no pólo proximal, conhecida como abertura ou leptoma. Nesta região, além do espessamento da intina, há uma redução na espessura da exina, o que a torna mais frágil do que no restante do esporo e permite sua ruptura no momento da germinação, por onde o protonema irá emergir (OLESEN & MOGENSEN, 1978; MOGENSEN, 1981). Em algumas espécies de musgos, essa região de espessamento na intina, é acompanhada por uma diferenciação na ornamentação da perina (RUSHING, 1985; LUIZI-PONZO & BARTH, 1998, 1999). Entretanto, em muitas espécies, os esporos não apresentam diferenciação externa que indique a presença de uma região apertural, neste caso, a maior espessura da intina é o único indicador da heteropolaridade do esporo e da localização do polo proximal (MCCLYMONT & LARSON, 1964).

Localizada externamente à intina, encontra-se a exina, camada intermediária do esporoderma. A exina é composta por esporopolenina, substância que confere resistência ao esporo e o torna resistente à dessecação e ao ataque de patógenos (OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1988; ARIIZUMI & TORIYAMA, 2011). A exina, quando espessa, pode diminuir a coloração verde dos esporos, mesmo quando os cloroplastos estão presentes (MOGENSEN, 1981). Alfayate *et al.* (2013) estudaram esporos de quatro espécies de musgos pleurocárpicos, os quais apresentaram coloração verde quando visualizados em lâminas não acetolisadas. Os autores atribuíram essa coloração à parede translúcida (fina) dos esporos, que permitiu a visualização dos plastídeos.

A perina, camada mais externa do esporoderma, é composta de pectina, calose e esporopolenina, e confere maior resistência ao esporo (MOGENSEN, 1987; OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1988; BUCK & GOFFINET, 2000; GOFFINET *et al.*, 2009; VANDERPOORTEN & GOFFINET, 2009). Os elementos da perina são depositados sobre a exina ao final do processo da esporogênese e compõem a ornamentação do esporo, que pode ser variável nas diferentes espécies (MOGENSEN, 1978; OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1988).

Um dos primeiros estudos em esporos de musgos foi realizado por Erdtman (1957) em um trabalho no qual o autor realizou o estudo morfológico, sob microscópio de luz, de espécies de 40 famílias. Trabalhos que o seguiram tiveram como objetivo compreender a esporogênese (MUELLER, 1974; NEIDHART, 1979; BROWN & LEMMON, 1980, 1984, 1988) e a germinação (MOGENSEN, 1978; OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1988; ALFAYATE *et al.*, 2013). Mogensen (1981) realizou um estudo no qual apresentou detalhadamente as características dos esporos e sua formação e fisiologia, desde a esporogênese até o processo da germinação. Os trabalhos de McClymont & Larson (1964), Sorsa & Koponen (1973), Carrión *et al.* (1990), Estébanez *et al.* (1997), Luiz-Ponzo *et al.* (1997); Luiz-Ponzo & Barth (1998, 1999), Luiz-Ponzo & Melhem (2006a, 2006b), Caldeira *et al.* (2006, 2009, 2013), Rocha *et al.* (2008) e Savaroglu & Erkara (2008) incluíram dados importantes acerca da morfologia de várias espécies de musgos, o que acrescentou dados importantes sobre as espécies e possibilitou a utilização de dados palinológicos em estudos de taxonomia.

Alguns autores estudaram esporos de musgos, relacionando-os a aspectos ecológicos e de estratégias adaptativas (STONEBURNER *et al.*, 1992; SILVA *et al.*, 2009a, 2009b; LUIZI-PONZO, 2012). Stoneburner *et al.* (1992) descreveram aspectos que influenciam a dispersão dos esporos em uma espécie da família Polytrichaceae, observando que os esporos não caem restritamente no perímetro imediato das populações, mas podem ser dispersos pelo vento, chegando a maiores distâncias.

Para que as espécies se estabeleçam em novos ambientes, é necessário que os esporos possam se manter viáveis desde o momento da dispersão até a germinação. Algumas adaptações dos esporos permitem que eles mantenham sua longevidade por mais tempo, mesmo após longos períodos de desidratação (NEIDHART, 1979; FRAHM, 2008). A

proteção conferida pela esporopolenina, por exemplo, evita a desidratação dos esporos e os protege do ataque de patógenos. Existem também evidências de que em condições de seca, o número de cloroplastos no interior dos esporos diminui. A causa dessa diminuição de plastídeos não é conhecida, porém aparenta ser uma condição de adaptação dos esporos às características ambientais do meio em que foram dispersos (MOGENSEN, 1981).

Quando um esporo viável atinge um substrato que fornece condições favoráveis, ele germina em um processo iniciado pela sua reidratação e pelo rompimento da parede na região da abertura (MOGENSEN, 1978). Silva *et al.* (2009a, 2009b) realizaram estudos com duas espécies de musgos com o objetivo de avaliar o efeito da oferta de água e luminosidade disponíveis sobre a germinação dos esporos. As autoras concluíram que a disponibilidade de água necessária para que os esporos de uma espécie germinem está diretamente ligada ao ambiente em que essa espécie vive. Dessa forma, esporos de espécies que ocorrem em locais mais áridos estão adaptados a germinar com baixo potencial de água, enquanto espécies que ocorrem em locais úmidos precisam de maior quantidade de água para que os esporos germinem. As autoras concluíram que a quantidade de água necessária para que os esporos de uma espécie germinem determina o habitat em que a espécie poderá se estabelecer.

Luizi-Ponzo (2012) realizou um estudo no qual avaliou a relação de dados palinológicos de espécies de musgos, com as estratégias de vida e relações evolutivas das espécies estudadas. A autora verificou que espécies que apresentam esporos de tamanho inferior a 25µm, também apresentam região apertural do tipo leptoma ou com discreta delimitação externa, podendo ser acrocárpicas ou pleurocárpicas. Em relação à ocupação dos substratos, as espécies corticícolas não apresentaram delimitação externa da área apertural, enquanto espécies que ocorrem sobre solo ou rocha apresentaram uma abertura bem desenvolvida e marcada pela ornamentação diferenciada na superfície do esporoderma.

Apesar das evidências indicarem uma relação entre a morfologia dos esporos de musgos e estratégias adaptativas das espécies, essa relação ainda não foi completamente elucidada (MOGENSEN, 1978; SILVA *et al.*, 2009a, 2009b; LUIZI-PONZO, 2012). Sendo assim, o presente trabalho se justifica pela necessidade de incrementar os dados sobre a relação existente entre a morfologia dos esporos e as estratégias adaptativas das espécies, tais como a ocupação do substrato e forma de vida, características abordadas neste estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

- realizar o estudo palinológico de espécies selecionadas de musgos (Bryophyta) de Minas Gerais, interpretando sua relação com as estratégias adaptativas das espécies estudadas.

2.2 Objetivos específicos:

- caracterizar a morfologia dos esporos de espécies selecionadas de musgos, sob microscopia de luz;
- analisar a ultraestrutura dos esporos das espécies estudadas, sob microscopia eletrônica de varredura;
- indicar as estratégias adaptativas observadas para as espécies selecionadas;
- interpretar a relação das estratégias adaptativas das espécies estudadas com os dados palinológicos obtidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material Estudado

Para a realização do estudo Palinológico, foram selecionadas 19 espécies de musgos de dez famílias botânicas, incluindo-se espécies acrocárpicas e pleurocárpicas e com estratégias adaptativas relacionadas à ocupação do substrato e forma de vida, diferentes entre si. A classificação das espécies seguiu Goffinet *et al.* (2009).

SINOPSE DAS ESPÉCIES DE MUSGOS ESTUDADAS

Divisão BRYOPHYTA Schimp.

Classe BRYOPSIDA Rothm.

Subclasse FUNARIIDAE Ochyra

Ordem FUNARIALES M. Fleisch.

Família Funariaceae Schwägr.

Funaria Hedw.

Funaria hygrometrica Hedw.

Subclasse DICRANIDAE Doweld

Ordem DICRANALES H. Philib. ex M. Fleisch.

Família Calymperaceae Kindb.

Syrrhopodon Schwägr.

Syrrhopodon gaudichaudii Mont.

Ordem POTTIALES M. Fleisch.

Família Pottiaceae Schimp.

Hyophila Brid.

Hyophila involuta (Hook.) A. Jaeger

Leptodontium (Müll. Hal.) Lindb.

Leptodontium viticulosoides (P. Beauv.) Wijk & Margad.

Plaubelia Brid.

Plaubelia sprengelii (Schwägr.) R.H. Zander

Tortella (Lindb.) Limpr.

Tortella humilis (Hedw.) Jenn.

Trichostomum Bruch

Trichostomum brachydontium Bruch

Weissia Hedw.

Weissia controversa Hedw.

Subclasse BRYIDAE Engl.

Superordem HYPNANAE W. R. Buck, Goffinet & A. J. Shaw

Ordem HYPNODENDRALES N. E. Bell, Ang. Newton & D. Quandt

Família Racopilaceae Kindb

Racopilum P. Beauv.

Racopilum tomentosum (Hedw.) Brid.

Ordem HOOKERIALES M. Fleisch.

Família Pilotrichaceae Kindb

Callicostella (Müll. Hal.) Mitt.

Callicostella pallida (Hornsch.) Ångström

Thamniopsis (Mitt.) M. Fleisch.

Thamniopsis incurva (Hornsch.) W.R. Buck

Ordem HYPNALES (M. Fleisch.) W. R. Buck & Vitt

Família Stereophyllaceae W. R. Buck & Ireland

Entodontopsis Broth.

Entodontopsis nitens (Mitt.) W. R. Buck & Ireland

Família Fabroniaceae Schimp.

Fabronia Raddi

Fabronia ciliaris (Brid.) Brid.

Família Hypnaceae Schimp.

Chryso-hypnum (Hampe) Hampe

Chryso-hypnum diminutivum (Hampe) W.R. Buck

Rhacopilopsis Renauld & Cardot

Rhacopilopsis trinitensis (Müll. Hal.) E. Britton & Dixon

Família Pylaisiadelphaceae Goffinet & W. R. Buck

Isopterygium Mitt.

Isopterygium tenerifolium Mitt.

Isopterygium tenerum (Sw.) Mitt.

Família Sematophyllaceae Broth.

Donnellia Austin

Donnellia commutata (Müll. Hal.) W. R. Buck
Sematophyllum Mitt.
Sematophyllum galipense (Müll. Hal.) Mitt.

O material botânico analisado integra a coleção do herbário Professor Leopoldo Krieger (CESJ) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Para a complementação do estudo, foram solicitados empréstimos aos herbários Alexandre Leal Costa (ALCB) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo (SP) do Instituto de Botânica de São Paulo (IBt/SMA-SP). A lista do material examinado segue as descrições palinológicas.

As plantas foram observadas sob microscópio estereoscópico, sendo as estruturas de importância taxonômica destacadas, colocadas entre lâmina e lamínula e observadas sob microscópio de luz. Os espécimes que haviam sido previamente identificados tiveram a sua identificação conferida, e as plantas indeterminadas foram identificadas utilizando-se bibliografia especializada, destacando-se Allen *et al.* (1994); Buck (1998); Sharp *et al.* (1994a, 1994b); Visnadi (2005); Yano & Peralta (2008) e, ainda, realizando-se a comparação com exsicatas previamente determinadas. As plantas que apresentaram esporófito foram separadas para o estudo palinológico.

3.2 Microscopia de Luz

Para o estudo palinológico, os esporos foram observados sob microscópio de luz antes e após acetólise. Para observação antes da acetólise, os esporos foram preparados seguindo-se o método de Wodehouse (1935), com alterações propostas por Luiz-Ponzo e Melhem (2006a). Cada lâmina foi preparada utilizando-se uma cápsula do material selecionado. Essa cápsula foi imersa em álcool 70% e macerada sobre a lâmina com auxílio de um bastão de vidro. Após a maceração, os remanescentes da cápsula foram retirados da lâmina com ajuda de um estilete. Uma pequena porção de gelatina glicerinada corada com fucsina básica foi colocada na lâmina sobre os esporos e derretida sobre uma chapa aquecedora. O material derretido foi coberto com lamínula, vedado com parafina e deixado emborcado sobre papel absorvente até esfriar.

Para a observação dos esporos após acetólise, utilizou-se a metodologia estabelecida por Erdtman (1960), com as adaptações para briófitas de Luiz-Ponzo & Melhem (2006a). Para cada material analisado, em média, três cápsulas maduras foram depositadas em tubo de ensaio e maceradas com auxílio de um bastão de vidro. A cada tubo, foi adicionado 2 mL de uma solução de ácido sulfúrico e anidrido acético (1:9). Os tubos foram aquecidos em banho-maria, e mantidos assim, por um minuto após a água entrar em ebulição, sendo centrifugados, em seguida, por 5 minutos a 1500 rotações por minuto. A solução foi descartada em recipiente apropriado e foi adicionado, a cada tubo de ensaio, 2 mL de água destilada. Os tubos foram centrifugados novamente por 5 minutos a 1500 rpm. Após a água destilada ter sido descartada, foi adicionado em cada tubo de ensaio, 2 mL de água glicerinada, mantendo-se os tubos de ensaio nesta etapa por cerca de 40 minutos. Em seguida, o material foi centrifugado novamente por 10 minutos a 1500 rpm. Após a centrifugação, a água glicerinada foi descartada e os tubos de ensaio foram emborcados e mantidos assim por cerca de duas horas. Ao final do processo, três lâminas foram preparadas a partir de cada material e, juntamente com o memorial palinológico, foram depositadas no Laminário do Laboratório de Briófitas da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Após a acetólise, foram realizadas as medições, tomando-se ao acaso, para as espécies que apresentaram esporos isomórficos, 50 esporos em vista polar, para medidas de diâmetro maior, e 30 esporos em vista equatorial para as medidas de eixo polar (P) e eixo equatorial (E). Para espécies que apresentaram esporos anisomórficos, foram realizadas as medidas de 100 esporos em vista polar e 30 esporos em vista equatorial. O procedimento ocorreu até uma semana após a montagem das lâminas (SALGADO-LABOURIAU, 1973), utilizando-se um microscópio de luz, modelo Olympus BX41, com uma ocular micrométrica acoplada. Após as medições, foram calculados: média aritmética (\bar{X}), desvio padrão da amostra (S), desvio padrão da média ($S_{\bar{X}}$), coeficiente de variação (CV), intervalo de confiança (IC) a 95% e apresentados os valores mínimos e máximos (X_{MIN} e $X_{\text{MÁX}}$) obtidos para o tamanho dos esporos de cada espécie.

3.3 Microscopia Eletrônica

As análises sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (NMM – UFV).

A preparação dos esporos para as análises também foram realizadas no NMM, onde as cápsulas foram fixadas em solução de glutaraldeído por cerca de uma hora, lavadas com solução tampão de cacodilato de sódio e pós-fixadas em solução de tetróxido de ósmio por cerca de duas horas. Em seguida, as cápsulas foram lavadas com água destilada e desidratadas em série alcoólica. Ao final do processo, as cápsulas foram levadas ao secador de ponto crítico (CPD), modelo 030-BAL-TEL. As cápsulas foram então abertas, e os esporos foram dispersos sobre os suportes para microscopia eletrônica cobertos com fita de carbono dupla face, e metalizados com uma camada de 20nm de ouro, utilizando-se o metalizador SEM, modelo 550x, operação automática. Os esporos foram observados sob microscópio eletrônico de varredura, modelo LEO VP1430, e as eletromicrografias foram obtidas e armazenadas em mídia.

3.4 Análises Ecológicas

Para a realização das análises ecológicas, uma matriz binária foi elaborada, incluindo-se os dados palinológicos obtidos a partir das observações sob microscópio de luz e microscópio eletrônico de varredura, e os dados referentes às características ecológicas das espécies, tais como a ocupação do substrato, forma de vida e posição do periquécio. Devido à natureza qualitativa da maior parte das variáveis, para que todos os dados pudessem ser incluídos nas análises, as características selecionadas foram classificadas como presentes ou ausentes para cada espécie.

As características palinológicas incluídas na matriz foram tamanho dos esporos, espessura da parede, tipo e densidade da ornamentação e presença ou ausência de esporos abortados nas amostras.

Para caracterizar as espécies em relação ao tamanho dos esporos, foram definidas três classes de tamanho. Para isto, os valores obtidos para o tamanho dos esporos, incluindo-se

todas as espécies analisadas, foram separados em três classes de frequência, cada uma correspondendo a uma classe de tamanho. Para definir a amplitude de cada classe, a seguinte fórmula foi utilizada (CORREA, 2007):

$$h = \frac{A_T}{k} \quad \text{onde: } h = \text{amplitude de classes; } A_T = \text{amplitude total; } k = \text{número de classes.}$$

Para o cálculo da amplitude total utilizou-se a fórmula:

$$A_T = X_{MÁX} - X_{MIN} \quad \text{onde: } A_T = \text{amplitude total; } X_{MÁX} = \text{maior valor de tamanho de esporo observado no total de amostras; } X_{MIN} = \text{menor valor de tamanho de esporo observado no total das amostras.}$$

A partir dos valores obtidos, as três classes de tamanho foram determinadas, sendo que a primeira classe corresponde aos esporos classificados como “esporos menores”, a segunda classe, aos “esporos intermediários” e a terceira classe, corresponde aos “esporos maiores”. Caso uma espécie tenha apresentado esporos que variam de tamanho entre duas classes, estes foram classificados na classes de tamanho à qual a mediana da amostra pertence.

Para classificar a espessura do esporoderma, considerando-se parede fina ou parede espessa, a metodologia estabelecida levou em consideração a capacidade de visualização dos plastídeos estabelecida por Alfayate *et al.* (2013), já que o tamanho diminuto dos esporos, impediu que fossem realizadas as medidas do esporoderma sob microscópio de luz. Dessa forma, foi definido que esporos que apresentaram coloração verde em lâminas não acetolisadas possuem parede fina, e aqueles que apresentam coloração marrom, possuem parede espessa já que a mesma impede a visualização do conteúdo celular.

Também foram incluídos na matriz dados sobre tipo e densidade da ornamentação do esporoderma. A classificação da ornamentação dos esporos foi feita baseada nos três padrões apresentados pelos esporos analisados: granulada, formada por grânulos simples; granulada, formada por grânulos compostos e baculada, composta por báculos de tamanho variável, soldados ou não. A determinação do tipo de ornamentação apresentada pelos esporos foi feita através de observação sob MEV, já que não foi possível identificar o padrão de ornamentação em observação sob microscópio de luz.

A análise da densidade da distribuição dos elementos de ornamentação na parede dos esporos foi feita em observação dos mesmos sob microscópio eletrônico de varredura, definindo-se que, quando grande parte da exina permanece exposta, a ornamentação é esparsa. Entretanto, quando a exina é coberta pela perina em sua grande parte ou completamente, a ornamentação dos esporos é densa.

Para incluir na matriz os dados referentes a esporos abortados, foi avaliada a presença de conteúdo celular nos mesmos. Assim, esporos que não apresentaram conteúdo celular foram considerados abortados enquanto os que apresentaram conteúdo celular foram considerados viáveis. Uma espécie foi considerada como possuindo esporos abortados caso esporos sem conteúdo celular tenham sido observados, independente de sua frequência. Para que uma espécie fosse considerada como não possuindo esporos abortados, nenhum esporo abortado foi observado na amostra.

Além das características morfológicas dos esporos, foram incorporadas às análises características relacionadas às estratégias adaptativas das espécies, tais como a posição do periquécio, a forma de vida e as características ambientais referentes aos tipos de substratos que as plantas colonizam e sua especificidade em relação aos mesmos.

Para classificar as espécies em relação à posição do periquécio, utilizou-se a definição La Farge-England (1996), sendo acrocárpicas as plantas que possuem o periquécio terminal no eixo principal, pleurocárpicas aquelas que possuem periquécio localizado em inovações laterais no eixo principal, e cladocárpicas as que possuem periquécio terminal em ramos laterais.

A avaliação da forma de vida também seguiu La Farge-England (1996). As plantas foram observadas sob microscópio estereoscópico e as formas de vida foram indicadas como pendente, tapete, relva, trama, dendróide ou almofada.

Para a avaliação do substrato em que as espécies estudadas ocorrem, foi realizado um levantamento considerando-se o material botânico aqui estudado, além daqueles referidos em literatura especializada, destacando-se Allen *et al.* (1994), Sharp *et al.* (1994a, 1994b), Buck (1998), Balejos & Bastos (2010), Lista de Espécies da Flora do Brasil (2013) e Oliveira (2013).

Para avaliar a especificidade de substratos, foi utilizada a definição de Paiva (2012), considerando-se especialistas, plantas que colonizam apenas um substrato, intermediárias, as que colonizam dois ou três substratos distintos e generalistas, aquelas que colonizam quatro substratos ou mais. Para essa classificação, foi utilizado o número de substratos em que as espécies foram referenciadas na literatura consultada e, também, nas indicações das fichas de herbário do material examinado.

Após a descrição dos esporos e compilação dos dados referentes às características ecológicas das espécies, todas as variáveis foram incluídas em uma matriz binária e o software PAST 15.2 (HAMMER *et al.*, 2001) foi utilizado para realizar a análise de agrupamento. A análise de agrupamento (*cluster*) foi realizada, utilizando-se o índice de similaridade de Jaccard, para verificar o grau de similaridade entre as espécies, que possibilitasse reuní-las em um mesmo conjunto.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFAYATE, C.; RON, E.; ESTÉBANEZ, B.; PÉREZ-BATISTA, M. A. Mature spores of four pleurocarpous mosses in the Canary Islands: ultrastructure and early germination stages. **The Bryologist**, v. 116, n. 2, p. 97-112, 2013.
- ALLEN, B.; CRUM, H.; PURSSEL, R. A.; ALLEN, N. S.; REESE, W. D. **Moss Flora of Central America Part 1: Sphagnaceae – Calymperaceae**. 1st ed. St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 1994. 242 p. ISBN 0-915279-26-6
- ARIIZUMI, T.; TORIYAMA, K. Genetic Regulation of Sporopollenin Synthesis and Pollen Exine Development. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 62, p. 1.1-1.24, 2011.
- BALLEJOS, J.; BASTOS, C. J. P. Musgos acrocárpicos (Bryophyta) do Paque Estadual das Sete Passagens, Miguel Calmon, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, p. 355-370, 2010.
- BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Ultrastructure of Sporogenesis in a Moss, *Ditrichum pallidum*. III. Spore Wall Formation. **American Journal of Botany**, v. 67, n. 6, p. 918-934, Jul. 1980.
- BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Spore Wall Development in *Andreaea* (Musci: Andreaeopsida). **American Journal of Botany**, v. 71, n. 3, p. 412-420, Mar. 1984.
- BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Sporogenesis in Bryophytes. **Advances in Bryology**, v. 3, p. 159-223, 1988.
- BUCK, W. R. **Pleurocarpous Mosses of the West Indies**. 1 ed. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1998. 400 p. ISBN 0-89327-418-6
- BUCK, W. R.; GOFFINET, B. Morphology and classification of mosses. In: SHAW, A. J.; GOFFINET, B. (Org.) **Bryophyte Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. P. 71-123.
- CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasil. Bot.**, v. 29, n. 2, p. 301-307, 2006.
- CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 32, n. 2, p. 299-306, 2009.
- CALDEIRA, I. C.; LUIZI-PONZO, A. P.; ESTEVES, V. G. L. Palynology of selected species of *Fissidens* Hedw. (Bryophyta). **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, p. 187-195, 2013.
- CARRIÓN, J. S., GUERRA, J.; ROS, R. M. Spore morphology of the European species of *Phascum* Hedw. (Pottiaceae, Musci). **Nova Hedwigia**, v. 51, n. 3/4, p. 411-433, 1990.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. 2ª ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p.

COSTA, D.P., PÔRTO, K.C., LUIZI-PONZO, A.P., ILKIU-BORGES, A.L., BASTOS, C.J.P., CÂMARA, P.E., PERALTA, D.F., BOAS-BASTOS, S.V., IMBASSAHY, C.A.A., HENRIQUES, D.K., GOMES, H.C.S., ROCHA, L.M., SANTOS, N.D., SILVIERO, T.S., VAZ-IMBASSAHY, T.F., CHURCHILL, S. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. **Nova Hedwigia** v. 93, p. 277-334, 2011.

CRANDALL-STOTLER, B. J.; BARTHOLOMEW-BEGAN, S. E. Morphology of mosses (Phylum Bryophyta). In: Flora of North America Editorial Committee (eds.). **Flora of North America North of Mexico**. New York & Oxford, 2007 v. 27, p. 3-13.

DURING, H. J. Life Strategies of Bryophytes: A Preliminary Review. **Lindbergia**, v. 5, n. 1. p. 2-18, 1979.

ERDTMAN, G. **Pollen and spore morphology/plant taxonomy - Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (Illustrations) (An introduction to palynology. II)**. Estocolmo: Almqvist & Wiksell/Gebbers Förlag AB, 1957. 151p.

ERDTMAN, G. The acetolysis method. A revised description. **Svensk Botanisk Tidskrift**. v. 39, p. 561-564, 1960.

ESTÉBANEZ, B.; ALFAYATE, C.; RON. E. Observations on spore ultrastructure in six species of *Grimmia* (Bryopsida). **Grana**, v. 36, p. 347-357, 1997.

FRAHM, J. P. Diversity, dispersal and biogeography of bryophytes (mosses). **Biodivers Conserv**, v. 17, p. 277–284, 2008

FREY, W.; KURSHNER, H. Asexual reproduction, habitat colonization and habitat maintenance in bryophytes. **Flora**, v. 206, p. 173–184, 2011.

GIMINGHAM, C. H.; BIRSE, E. M. Ecological Studies on Growth-Form in Bryophytes: I. Correlations Between Growth-Form and Habitat. **Journal of Ecology**, v. 45, n. 2, p. 533-545, 1957.

GLIME, J. M. **Bryophyte Ecology**. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2007. Disponível em: <http://www.bryoecol.mtu.edu/> - Acesso em maio de 2012.

GOFFINET, B.; BUCK, W. R.; SHAW, J. Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta. In: GOFFINET, B.; SHAW, B. (Org.) **Bryophyte Biology** 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 55-138.

GRADSTEIN, S. R.; CHURCHILL, S. P.; SALAZAR-ALLEN, N. **Guide to the Bryophytes of Tropical America**. New York: The New York Botanical Garden Press, 2001. 577 p. ISBN 0-89327-435-6

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**. v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001. Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

HEDDERSON, T. A.; CHAPMAN, R. L.; ROOTES, W. L. Phylogenetic relationships of bryophytes inferred from nuclear-encoded rRNA gene sequences. **Plant Systematics and Evolution**, v. 200, p. 213-224, 1996.

JORDAN, G. J. Fossil Record of Bryophytes. In: **Flora of Australia**. v. 51, p. 58-66, 2006.

KENRICK, P.; CRANE, P. R. **The origin and early diversification of land plants. A cladistic study**. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1997. 441p., 26cm. ISBN 1560987294.

LA FARGE-ENGLAND, C. Growth Form, Branching Pattern, and Perichaetial Position in Mosses: Cladocarpus and Pleurocarpus Redefined. **The Bryologist**, v. 99, n. 2, p. 170-186, 1996.

LEWIS SMITH, R. I. Biological and Environmental Characteristics of Three Cosmopolitan Mosses Dominant in Continental Antarctica. **Journal of Vegetation Science**, v. 10, n. 2, p. 231-242, Apr. 1999.

Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 15 Dez. 2013

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, O. M.; LISBOA, R. C. L. Estudos Palinológicos em Briófitas. In: P. L. LISBOA. (Org.). **Caxiuanã**. Belém: MPEG/MTC/CNPq, 1997, p. 305-318.

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Bruchiaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 37, p. 222-227, 1998.

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 38, n.1, p. 42-49, 1999.

LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. **Cryptogamie Bryologie**, v. 27, p. 413-420, 2006a.

LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Palinotaxonomia de Rhachithecaceae (Bryophyta) do Brasil. **Boletim do Instituto de Botânica**, n. 18, p. 91-99, 2006b.

LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia e ultraestrutura de esporos de musgos: interpretando estratégias e relações evolutivas. In: MESA REDONDA: BRIÓFITAS, 2012, Joinville. **Anais...** Joinville: 63 Congresso Nacional de Botânica, 2012. p. 20-27.

MCCLYMONT, J. W.; LARSON, D. A. An electron-microscope study of spore wall structure in the Musci. **American Journal of Botany**, v. 51, p. 195-200, 1964.

MISHLER, B. D.; CHURCHILL, S. P. A cladistic approach to the phylogeny of the "bryophytes". **Brittonia**, v. 36, n. 4, p. 406-424, 1984.

MISHLER, B. D.; OLIVER, M. J. Gametophytic Phenology of *Tortula ruralis*, a Desiccation-Tolerant Moss, in the Organ Mountains of Southern New Mexico. **The Bryologist**, v. 94, n. 2, p. 143-153, 1991.

MOGENSEN, G. S. Spore development and germination in *Cinclidium* (Mniaceae, Bryophyta), with special reference to spore mortality and false anisospory. **Can. J. Bot.** v. 56, p. 1032-1060, 1978.

MOGENSEN, G. S. The Biological Significance of Morphological Characters in Bryophytes: The Spore. **The Bryologist**, v. 84, n. 2, p. 187-207, 1981.

MUELLER, D. M. J. Spore Wall Formation and Chloroplast Development During Sporogenesis in the Moss *Fissidens limbatus*. **American Journal of Botany**, v. 61, n. 5, p. 525-534, Maio/Jun. 1974.

NEIDHART, H. B. Comparative studies of sporogenesis in bryophytes. In: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. (Org.) **Bryophyte Systematics**. London: Academic Press, 1979. p. 251-280.

OLESEN, P & MOGENSEN, G. S. Ultrastructure, Histochemistry and Notes on Germination Stages of Spores in Selected Mosses. **The Bryologist**, v. 81, n. 4, p. 493-516, 1978.

OLIVEIRA, H. C. de. **Florística e Ecologia de Briófitas Epífitas em Fragmentos de Mata Atlântica no Estado da Bahia, Brasil**. 2013. 146f. Tese (Doutorado em Botânica) - Programa Pós-Graduação, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

PAIVA, L. A. de. **Musgos (Bryophyta) de um fragmento de floresta atlântica urbana do sudeste do Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

RAMSAY, H. P. Introduction to mosses. In: **Flora of Australia**. v. 51, 2006. p. 20-57.

ROCHA, L. M.; GONÇALVES-ESTEVEVES, V.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia de esporos de espécies de Polytrichaceae Schwärg. (Bryophyta) do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 537-548, 2008.

RUSHING, A. E. Spore morphology in the genus *Bruchia* Schwaegr. (Musci). **Amer. J. Bot.**, v. 72, n. 1, p. 75-85, 1985.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Contribuição a palinologia des Cerrados**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciencias, 1973. 291p.

SAVAROGLU, F.; ERKARA, I. P. Observations of spore morphology of some Pottiaceae Schimp. species (Bryophyta) in Turkey. **Plant Syst. Evol.**, v. 271, p. 93-99, 2008.

SCHOFIELD, W.B. **Introduction to Bryology**. Macmillan Publishing Company, New York. 1985.

SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. **The Moss Flora of Mexico: Part One**. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1994a, v. 69. 580 p. ISBN 0-89327-379-1

SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. **The Moss Flora of Mexico: Part Two**. New York: Memoirs of The New York Botanical Garden, 1994b, v. 69. 1113 p. ISBN 0-89327-379-1

SHAW, A. J.; GOFFINET, B. **Bryophyte Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

SHAW, A. J.; RENZAGLIA, K. S. Phylogeny and Diversification of Bryophytes. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 10, p. 1557–1581, 2004.

SILVA, A. S. M. da; PÔRTO, K. C.; SIMABUKURO, E. A. Effect of light and water availability on spore germination and protonemal growth of the Neotropical moss *Thamniopsis incurva* (Pilotrichaceae). **Cryptogamie Bryologie**, v. 30, n. 2, p. 243-257, 2009a.

SILVA, A. S. M. da; SIMABUKURO, E. A.; PÔRTO, K. C. Effect of water availability on spore germination of the moss *Octoblepharum albidum* from Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Bryology**, v. 31, n. 3, p. 169-173, 2009b.

SORSA, P.; KOPONEM, T. Spore morphology of Mniaceae Mitt. (Bryophyta) and its taxonomy significance. **Ann. Bot. Fennici**, v. 10, p. 187-200, 1973.

STARCK, L. R.; CASTETTER, R. C. Phenology of *Trichostomum perligulatum* (Pottiaceae, Bryopsida) in the Chihuahuan Desert. **The Bryologist**, v. 98, n. 3, p. 389-397, 1995.

STONEBURNER, A.; LANE, D. M.; ANDERSON, L. E. Spore Dispersal Distances in *Atrichum angustatum* (Polytrichaceae). **The Bryologist**, v. 95, n. 3, p. 324-328, 1992.

VANDERPOORTEN, A. & GOFFINET, B. **Introduction to Bryophyte Biology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009. 294 p.

VISNADI, S. R. Brioflora da Mata Atlântica do estado de São Paulo: região norte. **Hoehnea**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 215-231, 2005.

WODEHOUSE, R. P. **Pollen Grains. Their Structure, Identification and Significance in Science and Medicine**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1935. 574 p.

YANO, O.; PERALTA, D. F. Briófitas do Espírito Santo existentes no Herbário Científico do Estado “Maria Eneyda P. Kuffmann Fidalgo”. Instituto de Botânica, São Paulo, Brasil. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, Santa Tereza, n. 24, p. 5-100, 2008.

Capítulo 1

**Palinologia de espécies selecionadas da família Pottiaceae
(Bryophyta), com especial referência para *Leptodontium
viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad.**

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo palinológico de seis espécies da família Pottiaceae de ambientes antropizados ocorrentes em Minas Gerais. Para a realização do estudo, os esporos foram observados sob microscópio de luz antes e após acetólise e sob microscópio eletrônico de varredura. Após as análises, foi possível observar que os esporos das espécies estudadas possuem tamanho variando de muito pequeno a médio e ornamentação composta por grânulos ou báculos. A espécie *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad. apresentou esporos anisomórficos e esporos abortados nas amostras, corroborando dados pré-existentes, esclarecendo as características palinológicas da espécie. O estudo realizado acrescenta dados importantes acerca da Palinologia da família, incrementa dados da morfologia das espécies estudadas e indica a importância taxonômica dos esporos para as espécies estudadas.

Palavras-chave: esporos anisomórficos, musgos, Palinologia

ABSTRACT

In this paper, we aim to develop the palynological study of six species of mosses of Potticeae family which occur in harsh environments from Minas Gerais state. The spores were observed under light microscope, untreated or submitted to the acetolysis method, and under scanning electron microscope. The studied species have shown spores very small to medium sized, with ornamentation formed by granules or baculae. The species *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad. has presented anisomorphic and aborted spores in the samples, confirming pre-existing data and clarifying the palynological characteristics of the species. The study adds important data about the Palynology of the family, increases data about species morphology and indicates the taxonomic significance of the spores to the species studied.

Key words: anisomorphic spores, mosses, Palynology

INTRODUÇÃO

Musgos são plantas terrestres, de tamanho reduzido, incluídos na divisão Bryophyta e apresentam como características principais a criptogamia, ausência de vasos condutores e alternância de gerações heteromórficas na qual a fase de vida dominante é o gametófito (SHAW & GOFFINET, 2000; GRADSTEIN *et al.*, 2001; RAMSAY, 2006; CRANDALL-STOTLER & BARTHOLOMEW-BEGAN, 2007). Eles formam, juntamente com antóceros (Anthocetophyta) e hepáticas (Marchantiophyta), o grupo das briófitas, sendo incluídos na divisão Bryophyta devido a características como gametófito formado por filídios não divididos e organizados espiraladamente ao redor do caulídio, rizóides pluricelulares e esporófito formado por pé, seta e cápsula, sendo que o alongamento da seta ocorre previamente à maturação dos esporos, que é simultânea (BROWN & LEMMON, 1988; BUCK & GOFFINET, 2000; GRADSTEIN *et al.*, 2001).

Das 15.000 espécies de musgos reconhecidas no mundo (BUCK & GOFFINET, 2000), cerca de 1.450 pertencem à Pottiaceae Schimp., sendo esta, a mais diversa entre os musgos (GRADSTEIN *et al.*, 2001; ZANDER, 2007). A família inclui 77 gêneros, sendo a maioria deles formados por espécies acrocárpicas. Dentre as características que aproximam as espécies da família Pottiaceae estão o tamanho do gametófito geralmente reduzido, com filídios contorcidos quando secos e expandidos quando úmidos e a presença de uma costa longa e bem desenvolvida, terminando poucas células antes do ápice, ou curto a longo-excurrente. Propágulos de reprodução vegetativa estão geralmente presentes nessa família, sendo que muitas delas raramente apresentam esporófito (ZANDER, 2007).

Muitas espécies de Pottiaceae estão adaptadas a climas secos, sendo esta, a família de musgos geralmente dominante em ambientes áridos ao redor do mundo (WERNER *et al.*, 2004). Além da sua predominância em ambientes secos, a família é característica de ambientes hostis ou antropizados (ZANDER, 2007). Segundo Costa *et al.* (2011), são referidas para o Brasil 61 espécies de Pottiaceae, das quais, 29 ocorrem no estado de Minas Gerais.

A dispersão das espécies de Pottiaceae, assim como de outros musgos, ocorre por meio de propágulos vegetativos, tais como gemas e fragmentos do filídio (ZANDER, 2007) e pelos esporos, estruturas produzidas no interior da cápsula do esporófito, a partir de um

processo conhecido como esporogênese (NEIDHART, 1979; MOGENSEN, 1981). Os esporos são caracterizados pela estrutura, em geral, unicelular e esférica, e pelo esporoderma formado por três camadas: perina, exina e intina (MCCLYMONT & LARSON, 1964; OLESEN & MOGENSEN, 1978; NEIDHART, 1979; MOGENSEN, 1981).

A intina, constituída por polissacarídeos, é camada mais interna do esporoderma. Algumas espécies possuem um espessamento na intina, região de germinação e formação do protonema. Esse espessamento é conhecido como abertura ou leptoma (MCCYMONT & LARSON, 1964). A exina é a camada intermediária do esporoderma, sendo constituída por esporopolenina, substância que confere resistência ao esporo contra dessecação e ataque de patógenos (OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1984). A perina, camada mais externa do esporoderma, é composta por esporopolenina, pectina e calose, e confere maior resistência ao esporo. É esta camada mais externa da parede que apresenta os elementos de ornamentação do esporo, os quais podem ser variáveis nas diferentes espécies de musgos (MOGENSEN, 1978, 1981; NEIDHART, 1979).

Os estudos já realizados em Palinologia de musgos elucidaram questões importantes acerca da esporogênese (MUELLER, 1974; NEIDHART, 1979; BROWN & LEMMON, 1980, 1984, 1988), germinação (MOGENSEN, 1978; OLESEN & MOGENSEN, 1978; ALFAYATE *et al.*, 2013) e morfologia de muitas espécies de musgos (ERDTMAN, 1957; MCCLYMONT & LARSON, 1964; SORSA & KOPONEN, 1973; CARRIÓN *et al.*, 1990; ESTÉBANEZ *et al.*, 1997; LUIZI-PONZO & BARTH, 1998, 1999; LUIZI-PONZO, 2001; LUIZI-PONZO & MELHEM, 2006a, 2006b; CALDEIRA *et al.*, 2006, 2009, 2013; ROCHA *et al.*, 2008; SAVAROGLU & ERKARA, 2008). A caracterização da ornamentação da parede, morfologia e ultraestrutura dos esporos acrescentam informações importantes sobre as espécies de musgos, sendo um caráter relevante nos estudos de taxonomia e filogenia do grupo (CLARKE, 1979).

Estudos palinológicos de espécies da família Pottiaceae são raros, tendo sido iniciados por Erdtman (1957), em um trabalho no qual o autor descreveu, dentre outras espécies de musgos, características como tamanho e morfologia da parede dos esporos de *Anoetangium aestivum* (Hedw.) Mitt. Savaroglu & Erkara (2008) analisaram esporos do gênero *Syntrichia* Brid. ocorrentes na Turquia, encontrando para as espécies estudadas esporos pequenos, heteropolares e com ornamentação granulosa. Outras informações existentes acerca de

esporos da família Pottiaceae consistem na descrição superficial dos esporos apresentada em alguns trabalhos de taxonomia da família (ZANDER, 1993; ZANDER *et al.*, 1994), que os indicam como muito pequenos ou pequenos e com ornamentação “papilosa” (ZANDER *et al.*, 1994). O termo “papilosa” não é comumente usado para descrever ornamentação em Palinologia, podendo ser compreendido como granulosa.

Em estudos de taxonomia, Zander (1993) e Zander *et al.* (1994) destacaram os esporos de *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad. como levemente papilosos e apresentando duas classes de tamanho. A classe de menor tamanho foi apresentada sendo composta por esporos tetraédricos, amarronzados e parecendo abortados e a classe de maior tamanho apresentando esporos esféricos com coloração esverdeada (ZANDER *et al.*, 1994). Zander (1993) sugeriu que os esporos desta espécie poderiam apresentar uma condição de falsa anisosporia (MOGENSEN, 1981), sendo necessário realizar estudos mais aprofundados.

Apesar do crescente incremento em pesquisas na área de Palinologia de musgos nos últimos anos (LUIZI-PONZO & MELHEM, 2006a, 2006b; CALDEIRA *et al.*, 2006, 2009, 2013; ROCHA *et al.*, 2008; SAVAROGLU & ERKARA, 2008; LUIZI-PONZO, 2012; ALFAYATE *et al.*, 2013), as informações acerca da morfologia e ultraestrutura dos esporos de muitas espécies ainda não foram descritas, de forma que os dados palinológicos de muitas espécies da divisão Bryophyta estão ausentes na literatura. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo palinológico de seis espécies de musgos da família Pottiaceae, que ocorrem em ambientes antropizados, encontradas no estado de Minas Gerais, e adicionar os dados palinológicos à circunscrição destas espécies, especialmente *Leptodontium viticulosoides* para a qual já foi indicada a necessidade de estudos palinológicos mais aprofundados (ZANDER, 1993).

MATERIAL E MÉTODOS

O material botânico foi obtido a partir das coleções dos herbários Professor Leopoldo Krieger (CESJ), Alexandre Leal Costa (ALCB) e Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo (SP). Foram selecionadas para a pesquisa, seis espécies da família Pottiaceae que ocorrem, tipicamente, em ambientes hostis, incluindo áreas antropizadas como beiras de trilhas e estradas e centros urbanos. São elas: *Hyophila involuta* (Hook.) A. Jaeger, *Leptodontium*

viticulosoides (P. Beauv.) Wijk & Margad., *Plaubelia sprengelii* (Schwägr.) R.H. Zander, *Tortella humilis* (Hedw.) Jenn., *Trichostomum brachydontium* Bruch e *Weissia controversa* Hedw.

Para o estudo palinológico, os esporos foram observados sob microscópio de luz (ML) antes e após acetólise, utilizando-se, para tal procedimento, a metodologia estabelecida por Erdtman (1960), com alterações de Luiz-Ponzo e Melhem (2006a). A partir do material acetolisado, foram obtidas as medidas padrão em estudos palinológicos. Para os esporos isomórficos, 50 esporos em vista polar foram tomados, ao acaso, em três lâminas, para medidas de diâmetro maior, e 30 esporos em vista equatorial para as medidas de eixo polar (P) e eixo equatorial (E). No caso de esporos anisomórficos, foram tomadas as medidas de 100 esporos em vista polar e 30 em vista equatorial, ao acaso em três lâminas.

Após a realização de todas as medidas, os dados obtidos foram submetidos ao tratamento estatístico, sendo calculados média aritmética (\bar{X}), desvio padrão da amostra (S), desvio padrão da média ($S_{\bar{X}}$), coeficiente de variação (CV), intervalo de confiança (IC) a 95% e apresentados os valores mínimos e máximos obtidos ($X_{MÁX}$ e X_{MIN}) para o tamanho dos esporos de cada espécie. Para avaliação da distribuição de tamanho dos esporos, foram apresentados gráficos de linhas e, para comparar os valores de tamanho dos esporos em diâmetro maior, foram elaborados gráficos *box-plot* para todas as espécies. Para a elaboração do gráfico de linhas de *Leptodontium viticulosoides*, os valores do tamanho dos esporos foram divididos em classes de frequência, seguindo a metodologia apresentada por Luiz-Ponzo (2001) para esporos de briófitas.

Para investigar a condição dos esporos anisomórficos de *L. viticulosoides*, foram preparadas lâminas não acetolisadas, a partir do método de Wodehouse (1935) com alterações de Luiz-Ponzo & Melhem (2006a). Foi realizada a contagem dos esporos com e sem conteúdo para verificar a taxa de frequência dos mesmos. Para compreender a variação de tamanho entre os dois tipos de esporos, foram medidos 30 esporos com e sem conteúdo em diâmetro maior.

As análises sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (NMM – UFV). Para a realização de tais análises, os esporos foram fixados em solução de glutaraldeído e pós-

fixados em solução de tetróxido de ósmio. Após a fixação, o material foi levado ao secador de ponto crítico e os esporos foram dispersos sobre os suportes para microscopia eletrônica cobertos com fita de carbono dupla face e, finalmente, metalizados com camada de 20nm de ouro. Os esporos foram então observados sob microscópio eletrônico de varredura e as eletromicrografias foram registradas ao longo das observações.

Ao final das análises, os esporos foram descritos utilizando-se a nomenclatura palinológica de Punt *et al.* (2007), com adaptações para briófitas de Luiz-Ponzo & Barth (1998).

RESULTADOS

A observação dos esporos sob microscópio de luz e microscópio eletrônico de varredura possibilitaram uma análise detalhada da morfologia e ornamentação da parede dos esporos das seis espécies da família Pottiaceae estudadas. As observações sob microscópio de luz permitiram a análise de forma e âmbito, tamanho, características gerais da ornamentação e coloração dos esporos. A observação dos esporos sob MEV promoveu a descrição detalhada da perina, analisando a morfologia e modo de distribuição dos elementos de ornamentação.

As espécies estudadas apresentaram esporos heteropolares, com tamanho variando de muito pequeno a médio (Figuras 2 e 3; Tabela 1), segundo a classificação de Erdtman (1960), possuindo esporoderma formado por intina, exina e perina, sendo que a ornamentação da perina variou de fracamente granulada a baculada, com os báculos soldados em sua maioria. *Leptodontium viticulosoides* e *P. sprengelii* apresentaram esporos abortados nas amostras analisadas.

Descrição dos esporos:

Hyophila involuta (Hook.) A. Jaeger – Esporos isomórficos, pequenos (Tabela 1), heteropolares, com âmbito circular e coloração amarronzada (Figura 1-A,B), quando observados sob microscópio de luz em lâminas não acetolisadas. A abertura no polo proximal é evidenciada pela maior espessura da intina, quando os esporos são observados sob microscópio de luz, e pela superfície côncava, quando observados sob microscópio eletrônico

de varredura. A ornamentação é composta grânulos pequenos e individuais, distribuídos de maneira uniforme pela superfície do esporo.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 13/III/2008, Machado 14, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, Machado s/n (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 20/I/2011, Paiva 116 (CESJ).

Leptodontium viticulosoides (P. Beauv.) Wijk & Margad. – Esporos anisomórficos, variando de muito pequenos a médios (Tabela 1) e com variações de coloração e tamanho entre as classes apresentadas (Figura 1-C). Os esporos que não apresentam conteúdo celular possuem diâmetro maior variando entre 13,6 e 20,8 μ m (Tabela 2), e se caracterizam pela coloração amarronzada, âmbito subcircular e por serem fortemente enrugados; sendo esporos abortados. Os esporos com conteúdo celular apresentam diâmetro maior variando entre 20,8 e 33,8 μ m (Tabela 2), com coloração verde em lâminas não acetolisadas, âmbito subcircular; sendo viáveis (Tabela 2). Os esporos viáveis são heteropolares, sendo esta heteropolaridade evidenciada pelo maior espessamento da intina no polo proximal (Figura 1-D) e possuem ornamentação caracterizada pela presença de báculos, distribuídos uniformemente por toda a superfície do esporo (Figura 1-E). A taxa de frequência de esporos com e sem conteúdo apresentou diferentes proporções nas amostras estudadas.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, 11/III/2009, Gomes *et al.* 13 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, 11/III/2009, Gomes *et al.* 34 (CESJ); 17/IV/1999, Brasil, Minas Gerais, Peralta, D. F. 263 (SP).

Plaubelia sprengelii (Schwägr.) R.H. Zander – Esporos isomórficos, variando de muito pequenos a pequenos (Tabela 1), heteropolares, sendo a heteropolaridade evidenciada pela superfície côncava no polo proximal quando observados sob MEV (Figura 1-G), com âmbito subcircular e coloração amarronzada quando observados em lâminas não acetolisadas (Figura 1-F). Os elementos de ornamentação da perina são muito pequenos, de forma que o esporo aparenta ser psilado quando observado sob microscópio de luz. Quando observados em

microscópio eletrônico de varredura, entretanto, pode-se observar que os esporos possuem ornamentação formada por grânulos de tamanho variável, distribuídos densamente por toda a parede do esporo. *P. sprengelii* apresentou esporos abortados em pequeno número, de forma que os mesmos não formaram uma segunda classe de tamanho.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago Manacás, 22/X/2009, Machado 213, Baldini (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago Manacás, 22/X/2009, Machado 214, Baldini (CESJ); Brasil, Bahia, Itaparica, Ilha do Medo, Bahia de Todos os Santos 19/XII/1991, Guimarães s/n (ALCB).

Tortella humilis (Hedw.) Jenn. – Esporos isomórficos, pequenos (Tabela 1), heteropolares, sendo a heteropolaridade evidenciada pela intina mais espessa na região proximal, com âmbito subcircular e coloração esverdeada quando observados em lâminas não acetolisadas (Figura 1-H). A ornamentação dos esporos de *T. humilis* é baculada, com os báculos distribuídos de maneira uniforme por toda a superfície do esporo, sendo alguns deles soldados (Figura 1-I, J). Não foram observados esporos abortados nas amostras.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago dos Manacás, 22/X/2009, Machado 209, Baldini (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, I/2010, Luiz-Ponzo 299 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, Rodrigues *et al.* 285 (CESJ).

Trichostomum brachydontium Bruch – Esporos isomórficos, pequenos (Tabela 1), heteropolares, com âmbito subcircular e coloração marrom quando observados em lâminas não acetolisadas sob microscópio de luz (Figura 1-K). A ornamentação da parede é composta por grânulos formados pela associação de grânulos menores, distribuídos de modo regular e esparsos pela superfície do esporo, sendo a exila psilada (Figura 1-L).

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Parque Estadual do Ibitipoca, 8/VII/1993, Novelino s/n (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas, 3/IX/2009, Machado 62, Luiz-Ponzo (CESJ).

Weissia controversa Hedw. – Esporos pequenos ou médios (Tabela 1), subcirculares, heteropolares e marrons quando observados sob microscópio de luz (Figura 1-M, N). A ornamentação é baculada, sendo os báculos soldados em sua maioria. Na região proximal dos esporos, os elementos da ornamentação se soldam e formam processos arredondados que se destacam na superfície do esporo (Figura 1- M-P). Esses processos caracterizam o plano proximal do esporo e evidenciam sua heteropolaridade.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 11/II/2010, Machado 315, Luiz-Ponzo (CESJ).

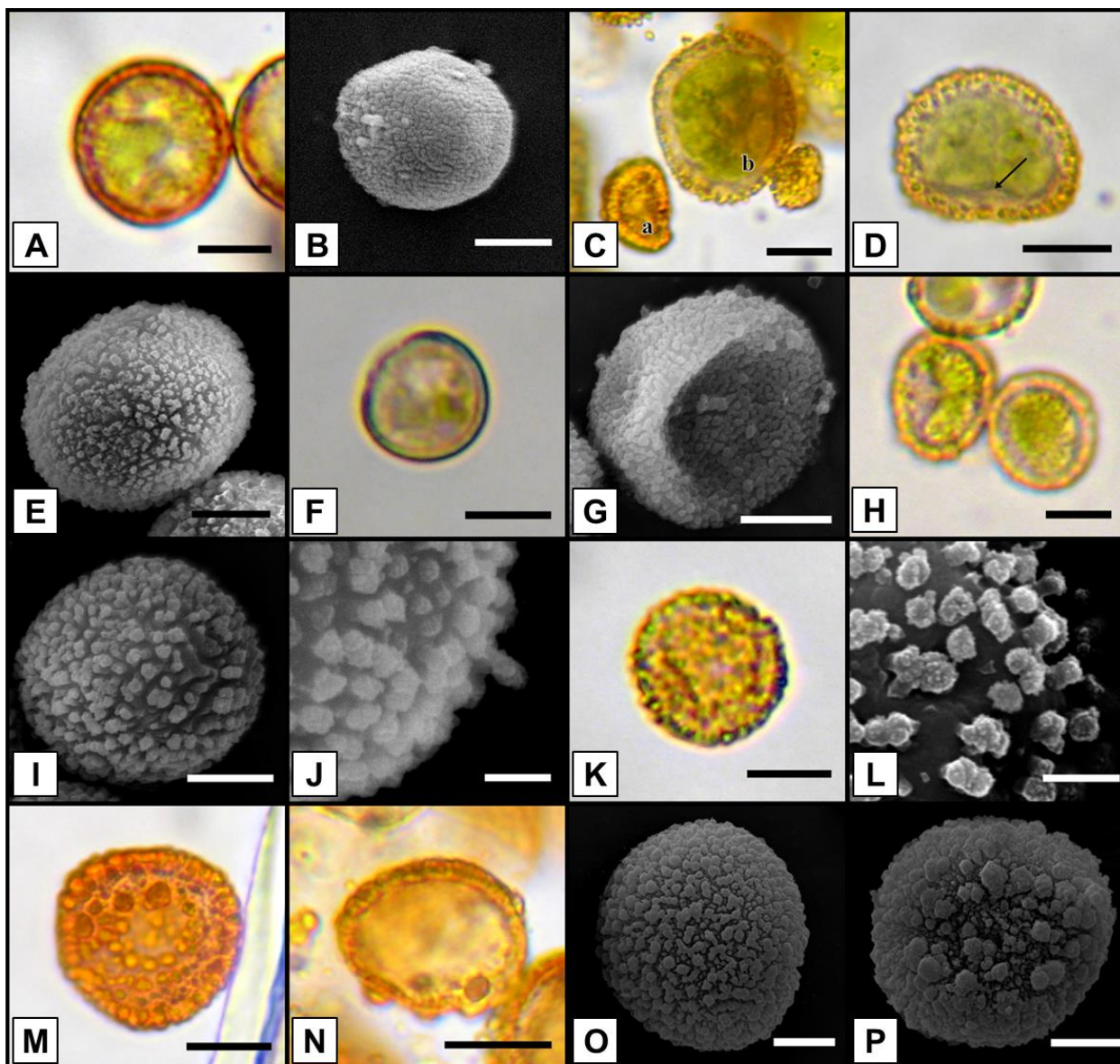


Figura 1 (A-P): Fotomicrografias e eletromicrografias dos esporos das espécies estudadas.

A-B. *Hyophila involuta*. A. Corte óptico (ML). B. Superfície (MEV). C-E. *Leptodontium viticulosoides*. C. Corte óptico (ML), esporo abortado em *a*, esporo viável em *b*. D. Corte óptico (ML), seta indicando o espessamento da intina no pólo proximal. E. Superfície (MEV). F-G. *Plaubelia sprengelii*. F. Corte óptico (ML). G. Superfície (MEV) com vista para o pólo proximal. H-J. *Tortella humilis*. H. Corte óptico (ML). I. Superfície (MEV). J. Detalhe da ornamentação (MEV). K-L. *Trichostomum brachydontium*. K. Superfície (ML). L. Superfície (MEV). M-P. *Weissia controversa*. M. Superfície (ML). N. Corte óptico (ML). O. Superfície (MEV) pólo distal. P. Superfície (MEV) pólo proximal. Escalas: J, L = 1µm; B = 4µm; A, F, G, H, I, J, K, O, P = 5µm; E = 8µm; C, D, M, N = 10µm. (ML: microscópio de luz, MEV: microscópio eletrônico de varredura).

Tabela 1: Dados morfométricos do diâmetro maior dos esporos acetolisados, em micrômetros.

Táxons/medidas	Diâmetro Maior				
	Xmin-Xmáx	X ± Sx	S	IC	CV%
<i>Hyophila involuta</i>	13,0-15,6	14,0±0,12	0,72	0,20	5,1
<i>Leptodontium viticulosoides</i>	13,6-33,8	22,4±0,40	4,2	0,83	18,7
<i>Plaubelia sprengelii</i>	9,1-11,7	10,8±0,12	0,83	0,24	7,9
<i>Tortella humilis</i>	11,7-14,3	12,8±0,13	0,90	0,25	7
<i>Trichostomum brachyodontium</i>	10,4-13,0	11,5±0,14	0,97	0,28	8,4
<i>Weissia controversa</i>	22,0-26,0	24,0±0,15	1,06	0,3	4,4

X_{MIN}-X_{MÁX} = valores máximos e mínimos da amostra; X = média; S_X = desvio padrão da média; S = desvio padrão da amostra; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação

Tabela 2: Dados morfométricos do diâmetro maior dos esporos não acetolisados de *Leptodontium viticulosoides*, em micrômetros.

<i>Leptodontium viticulosoides</i>	Diâmetro Maior				
	Xmin-Xmáx	X ± Sx	S	IC	CV%
Esporos com conteúdo celular	20,8-33,8	25,4±0,53	2,93	1,09	11,5
Esporos sem conteúdo celular	13,0-20,8	17,5±0,36	1,95	0,73	11,1

X_{MIN}-X_{MÁX} = valores máximos e mínimos da amostra; X = média; S_X = desvio padrão da média; S = desvio padrão da amostra; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação

Observando-se o *box-plot* (Figura 2), é possível perceber que as espécies *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachyodontium* possuem discreta variação do tamanho dos esporos. *W. controversa* se destacou por apresentar esporos de tamanho maior e um valor de coeficiente de variação pequeno quando comparado as demais espécies, o que indica uma uniformidade no tamanho dos esporos. *L. viticulosoides* apresentou grande amplitude na distribuição de tamanho dos esporos, variando entre 13 e 33,8µm.

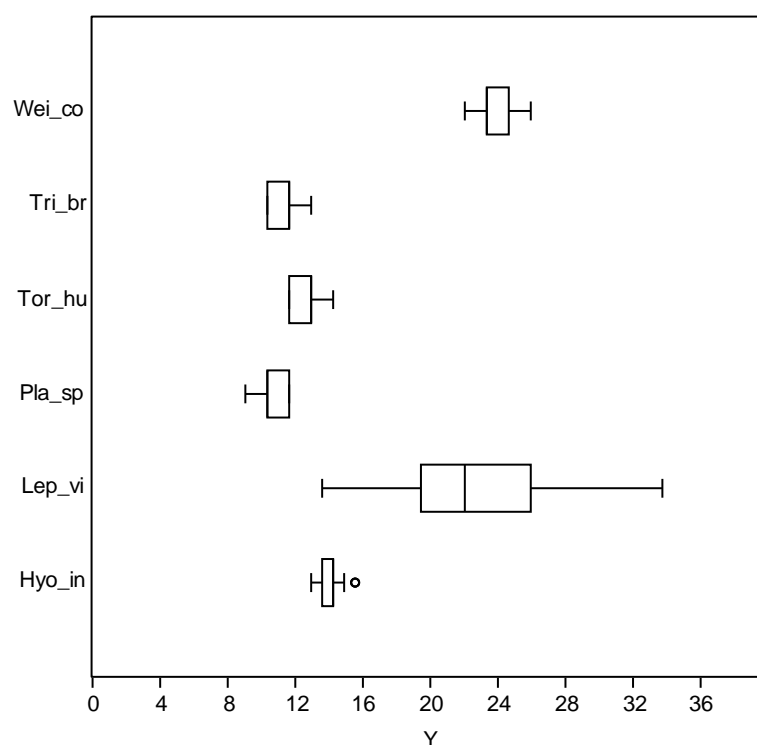


Figura 2: *Box-plot* apresentando as medidas de tamanho dos esporos para as seis espécies de Pottiaceae analisadas.

Legenda: Wei_co: *Weissia controversa*; Tri_br: *Trichostomum brachydontium*; Tor_hu: *Tortella humilis*; Pla_sp: *Plaubelia sprengelii*; Lep_vi: *Leptodontium viticulosoides*; Hyo_in: *Hophila involuta*.

Os gráficos de linha apresentados (Figura 3) mostram uma distribuição de tamanho dos esporos unimodal para as espécies *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis*, *T. brachydontium* e *W. controversa*. A distribuição das frequências de tamanho dos esporos de *L. viticulosoides* se diferencia das demais espécies apresentando três picos no gráfico, o que confirma a grande heterogeneidade de tamanho dos esporos de *L. viticulosoides* em uma mesma amostra.

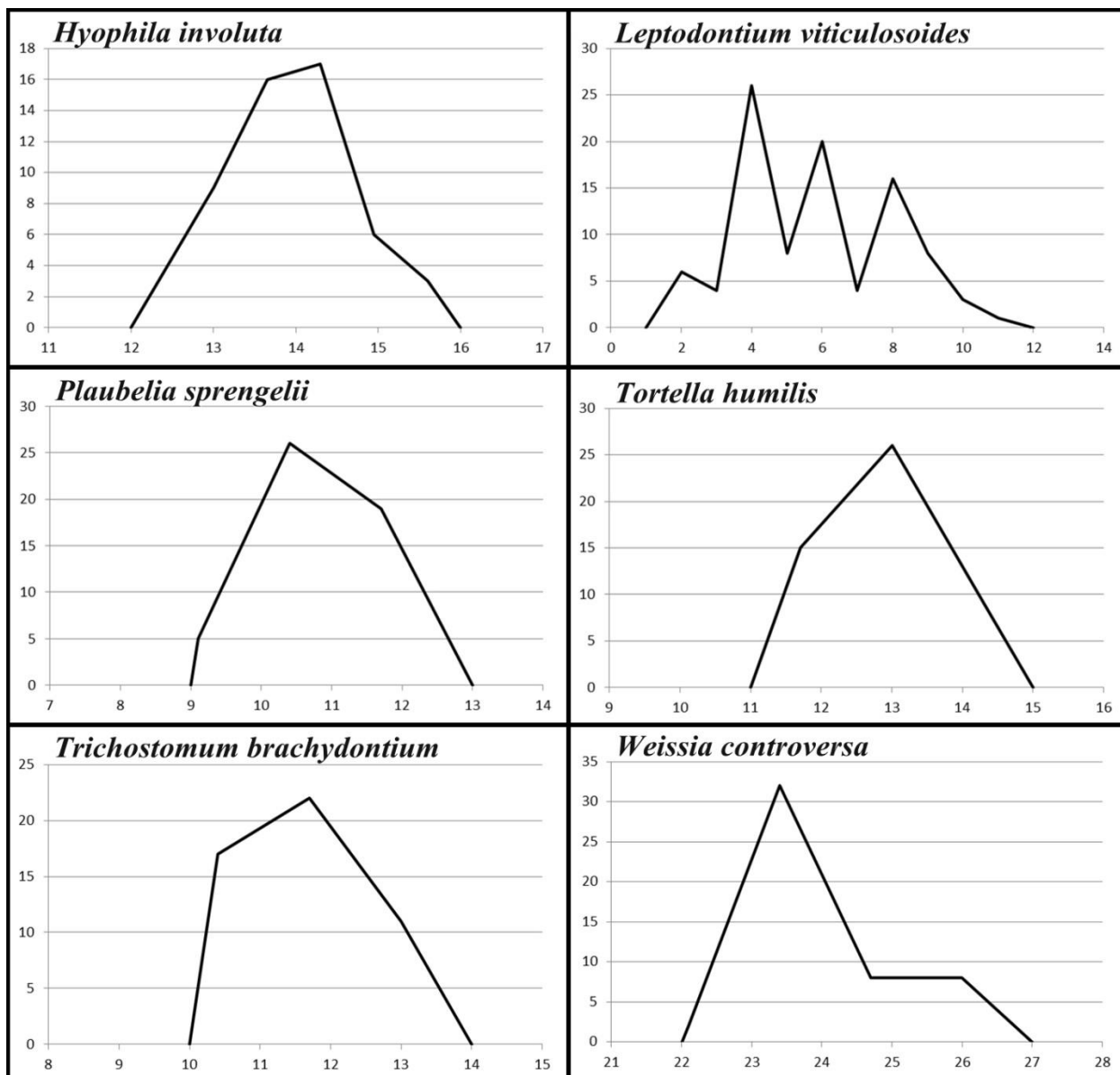


Figura 3: Gráficos de linha representando a distribuição de tamanho dos esporos das seis espécies de Pottiaceae estudadas.

DISCUSSÃO

As características palinológicas estudadas, como tamanho dos esporos e ornamentação da perina, permitem a distinção entre as espécies estudadas, podendo ser utilizadas como uma importante ferramenta na taxonomia da família.

A partir dos resultados obtidos, nota-se que à exceção de *L. viticulosoides*, as espécies estudadas apresentam esporos com distribuição de frequência de tamanho unimodal. As

médias de tamanho dos esporos de *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachydontium* muito próximas, ao contrário de *W. controversa*, que se destacou pelo tamanho maior dos esporos. No caso de *L. viticulosoides*, a distribuição de frequência de tamanho dos esporos não é unimodal, evidenciando a condição anisomórfica dos esporos desta espécie.

L. viticulosoides apresentou uma grande amplitude de distribuição do tamanho dos esporos que, em conjunto com a distribuição não unimodal de tamanho dos mesmos e o alto valor do coeficiente de variação encontrado indicam a heterogeneidade do tamanho dos esporos nesta espécie e uma condição atípica em relação às demais espécies de Pottiaceae estudadas. Essas características são explicadas pela presença de mais de uma classe de tamanho de esporos na mesma cápsula, sendo pelo menos uma destas classes composta por esporos abortados, que apresentam tamanho menor do que os esporos considerados viáveis. Os esporos abortados apresentam tamanho em diâmetro maior variando entre 13,6 e 20,8µm, enquanto os esporos viáveis apresentaram tamanho em diâmetro maior variando entre 20,8 e 33,8µm.

Este resultado confirma a indicação de Zander (1993) sobre a condição de falsa anisosporia apresentada pela espécie. Os três picos de tamanho dos esporos de *L. viticulosoides* e a falta de padrão na taxa de ocorrência dos esporos abortados em relação aos esporos viáveis confirmam que esta espécie apresenta falsa anisosporia, sendo esta do tipo combisporia segundo a definição de Mogensen (1981).

W. controversa apresentou esporos que se diferenciam dos demais pela coloração marrom e pela presença de elementos de ornamentação grandes e arredondados que se destacam na parede dos esporos. O tamanho dos esporos dessa espécie também é um fator que a diferencia das demais, sendo eles maiores e com tamanho mais uniforme do que os esporos das demais espécies, tendo apresentado o menor coeficiente de variação dentre todas as espécies estudadas.

Os esporos de *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachydontium* apresentam tamanho muito próximo, de forma que esta característica não pode ser utilizada para separá-las. A coloração e ornamentação dos esporos, por sua vez, são variáveis e permitem a sua diferenciação. Os esporos de *H. involuta* e *T. humilis* são esverdeados, sendo que a primeira apresenta ornamentação granulada, enquanto a segunda apresenta ornamentação baculada. Os

esporos de *P. sprengelii* e *T. brachydontium* possuem coloração amarronzada e ornamentação granulada. Entretanto, os grânulos que compõem a ornamentação de *P. sprengelii* são muito pequenos de forma que os esporos aparentam ser psilados quando visualizados sob microscópio de luz. Já os grânulos apresentados em *T. brachydontium* são maiores e podem ser visualizados em observação sob microscópio de luz.

Os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo com os resultados de Savaroglu & Erkara (2008), que descreveram para as cinco espécies de Pottiaceae do gênero *Syntrichia* estudadas, esporos pequenos (< 25 µm), com ornamentação granulada a baculada, podendo ser esparsa ou densa na superfície do esporo. Os esporos de *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis* e *T. brachydontium* possuem o mesmo padrão de ornamentação descrito pelas autoras. Os esporos de *W. controversa* e *L. viticulosoides* não se enquadram neste mesmo padrão, já que possuem tamanho pequeno a médio, sendo que alguns são maiores do que 25 µm.

A coloração dos esporos, quando observados sob microscópio de luz, pode variar entre verde e marrom e isto está relacionado à espessura da parede, como também foi reportado por Alfayate *et al.* (2013).

CONCLUSÕES

As diferenças observadas entre os esporos das espécies estudadas mostram que o tamanho dos esporos, ornamentação e espessura do esporoderma variam entre as espécies da família Pottiaceae.

Para realizar o estudo palinológico de espécies da família Pottiaceae, e descrever a ornamentação do esporoderma, é necessário observar os esporos sob microscópio eletrônico de varredura devido ao tamanho diminuto dos mesmos, que dificulta a visualização da ornamentação sob microscópio de luz.

L. viticulosoides apresenta esporos abortados que diferem dos esporos viáveis quanto à morfologia e ao tamanho. A distribuição de frequência de tamanho dos esporos desta espécie não é unimodal, sendo a proporção entre esporos abortados e viáveis variável nas amostras

que caracteriza a espécie como possuindo esporos anisomórficos, em uma condição de combisporia.

Os processos de ornamentação soldados observados em *W. controversa* não foram previamente descritos para espécies de Pottiaceae na literatura consultada.

A riqueza de informações observada no estudo palinológico de Pottiaceae aqui desenvolvido demonstra sua relevância para a diferenciação morfológica das espécies e, consequentemente, para a taxonomia da família.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFAYATE, C.; RON, E.; ESTÉBANEZ, B.; PÉREZ-BATISTA, M. A. Mature spores of four pleurocarpous mosses in the Canary Islands: ultrastructure and early germination stages. **The Bryologist**, v. 116, n. 2, p. 97-112, 2013.

BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Ultrastructure of Sporogenesis in a Moss, *Ditrichum pallidum*. III. Spore Wall Formation. **American Journal of Botany**, v. 67, n. 6, p. 918-934, Jul. 1980.

BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Spore Wall Development in *Andreaea* (Musci: Andreaeopsida). **American Journal of Botany**, v. 71, n. 3, p. 412-420, Mar. 1984.

BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Sporogenesis in Bryophytes. **Advances in Bryology**, v. 3, p. 159-223, 1988.

BUCK, W. R.; GOFFINET, B. Morphology and classification of mosses. In: SHAW, A. J.; GOFFINET, B. (Org.) **Bryophyte Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. P. 71-123.

CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasil. Bot.**, v. 29, n. 2, p. 301-307, 2006.

CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 32, n. 2, p. 299-306, 2009.

CALDEIRA, I. C.; LUIZI-PONZO, A. P.; ESTEVES, V. G. L. Palynology of selected species of *Fissidens* Hedw. (Bryophyta). **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, p. 187-195, 2013.

CARRIÓN, J. S., GUERRA, J. & ROS, R. M. Spore morphology of the European species of *Phascum* Hedw. (Pottiaceae, Musci). **Nova Hedwigia**, v. 51, n. 3/4, p. 411-433, 1990.

CLARKE, G. C. S. Spore Morphology and Bryophyte Systematics. In: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. **Systematic Association Special Volume n. 14, "Bryophyte Systematics"**. London and New York: Academic Press, 1979. p. 231-250.

COSTA, D.P., PÔRTO, K.C., LUIZI-PONZO, A.P., ILKIU-BORGES, A.L., BASTOS, C.J.P., CÂMARA, P.E., PERALTA, D.F., BOAS-BASTOS, S.V., IMBASSAHY, C.A.A., HENRIQUES, D.K., GOMES, H.C.S., ROCHA, L.M., SANTOS, N.D., SILVIERO, T.S., VAZ-IMBASSAHY, T.F., CHURCHILL, S. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. **Nova Hedwigia** v. 93, p. 277-334, 2011.

CRANDALL-STOTLER, B. J.; BARTHOLOMEW-BEGAN, S. E. Morphology of mosses (Phylum Bryophyta). In: Flora of North America Editorial Committee (eds.). **Flora of North America North of Mexico**. New York & Oxford, 2007 v. 27, p. 3-13.

ERDTMAN, G. **Pollen and spore morphology/plant taxonomy - Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (Illustrations) (An introduction to palynology. II)**. Estocolmo: Almqvist & Wiksell/Gebers Förlag AB, 1957. 151p.

ERDTMAN, G. The acetolysis method. A revised description. **Svensk Botanisk Tidskrift**. v. 39, p. 561-564, 1960.

ESTÉBANEZ, B.; ALFAYATE, C.; RON. E. Observations on spore ultrastructure in six species of *Grimmia* (Bryopsida). **Grana**, v. 36, p. 347-357, 1997.

GRADSTEIN, S. R.; CHURCHILL, S. P.; SALAZAR-ALLEN, N. **Guide to the Bryophytes of Tropical America**. New York: The New York Botanical Garden Press, 2001. 577 p. ISBN 0-89327-435-6.

LUIZI-PONZO, A. P. **Palinotaxonomia de Orthotrichaceae Fleisch. (Bryales-Bryophyta) do Brasil**. 2001. 217f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia e ultraestrutura de esporos de musgos: interpretando estratégias e relações evolutivas. In: MESA REDONDA: BRIÓFITAS, 2012, Joinville. **Anais...** Joinville: 63 Congresso Nacional de Botânica, 2012. p. 20-27.

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Bruchiaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 37, p. 222-227, 1998.

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 38, n.1, p. 42-49, 1999.

LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. **Cryptogamie Bryologie**, v. 27, p. 413-420, 2006a.

LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Palinotaxonomia de Rhachithecaceae (Bryophyta) do Brasil. **Boletim do Instituto de Botânica**, n. 18, p. 91-99, 2006b.

- MCCLYMONT, J. W.; LARSON, D. A. An electron-microscope study of spore wall structure in the Musci. **American Journal of Botany**, v. 51, p. 195-200, 1964.
- MOGENSEN, G. S. Spore development and germination in *Cinclidium* (Mniaceae, Bryophyta), with special reference to spore mortality and false anisospory. **Can. J. Bot.** v. 56, p. 1032-1060, 1978.
- MOGENSEN, G. S. The Biological Significance of Morphological Characters in Bryophytes: The Spore. **The Bryologist**, v. 84, n. 2, p. 187-207, 1981.
- MUELLER, D. M. J. Spore Wall Formation and Chloroplast Development During Sporogenesis in the Moss *Fissidens limbatus*. **American Journal of Botany**, v. 61, n. 5, p. 525-534, Maio/Jun. 1974.
- NEIDHART, H. B. Comparative studies of sporogenesis in bryophytes. In: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. (Org.) **Bryophyte Systematics**. London: Academic Press, 1979. p. 251-280.
- OLESEN, P & MOGENSEN, G. S. Ultrastructure, Histochemistry and Notes on Germination Stages of Spores in Selected Mosses. **The Bryologist**, v. 81, n. 4, p. 493-516, 1978.
- PUNT, W., NILSON, S., BLACKMORE, S.; LE THOMAS, A. Glossary of pollen and spore terminology. **Review of Palaeobotany and Palynology**. v. 143, p. 1-81, 2007.
- RAMSAY, H. P. Introduction to mosses. In: **Flora of Australia**. v. 51, 2006. p. 20-57.
- ROCHA, L. M.; GONÇALVES-ESTEVEES, V.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia de esporos de espécies de Polytrichaceae Schwärg. (Bryophyta) do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 537-548, 2008.
- SAVAROGLU, F.; ERKARA, I. P. Observations of spore morphology of some Pottiaceae Schimp. species (Bryophyta) in Turkey. **Plant Syst. Evol.**, v. 271, p. 93-99, 2008.
- SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. **The Moss Flora of Mexico: Part One**. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1994, v. 69. 580 p. ISBN 0-89327-379-1
- SHAW, A. J.; GOFFINET, B. **Bryophyte Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- SORSA, P.; KOPONEM, T. Spore morphology of Mniaceae Mitt. (Bryophyta) and its taxonomy significance. **Ann. Bot. Fennici**, v. 10, p. 187-200, 1973.
- VANDERPOORTEN, A. & GOFFINET, B. **Introduction to Bryophyte Biology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009. 294 p.
- WERNER, O.; ROS, R. M.; CANO, M. J.; GUERRA, J. Molecular phylogeny of Pottiaceae (Musci) based on chloroplast rps4 sequence data. **Plant Syst. Evol.** v. 243, p. 147-164, 2004.
- WODEHOUSE, R. P. **Pollen Grains. Their Structure, Identification and Significance in Science and Medicine**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1935. 574 p.

ZANDER, R. H. **Genera of the Pottiaceae: mosses of harsh environments**. Buffalo: Buffalo Society of Natural Sciences, 1993. 378 p. (Bulletin of the Buffalo Society of Natural Sciences, 32). ISBN 0-944032-51-6

ZANDER, R. H.; MISHLER, B. D.; DELGADILLO, C.; SHARP, A. J.; CRUM, H. Pottiaceae. In: SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. In: SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. **The Moss Flora of Mexico: Part One**. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1994. p. 211-386.

ZANDER, R. H. Pottiaceae Schimper. In: **Flora of North America Editorial Committee, eds. Flora of North America North of Mexico, v. 27**. New York and Oxford: Oxford University Press, 2007, p. 476-490.

Capítulo 2

Caracterização morfológica de esporos de espécies selecionadas da ordem Hypnales (Bryophyta)

RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo palinológico de oito espécies de musgos da ordem Hypnales, visando apresentar sua relevância para a caracterização das espécies estudadas. Foram selecionadas para o estudo, espécies que possuem grande representatividade na flora de briófitas de Minas Gerais, sendo elas *Entodontopsis nitens* (Stereophyllaceae); *Fabronia ciliaris* (Fabroniaceae); *Chyso-hypnum diminutivum* e *Rhacopilopsis trinitensis* (Hypnaceae); *Isopterygium tenerifolium* e *Isopterygium tenerum* (Pylaisiadelphaceae); *Donnellia commutata* e *Sematophyllum galipense* (Sematophyllaceae). Os esporos foram observados sob microscópio de luz antes e após acetólise, e sob microscópio eletrônico de varredura. Os esporos das espécies da ordem Hypnales estudados apresentaram três tipos de ornamentação distintos, que corroboram dados encontrados em trabalhos em Palinologia de outras espécies da ordem. O padrão de ornamentação representado por grânulos formados pela associação de nanogrânulos apresentou-se como o mais comum para a ornamentação da perina. Os resultados obtidos acrescentam dados importantes na Palinologia de Hypnales, permitindo a inclusão de informações sobre a morfologia dos esporos, em especial, tamanho e coloração, na caracterização taxonômica das espécies.

Palavras-chaves: Fabroniaceae, Hypnaceae, musgos, Palinologia, Pylaisiadelphaceae, Sematophyllaceae, Stereophyllaceae.

ABSTRACT

This paper presents the palynological study of eight species of mosses of Hypnales in order to show their relevance to the characterization of the studied species. The selected species are largely represented in the bryophytes flora of Minas Gerais state. They are: *Entodontopsis nitens* (Stereophyllaceae); *Fabronia ciliaris* (Fabroniaceae); *Chyso-hypnum diminutivum* and *Rhacopilopsis trinitensis* (Hypnaceae); *Isopterygium tenerifolium* and *Isopterygium tenerum* (Pylaisiadelphaceae); *Donnellia commutata* and *Sematophyllum galipense* (Sematophyllaceae). The spores were observed under light microscope, untreated and submitted to the acetolysis method, and under scanning electron microscope. The spores of the studied species have shown three different types of ornamentation, which corroborate data found in other studies in Palynology of Hypnales. The ornamentation pattern represented by granules formed by the association of nanogranules was the most common for the ornamentation of perine. The results add important Palynology data in Hypnales and allow the inclusion of the morphology of the spores, specially size and color, to the taxonomic characterization of the species.

Key words: Fabroniaceae, Hypnaceae, mosses, Palynology, Pylaisiadelphaceae, Sematophyllaceae, Stereophyllaceae.

INTRODUÇÃO

A ordem Hypnales (M. Fleisch.) W. R. Buck & Vitt está inserida na divisão Bryophyta e compreende mais da metade dos musgos pleurocárpicos (MERGET & WOLF, 2010), incluindo um total de 42 famílias botânicas (GOFFINET *et al.*, 2009). As plantas pertencentes a essa ordem são caracterizadas pela presença de ramos laterais saindo diretamente do caulídio e pelo periquécio localizado em inovações laterais no eixo principal, o que caracteriza as plantas pleurocárpicas (LA FARGE-ENGLAND, 1996).

As espécies de Hypnales são representativas em áreas tropicais, em especial nas áreas que apresentam altitudes mais elevadas (RODRIGUES *et al.*, 2011), tais como as serras mineiras. São referidas para o estado de Minas Gerais 133 espécies da ordem Hypnales, distribuídas em 25 famílias, sendo Sematophyllaceae Broth. a mais representativa, com 22 espécies (FLORA DO BRASIL, 2013).

A classificação de Hypnales, assim como nos demais táxons de musgos, baseia-se, principalmente, em características do esporófito e à posição do periquécio (GOFFINET *et al.*, 2009). Dados de filogenia, obtidos a partir de estudos recentes em biologia molecular, assim como dados palinológicos podem acrescentar informações importantes para a sistemática das espécies de musgos (CLARKE, 1979; CARRIÓN *et al.*, 1990; ESTÉBANEZ *et al.*, 1997; LUIZI-PONZO & BARTH, 1998, 1999; LUIZI-PONZO & MELHEM, 2006a, 2006b; MERGET & WOLF, 2010). Porém, ainda é rara a inclusão de dados palinológicos para diferenciar as espécies.

Em estudos realizados em Palinologia da ordem Hypnales, a morfologia dos esporos de algumas espécies já foi descrita. Erdtman (1957) realizou o estudo palinológico de quatro espécies da ordem Hypnales, encontrando nos esporos estudados, ornamentação formada por grânulos ou pilos, sendo esses grânulos pequenos e uniformes ou variando entre grânulos pequenos e grandes no mesmo esporo, como no caso da espécie *Isothecium myosuroides* Brid.

Luizi-Ponzo *et al.* (1997) estudaram os esporos de sete espécies de musgos, incluindo as duas espécies pertencentes a ordem Hypnales, *Sematophyllum subsimplex* (Hedw.) Mitt. e *Trichosteleum guianae* (Müll. Hal.) Broth. (atualmente, *Trichosteleum papillosum* (Hornsch.) A. Jaeger, TROPICOS, 2014). As duas espécies apresentaram esporos pequenos (<25µm),

heteropolares, com a ornamentação formada por grânulos. A semelhança entre os esporos dos dois gêneros não permitiu o uso dos dados palinológicos para separar as espécies.

Caldeira *et al.* (2009) estudaram os esporos de sete espécies de musgos de Hypnales, sendo seis da família Sematophyllaceae e uma da família Pylaisiadelphaceae Goffinet & W.R. Buck. As autoras realizaram a descrição palinológica das espécies estudadas, encontrando diferenças no tamanho e ornamentação dos esporos. O tamanho dos esporos estudados variou de pequeno a médio e a ornamentação observada nos diferentes esporos foi granulada, variando entre grânulos individuais e isolados ou formados pela associação de nanogrânulos. Estas diferenças encontradas permitiram a separação das espécies estudadas.

Alfayate *et al.* (2013) estudaram a morfologia e ultraestrutura dos esporos de quatro espécies de Hypnales, pertencentes às famílias Neckeraceae Shimp. e Leucodontaceae Schimp. As espécies estudadas pelos autores apresentaram esporos isomórficos ou anisomórficos e com tamanho variando de pequeno a grande. Os esporos de todas as espécies apresentaram coloração esverdeada, o que segundo os autores se deve à espessura fina do esporoderma, que permite a visualização dos plastídeos no interior do esporo. O primeiro tipo de ornamentação descrito pelos autores consiste em ornamentação papilosa, termo não comumente utilizado em Palinologia e deve ser entendido como granulada. Para o segundo tipo de ornamentação, os autores denominaram os elementos da perina de grânulos ou verrugas agregadas, o que deve ser entendido, de acordo com a terminologia palinológica (PUNT *et al.*, 2007), como grânulos formados pela associação de grânulos menores.

Os estudos em Palinologia de espécies de Hypnales já realizados indicam a possibilidade de utilização dos esporos como um caráter taxonômico da ordem e a necessidade da realização mais estudos na área para incrementar os dados já existentes. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo palinológico de oito espécies selecionadas de Hypnales que ocorrem no estado de Minas Gerais. As oito espécies foram selecionadas, levando-se em conta a sua representatividade na flora de musgos do estado, segundo Siviero (2010), Machado (2011), Paiva (2012) e Amorim (2013).

MATERIAL E MÉTODOS

O material botânico foi obtido a partir da coleção do Herbário Professor Leopoldo Krieger (CESJ) da Universidade Federal de Juiz de Fora. Foram selecionadas para a pesquisa, oito espécies da ordem Hypnales, inseridas em quatro famílias, sendo elas: *Entodontopsis nitens* (Mitt.) W. R. Buck & Ireland (Stereophyllaceae W. R. Buck & Ireland); *Fabronia ciliaris* (Brid.) Brid. (Fabroniaceae Schimp.); *Chyso-hypnum diminutivum* (Hampe) W.R. Buck e *Rhacopilopsis trinitensis* (Müll. Hal.) E. Britton & Dixon (Hypnaceae Schimp.); *Isopterygium tenerifolium* Mitt. e *Isopterygium tenerum* (SW.) Mitt. (Pylaisiadelphaceae Goffinet & W. R. Buck); *Donnellia commutata* (Müll. Hal.) W. R. Buck e *Sematophyllum galipense* (Müll. Hal.) Mitt. (Sematophyllaceae Broth.).

Para o estudo palinológico, os esporos foram observados sob microscópio de luz (ML), antes e após acetólise, utilizando-se, para tal procedimento, a metodologia estabelecida por Erdtman (1960), com alterações de Luiz-Ponzo e Melhem (2006a) para esporos de briófitas. A partir do material acetolisado, foram tomadas as medidas do diâmetro maior de 50 esporos em vista polar, tomados aleatoriamente em três lâminas e, 30 esporos, em vista equatorial para as medidas de eixo polar (P) e eixo equatorial (E).

Após a realização de todas as medidas, os dados obtidos foram submetidos ao tratamento estatístico. Foram calculados a média aritmética (\bar{X}), desvio padrão da amostra (S), desvio padrão da média ($S_{\bar{X}}$), coeficiente de variação (CV), intervalo de confiança (IC) a 95% e apresentados os valores máximos e mínimos obtidos ($X_{MÁX}$ e $X_{MÍN}$) e apresentadas em uma tabela. Para visualização comparativa das medidas dos esporos, foi elaborado um gráfico *box-plot*, com as medidas de diâmetro maior obtidas.

As análises sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (NMM – UFV). Para a realização de tais análises, os esporos foram fixados em solução de glutaraldeído e pós-fixados em solução de tetróxido de ósmio. Depois, o material foi levado ao secador de ponto crítico (CPD) e os esporos foram dispersos sobre os suportes para microscopia eletrônica cobertos com fita de carbono dupla face, e finalmente, submetidos ao metalizador para receber uma camada de 20nm de ouro. Os esporos foram então observados sob microscópio eletrônico de varredura, sendo as eletromicrografias capturadas ao longo das observações.

Após as análises, os esporos foram descritos utilizando-se a nomenclatura palinológica de Punt *et al.* (2007), com adaptações para briófitas de Luiz-Ponzo e Barth (1998). Uma tabela foi então elaborada, resumindo-se os dados palinológicos, tipo de ornamentação e tamanho dos esporos, das espécies da ordem Hypnales estudadas no presente trabalho.

RESULTADOS

A análise dos esporos sob ML e MEV permitiram uma análise detalhada da morfologia dos mesmos. Sob ML, foram observados a forma e âmbito dos esporos, presença de conteúdo celular, coloração e espessura da intina. No entanto, devido ao tamanho reduzido dos esporos estudados, a observação sob ML mostrou-se insuficiente para descrever a ornamentação da perina. Para tal, foi necessário submeter o material a uma análise sob MEV, a partir da qual foi possível observar com detalhes a morfologia da parede.

As oito espécies da ordem Hypnales estudadas apresentam esporos de tamanho pequeno a médio (<25µm) segundo a classificação de Erdman (1960), heteropolares, com esporoderma formado por intina, exina e perina. A ornamentação observada em todas as espécies estudadas é granulada, apresentando, entretanto, variações no tamanho (Figura 1) e na disposição dos grânulos, de forma que três padrões distintos foram observados.

Em *Entodontopsis nitens* (Figura 1- A, B) a ornamentação é granulada, composta por grânulos de tamanho variável e distribuídos esparsamente na superfície do esporo, aqui indicada como ornamentação do tipo 1. Os esporos possuem tamanho pequeno a médio (Tabela 1), apresentando coloração amarronzada e âmbito circular. Foram observados alguns esporos abortados nas amostras estudadas.

Donnelia commutata (Figura 1- C, D) e *Fabronia ciliaris* (Figura 1- E, G) apresentam elementos de ornamentação com tamanho relativamente uniforme, semelhantes a pilos ou gemas, arredondados, com a base estreitada, ornamentação aqui indicada como tipo 2 (Figura 1- G). Os elementos de ornamentação destas espécies apresentam tamanho inferior a 1µm, o que os caracteriza como grânulos, não podendo ser chamados de gemas ou pilos apesar da forma apresentada (PUNT *et al.*, 2007).

Os esporos de *Donnelia commutata* apresentam tamanho pequeno (Tabela 1), coloração amarronzada e âmbito circular. Os elementos da ornamentação distribuem-se densamente na superfície do esporo e cobrem a exina por completo. Foram observados alguns esporos abortados nas amostras estudadas.

Fabronia ciliaris apresenta esporos pequenos a médios (Tabela 1), com coloração amarronzada e âmbito circular. Os grânulos da perina estão distribuídos de forma esparsa e irregular na superfície de parede, permitindo a visualização da exina. Não foram observados esporos abortados nas amostras estudadas.

Os esporos de *D. commutata* e *F. ciliaris* podem ser diferenciados pela densidade da distribuição dos elementos de ornamentação no esporoderma e pelo tamanho do esporo. *D. commutata* apresenta esporos de tamanho menor, medindo entre 15,6 e 22,7 μ m (Tabela 1) e elementos de ornamentação densamente distribuídos na superfície do esporo. Já os esporos de *F. ciliaris* apresentam tamanho maior, variando de 20,1 a 29,9 μ m (Tabela 1), e elementos de ornamentação distribuídos de forma irregular e esparsa na superfície dos esporos.

Grânulos de tamanho variável, formados pela associação de nanogrânulos foi o padrão de ornamentação indicado como tipo 3, observado nas espécies *Chryso-hypnum diminutivum*, *Isopterygium tenerifolium*, *Isopterygium tenerum*, *Rhacopilosis trinitensis* e *Sematophyllum galipense* (Figura 1).

Chryso-hypnum diminutivum apresenta esporos de tamanho muito pequeno a pequeno (Tabela 1), com coloração esverdeada, âmbito subcircular e ornamentação do tipo 3 (Figura 1- H, J). Os grânulos estão dispostos de maneira densa sobre a superfície do esporo, cobrindo toda a exina. Não foram observados esporos abortados nas amostras estudadas.

Os esporos de *Isopterygium tenerifolium* apresentam tamanho pequeno (Tabela 1), âmbito subcircular e coloração esverdeada. A disposição dos grânulos no esporoderma é variável de forma que a exina apresenta-se total ou parcialmente coberta (Figura 1- K, L). Foram observados alguns esporos abortados nas amostras estudadas.

Isopterygium tenerum apresenta esporos de tamanho muito pequeno a pequeno (Tabela 1), com coloração esverdeada e âmbito subcircular. Os elementos da ornamentação

distribuem-se de maneira uniforme pela superfície do esporo, mantendo visível parte da exina (Figura 1- M-O). Foram observados alguns esporos abortados nas amostras estudadas.

Rhacopilopsis trinitensis possui esporos pequenos (Tabela 1), com coloração esverdeada e âmbito subcircular. Os grânulos da ornamentação possuem tamanho variável e se distribuem de maneira uniforme por toda a superfície do esporo, mantendo a exina visível (Figura 1- P, R). Não foram visualizados esporos abortados nas amostras estudadas.

Os esporos da espécie *Sematophyllum galipense* apresentam coloração esverdeada e com âmbito circular. A ornamentação foi caracterizada por grânulos distribuídos densamente sobre a exina, não cobrindo, no entanto, sua superfície de forma completa (Figura 1- S, T). Não foram observados esporos abortados nas amostras.

Material examinado:

Chryso-hypnum diminutivum: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago dos Manacás, 22/X/2009, Machado 178 (CESJ), Baldini;; Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 16/VI/2011, Paiva 285, Luiz-Ponzo (CESJ).

Donnellia commutata: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, IX/2007, Rocha s/n (CESJ).

Entodontopsis nitens: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 16/VI/2001, Paiva 252, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 16/VI/2001, Paiva 267, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF; 1/IV/2011, Paiva 206, Amorim (CESJ).

Fabronia ciliaris: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, IX/2007, Rocha s/n (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque Halfeld, 19/VII/2010, Machado 662 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 26/X/2009, Machado 79, Luiz-Ponzo (CESJ).

Isopterygium tenerifolium: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata da FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 714 (CESJ), Luiz-Ponzo; Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata da FAEFID, 5/VIII/2010,

Machado 748, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago dos Manacás, 22/X/2009, Machado 187, Baldini (CESJ).

Isopterygium tenerum: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago dos Manacás, 22/X/2009, Machado 196, Baldini (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata da FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 700, Luiz-Ponzo; Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora Paiva 150, Silva (CESJ).

Rhacopilopsis trinitensis: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 20/I/2011, Paiva 110 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 16/VI/2011, Paiva 268, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Jardim Botânico da UFJF, 16/VI/2011, Paiva 314, Luiz-Ponzo (CESJ).

Sematophllum galipense: Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 11/II/2010, Machado 310, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 13/VII/2010, Machado 607, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 13/VII/2010, Machado 610, Luiz-Ponzo (CESJ).

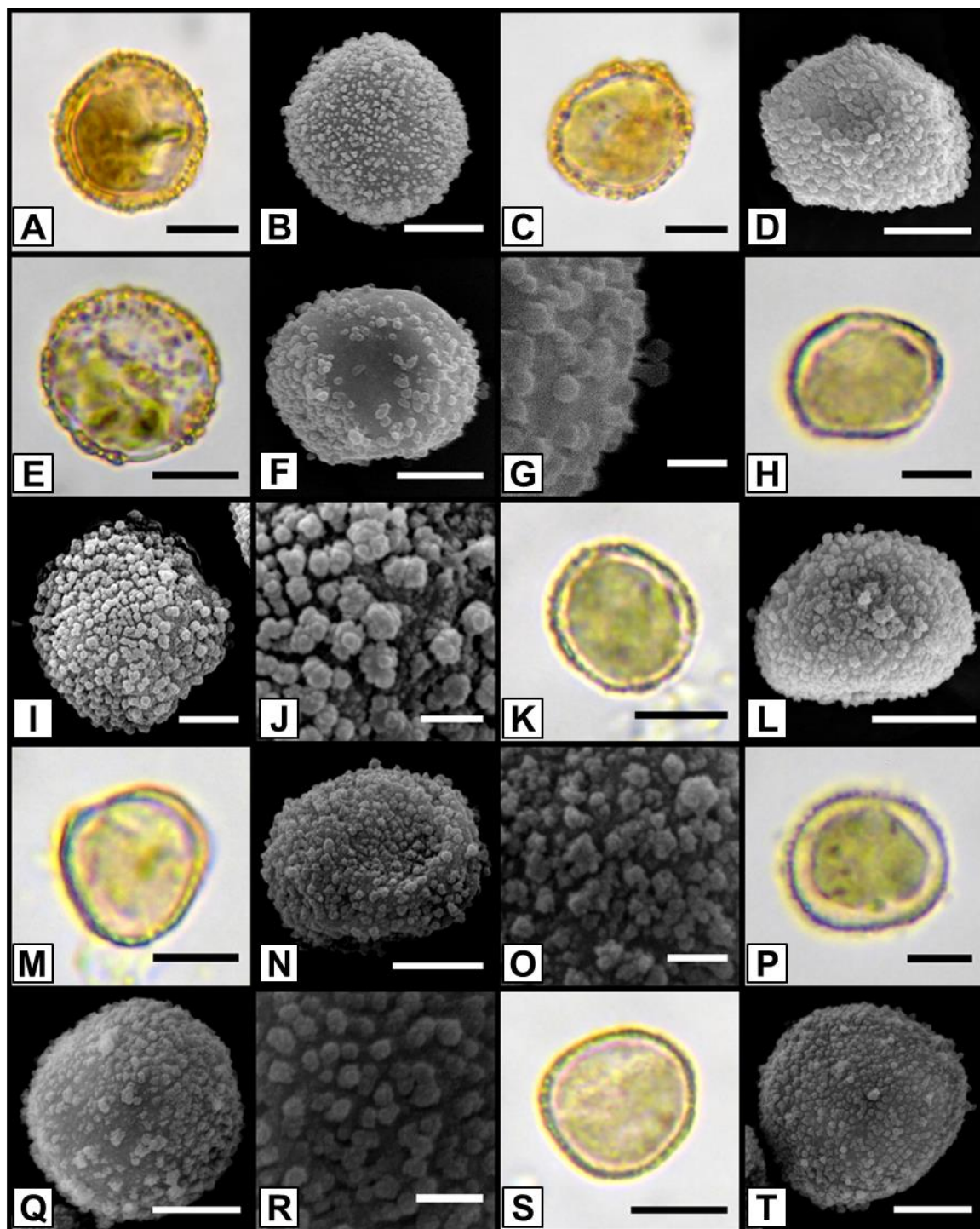


Figura 1 (A-T): Fotomicrografias e eletromicrografias dos esporos das espécies estudadas.

A-B. *Entodontopsis nitens*. A. Corte óptico (ML). B. Superfície (MEV). C-D. *Donnellia commutata*. C. Corte óptico (ML). D. Superfície (MEV). E-G. *Fabronia ciliaris*. E. Corte óptico (ML). F. Superfície (MEV). G. Detalhe da ornamentação (MEV). H-J. *Chryso-hyphnum diminutivum*. H. Corte óptico (ML). I. Superfície (MEV). J. Detalhe da ornamentação (MEV). K-L. *Isopterygium tenerifolium*. K. Corte óptico (ML). L. Superfície (MEV). M-O. *Isopterygium tenerum*. M. Corte óptico (ML). N. Superfície (MEV). O. Detalhe da ornamentação (MEV). P-R. *Racopilopsis trinitensis*. P. Corte óptico (ML). Q. Superfície (MEV). R. Detalhe da ornamentação (MEV). S-T. *Sematophyllum galipense*. S. Corte óptico (ML). T. Superfície (MEV).

(ML). T. Superfície (MEV). Escala: J, O, R = 1µm; G = 2µm; I = 3µm; N, Q, T = 4µm; D, H, L, M, P = 5µm; B, C, E, F, K, S = 8µm; A = 10µm.

Tabela 1: Dados morfométricos do tamanho dos esporos das espécies de Hypnales estudadas, em micrômetros.

Táxons/medidas	Diâmetro Maior				
	Xmin-Xmáx	$X \pm S_x$	S	IC	CV
<i>Chryso-hypnum diminutivum</i>	9,75-12,3	11,0±0,09	0,66	0,19	6,0
<i>Donnellia commutata</i>	15,6-22,7	18,8±0,21	1,47	0,42	7,8
<i>Entodontopsis nitens</i>	20,8-28,6	24,5±0,25	1,76	0,50	7,2
<i>Fabronia ciliaris</i>	20,1-29,9	23,2±0,31	2,22	0,63	9,6
<i>Isopterygium tenerifolium</i>	13,0-17,5	14,5±0,16	1,15	0,33	7,9
<i>Isopterygium tenerum</i>	9,75-13,0	11,0±0,10	0,72	0,21	6,5
<i>Rhacopilopsis trinitensis</i>	10,4-15,6	13,2±0,19	1,38	0,39	10,4
<i>Sematophyllum galipense</i>	10,4-14,9	12,3±0,16	1,11	0,31	9,0

$X_{MIN}-X_{MÁX}$ = valores máximos e mínimos da amostra (em µm); X = média; S_x = desvio padrão da média; S = desvio padrão da amostra; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação (em %)

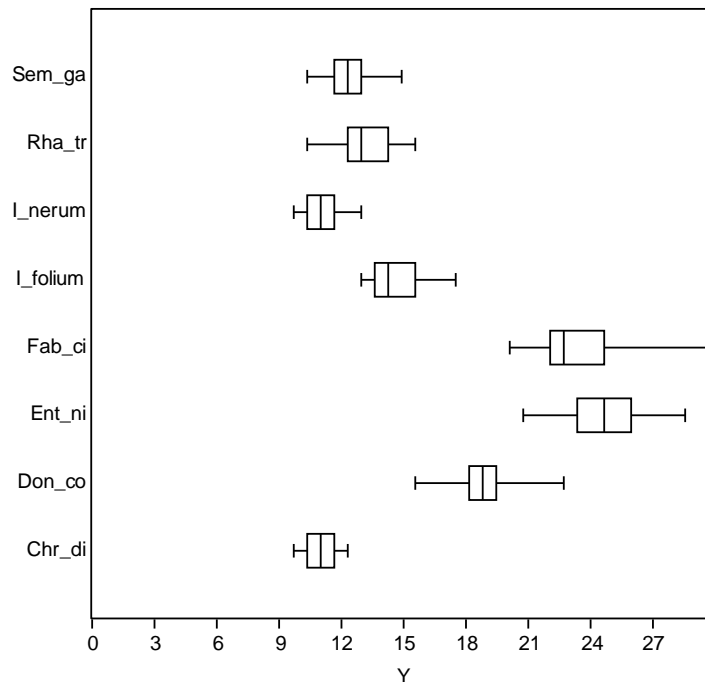


Figura 2: Gráfico *box-plot* representando as medidas de diâmetro maior (µm) das oito espécies estudadas.

Observando as medidas de diâmetro maior dos esporos estudados, no gráfico *box-plot* (Figura 2), é possível perceber que as espécies *C. diminutivum* e *I. tenerum* se sobrepõem em relação ao tamanho dos esporos. O mesmo ocorre com *S. galipense* e *R. trinitensis* e *F. ciliaris* e *E. nitens*. *D. commutata* apresenta esporos medindo entre 15,6 e 22,7µm, compartilhando valores com *I. tenerifolium*, *F. ciliaris* e *E. nitens*.

Tabela 2: Comparação entre o tamanho do diâmetro maior dos esporos e o tipo de ornamentação do esporoderma das espécies de Hypnales estudadas, de acordo com suas respectivas famílias.

Família	Espécie	$X_{MAX}-X_{MIN}$ (X) (em µm)	Tipo de ornamentação
Fabroniaceae	<i>Fabronia ciliaris</i>	20,1-29,9 (23,2)	2
Hypnaceae	<i>Chryso-hypnum diminutivum</i>	9,75-12,3 (11,0)	3
Hypnaceae	<i>Rhacopilopsis trinitensis</i>	10,4-15,6 (13,2)	3
Pylaisiadelphaceae	<i>Isopterygium tenerifolium</i>	13,0-17,5 (14,4)	3
Pylaisiadelphaceae	<i>Isopterygium tenerum</i>	9,75-13,0 (11,0)	3
Sematophyllaceae	<i>Donnellia commutata</i>	15,6-22,7 (18,8)	2
Sematophyllaceae	<i>Sematophyllum galipense</i>	10,4-14,9 (12,3)	3
Stereophyllaceae	<i>Entodontopsis nitens</i>	20,8-28,6 (24,5)	1

$X_{MIN}-X_{MAX}$ = valores máximos e mínimos da amostra; X = média

DISCUSSÃO

A estratificação do esporoderma em três camadas (intina, exina e perina) está de acordo com o padrão previamente descrito para esporos de musgos (OLESEN & MOGENSEN, 1978; NEIDHART, 1979; MOGENSEN, 1981; BROWN & LEMMON, 1984; LUIZI-PONZO & BARTH, 1998, 1999; LUIZI-PONZO & MELHEM, 2006A, 2006B; CALDEIRA *et al.*, 2006, 2009, 2013; ROCHA *et al.*, 2008, ALFAYATE *et al.* 2013).

Apesar de todos os esporos estudados terem apresentado tamanho pequeno, foram observadas variações que permitem distinguir os esporos das diferentes espécies. As diferenças de tamanho das espécies da família Sematophyllaceae apresentadas, *D. commutata* e *S. galipense*, permitem a distinção das mesmas. Os esporos de *I. tenerifolium* e *I. tenerum* também podem ser separadas de acordo com o tamanho.

Os tipos de ornamentação apresentados no presente trabalho corroboram os estudos de Erdtman (1957), Luizi-Ponzo *et al.* (1997), Caldeira *et al.* (2009) e Alfayate *et al.* (2013), apresentando semelhanças em relação aos tipos observados pelos autores em trabalhos prévios em Palinologia de Hypnales.

Luizi-Ponzo *et al.* (1997) descreveram para *Trichostomum guianae* (atualmente, *Trichosteium papillosum* (Hornsch.) A. Jaeger, TROPICOS, 2014), ornamentação granulada, que pode estar enquadrada nos padrões do tipo 1 ou tipo 2 descritos no presente estudo, de acordo com o tamanho e formato dos grânulos. Esses dois padrões de ornamentação não podem ser diferenciados sem a observação dos esporos sob MEV.

A ornamentação do tipo 3 foi descrita para espécies da família Sematophyllaceae no trabalho de Caldeira *et al.* (2009), sendo as estruturas formadas pela associação de nanogrânulos denominadas “rosetas” pelas autoras. Alfayate *et al.* (2013) também identificaram esse mesmo tipo de ornamentação para espécies da família Neckeraceae, denominando-o “agregados de grânulos”. No presente estudo, a nomenclatura seguiu a definição de Caldeira *et al.* (2009).

A predominância da ornamentação do tipo 3 em esporos de espécies de Hypnales, apresentadas aqui e na literatura (CALDEIRA *et al.*, 2009; ALFAYATE *et al.*, 2013), indica uma maior representatividade deste padrão de ornamentação (grânulos de tamanho variável, formados pela associação de grânulos menores) nos esporos da ordem. Este resultado aponta uma tendência, e indica a necessidade de realizar o estudo palinológico de outras espécies da ordem Hypnales, a fim de confirmar a prevalência do padrão de ornamentação do tipo 3 em esporos das espécies desta ordem.

As diferenças palinológicas entre as espécies estudadas demonstram que as características dos esporos podem ser incluídas na circunscrição taxonômica das espécies da ordem Hypnales. Entretanto, a dificuldade de diferenciar os tipos de ornamentação dos mesmos sob microscópio de luz, devido ao seu tamanho diminuto, sugere que tamanho e coloração dos esporos, sejam utilizados como dados complementares às demais características morfológicas das plantas.

CONCLUSÕES

Os esporos das espécies da ordem Hypnales estudadas apresentam três tipos de ornamentação distintos, que corroboram dados encontrados em outros trabalhos em Palinologia de espécies da ordem Hypnales.

O padrão de ornamentação representado por grânulos ou rosetas formados pela associação de nanogrânulos apresenta-se como padrão preferencial de ornamentação da perina nas espécies analisadas no presente estudo, confirmando o que foi observado em outros trabalhos de Palinologia da ordem Hypnales.

As diferenças observadas entre os esporos estudados não são suficientes para separar as espécies da ordem Hypnales, utilizando-se apenas caracteres palinológicos. Entretanto, os dados da morfologia dos esporos, em especial tamanho e coloração, podem ser incluídos na caracterização taxonômica das espécies e, juntamente com as características morfológicas do gametófito e do esporófito, contribuem para a separação das espécies de Hypnales.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFAYATE, C.; RON, E.; ESTÉBANEZ, B.; PÉREZ-BATISTA, M. A. Mature spores of four pleurocarpous mosses in the Canary Islands: ultrastructure and early germination stages. **The Bryologist**, v. 116, n. 2, p. 97-112, 2013.
- AMORIM, E. T. de. **Estudo florístico e ecológico das briófitas da Serra Negra (Minas Gerais) e sua relação com outras áreas do sudeste do Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Spore Wall Development in *Andreaea* (Musci: Andreaeopsida). **American Journal of Botany**, v. 71, n. 3, p. 412-420, 1984.
- CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasil. Bot.**, v. 29, n. 2, p. 301-307, 2006.
- CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 32, n. 2, p. 299-306, 2009.

- CALDEIRA, I. C.; LUIZI-PONZO, A. P.; ESTEVES, V. G. L. Palynology of selected species of *Fissidens* Hedw. (Bryophyta). **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, p. 187-195, 2013.
- CARRIÓN, J. S., GUERRA, J. & ROS, R. M. Spore morphology of the European species of *Phascum* Hedw. (Pottiaceae, Musci). **Nova Hedwigia**, v. 51, n. 3/4, p. 411-433, 1990.
- CLARKE, G. C. S. Spore Morphology and Bryophyte Systematics. In: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. **Systematic Association Special Volume n. 14, "Bryophyte Systematics"**. London and New York: Academic Press, p. 231-250, 1979.
- ERDTMAN, G. **Pollen and spore morphology/plant taxonomy - Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (Illustrations) (An introduction to palynology. II)**. Estocolmo: Almqvist & Wiksell/Gebbers Förlag AB, 1957. 151p.
- ERDTMAN, G. The acetolysis method. A revised description. **Svensk Botanisk Tidskrift**. v. 39, p. 561-564, 1960.
- ESTÉBANEZ, B.; ALFAYATE, C.; RON. E. Observations on spore ultrastructure in six species of *Grimmia* (Bryopsida). **Grana**, v. 36, p. 347-357, 1997.
- GOFFINET, B.; BUCK, W. R.; SHAW, J. Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta. In: GOFFINET, B.; SHAW, B. (Org.) **Bryophyte Biology** 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press. p. 55-138, 2009
- LA FARGE-ENGLAND, C. Growth Form, Branching Pattern, and Perichaetial Position in Mosses: Cladocarpus and Pleurocarpus Redefined. **The Bryologist**, v. 99, n. 2, p. 170-186, 1996.
- LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, O. M.; LISBOA, R. C. L. Estudos Palinológicos em Briófitas. In: P. L. LISBOA. (Org.). **Caxiuanã**. Belém: MPEG/MTC/CNPq, p. 305-318, 1997
- LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Bruchiaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 37, p. 222-227, 1998.
- LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 38, n.1, p. 42-49, 1999.
- LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. **Cryptogamie Bryologie**, v. 27, p. 413-420, 2006a.
- LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Palinotaxonomia de Rhachithecaceae (Bryophyta) do Brasil. **Boletim do Instituto de Botânica**, n. 18, p. 91-99, 2006b.
- MACHADO, P. S. **Briófitas urbanas da cidade de Juiz de Fora (MG)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- MERGET, B.; WOLF, M. A molecular phylogeny of Hypnales (Bryophyta) inferred from ITS2 sequence-structure data. **BMC Research Notes**. v. 3, n. 320, p. 1-8, 2010.

MOGENSEN, G. S. The Biological Significance of Morphological Characters in Bryophytes: The Spore. **The Bryologist**, v. 84, n. 2, p. 187-207, 1981.

NEIDHART, H. B. Comparative studies of sporogenesis in bryophytes. In: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. (Org.) **Bryophyte Systematics**. London: Academic Press, 1979. p. 251-280.

OLESEN, P & MOGENSEN, G. S. Ultrastructure, Histochemistry and Notes on Germination Stages of Spores in Selected Mosses. **The Bryologist**, v. 81, n. 4, p. 493-516, 1978.

PAIVA, L. A. de. **Musgos (Bryophyta) de um fragmento de floresta atlântica urbana do sudeste do Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

PUNT, W., NILSON, S., BLACKMORE, S.; LE THOMAS, A. Glossary of pollen and spore terminology. **Review of Palaeobotany and Palynology**. v. 143, p. 1-81, 2007.

ROCHA, L. M.; GONÇALVES-ESTEVEVES, V.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia de esporos de espécies de Polytrichaceae Schwärg. (Bryophyta) do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 537-548, 2008.

RODRIGUES, R. S.; SIVIERO, T. S.; LUIZI-PONZO, A. P. Diversidade da ordem hypnales (bryophyta) no parque estadual do ibitipoca. In: Congresso de Ecologia do Brasil, X. 2011, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: SBE, 2011. p. 1-2.

SIVIERO, T. S. **Musgos do Parque Estadual do Ibitipoca**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

Capítulo 3

Relação entre aspectos palinológicos e ecológicos em espécies selecionadas de musgos

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre a Palinologia de espécies de musgos e suas estratégias adaptativas. Para isso, os esporos de espécies selecionadas foram analisados sob microscópio de luz, antes e após acetólise, e microscópio eletrônico de varredura. Foram incluídas nas análises características palinológicas e outras referentes a estratégias adaptativas, como ocupação do substrato, posição do periquécio e forma de vida. A partir das análises foi possível observar que os dados palinológicos que apresentaram associação com as características adaptativas das espécies foram aqueles referentes à espessura do esporoderma. Espécies acrocárpicas apresentaram, em geral, parede espessa, enquanto espécies pleurocárpicas apresentaram esporos com parede fina. Foi observado, também, que espécies acrocárpicas apresentam, em geral, forma de vida relva, enquanto espécies pleurocárpicas ocorrem sob as formas de vida trama e tapete. A ocupação do substrato cimento ocorre, preferencialmente, por espécies com forma de vida relva e acrocárpicas.

Palavras-chaves: Bryophyta, esporos, estratégias adaptativas, forma de vida.

ABSTRACT

In this study, we aim to evaluate the relation between Palynology and the adaptive strategies of selected species of mosses. The spores were examined untreated and submitted to the acetolysis method, under a light microscope and under a scanning electron microscope. We have included the palynological data and features related to adaptive strategies of the species, such as occupation of substrate, life-form and the position of perichaetium in the ecological analysis. The analysis showed an association between the palynological data and the characteristics of adaptive strategies of species related to the thickness of sporoderm. Acrocarpous species showed, in general, thick wall, while pleurocarpous had spores with thin wall. It was also observed that acrocarpous species occurred in the life-form turf while pleurocarpous species occur in the life-forms mat and weft. Plants that occupy the substrate concrete are, usually, acrocarpous and commonly show life-form turf.

Key words: adaptative strategies, Bryophyta, life-form, spores.

INTRODUÇÃO

As briófitas são plantas avasculares e criptogâmicas, com alternância de gerações heteromórficas, na qual o gametófito é a fase dominante. Elas formam o segundo maior grupo de plantas terrestres e incluem musgos (Bryophyta), hepáticas (Marchantiophyta) e antóceros (Anthocerotophyta) (GRADSTEIN *et al.*, 2001; FRAHM, 2008). Dentre as características que distinguem os musgos estão o gametófito formado por filídios não divididos e organizados espiraladamente ao redor do caulídio e rizóides pluricelulares. O esporófito é formado por pé, seta e cápsula, sendo que o alongamento da seta ocorre previamente à maturação simultânea dos esporos na cápsula (BUCK & GOFFINET, 2000; GRADSTEIN *et al.*, 2001).

Os musgos, assim como as demais briófitas, apresentam reprodução sexuada caracterizada pela presença de um anterozóide flagelado que necessita de água para chegar até o gameta feminino (oosfera) e realizar a fecundação. Essa dependência da água para reprodução restringiria os musgos a locais com grande umidade e altos índices de precipitação. Entretanto, este grupo de plantas ocupa os mais diversos habitats, incluindo ambientes aquáticos, regiões desérticas e com formações de geleiras (MISHLER & OLIVER, 1991; STARK & COSTETTER, 1995; LEWIS SMITH, 1999; GLIME, 2007).

A capacidade dos musgos de se adaptarem às condições ambientais do meio em que vivem, possibilitou que essas plantas ocorressem em ambientes tão diversificados, incluindo-se aqueles favoráveis à dessecação. Estas adaptações apresentadas pelos musgos estão relacionadas a aspectos fisiológicos, morfológicos e de estratégias reprodutivas (GLIME, 2007).

Uma das adaptações morfológicas existentes é a forma de vida das espécies que, algumas vezes, é influenciada pelos substratos e ambientes em que elas ocorrem. La Farge-England (1996) redefiniu forma de vida como conjunto do padrão de ramificação e forma de crescimento de uma planta, modificados pelo seu habitat. Gimmingham & Birse (1957) associaram espécies com forma de vida tapete ou dendroide com a ocorrência em rochas, enquanto as formas de vida trama e relva alta estariam associadas a espécies que ocorrem em solo. Além das formas de vida que ocorrem preferencialmente em certos substratos, em algumas espécies de musgos, a forma de vida também pode variar de acordo com o substrato no qual a planta ocorre (GIMINGHAM & BIRSE, 1957; LA FARGE-ENGLAND, 1996).

Sendo assim, a forma de vida é uma característica dos musgos que pode variar de acordo com fatores ambientais.

A ampla distribuição das espécies de musgos e sua presença em diversas regiões do planeta, também se justificam pela sua capacidade de adaptação, sendo que algumas espécies possuem distribuição continental, ocorrendo inclusive em diferentes continentes.

Uma das estratégias que possibilitou esta ampla ocupação das espécies de musgos no ambiente terrestre, é a dispersão através da reprodução vegetativa por meio de gemas, propágulos e fragmentos de filídios ou ramos (FRAHM, 2008; GOFFINET *et al.*, 2009; FREY & KÜRSHNER, 2011). Esta estratégia reprodutiva possui grande importância na distribuição das espécies de musgos que, devido à presença de um anterozoíde flagelado, dependem da água para que ocorra a reprodução. Sendo assim, visto que para ocorrer a fecundação é necessário que as plantas femininas e masculinas estejam próximas, algumas espécies de musgos raramente são encontradas férteis, sendo que, em algumas, o esporófito nunca foi visualizado (FRAHM, 2008).

A formação de esporos durante o ciclo de reprodução sexuada também é uma importante estratégia para a ampla dispersão dos musgos. Os esporos de musgos são, na maior parte das vezes, unicelulares, esféricos, sendo tipicamente formados por três camadas no esporoderma: intina, exina e perina (MCCLYMONT & LARSON, 1964; OLESEN & MOGENSEN, 1978; NEIDHART, 1979; MOGENSEN, 1981). Seu tamanho reduzido contribui para a dispersão em longas distâncias, o que amplia a distribuição das espécies ao mesmo tempo que promove sua variabilidade genética, o que não ocorre na dispersão vegetativa.

Nos esporos de musgos, a intina, camada mais interna do esporoderma, é formada por polissacarídeos e, em algumas espécies, possui uma região mais espessa do que o restante do esporo, conhecida como abertura ou leptoma (MCCLYMONT & LARSON, 1964). A exina, camada intermediária, é formada por esporopolenina, substância que confere resistência ao esporo contra a dessecação e ao ataque de patógenos (OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1984; ARIIZUMI & TORIYAMA, 2011). A exina, quando espessa, pode diminuir a coloração verde dos esporos, mesmo quando os cloroplastos estão presentes (MOGENSEN, 1981). Alfayate *et al.* (2013) estudaram esporos de quatro espécies de musgos

pleurocárpicos, os quais apresentaram coloração verde quando visualizados em lâminas não acetolisadas. Os autores atribuíram esta coloração à parede translúcida (fina) dos esporos, que permitiu a visualização dos plastídeos. A perina, camada mais externa, é composta de pectina e esporopolenina, o que confere maior resistência ao esporo. A perina é a camada do esporoderma geralmente responsável pela ornamentação do esporo, que pode ser variável nas diferentes espécies (MOGENSEN, 1978; OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1984; BUCK & GOFFINET, 2000; GOFFINET *et al.*, 2009; VANDERPOORTEN & GOFFINET, 2009).

Os trabalhos já realizados em Palinologia de musgos incluem dados sobre esporogênese (MUELLER, 1974; NEIDHART, 1979; BROWN & LEMMON, 1980, 1984, 1988), germinação (MOGENSEN, 1978; OLESEN & MOGENSEN, 1978; BROWN & LEMMON, 1988; ALFAYATE *et al.*, 2013) e morfologia de diversas espécies de musgos (ERDTMAN, 1957; MCCLYMONT & LARSON, 1964; SORSA & KOPONEN, 1973; CARRIÓN *et al.*, 1990; ESTÉBANEZ *et al.*, 1997; LUIZI-PONZO & BARTH, 1998, 1999; LUIZI-PONZO & MELHEM, 2006a, 2006b; CALDEIRA *et al.*, 2006, 2009, 2013; ROCHA *et al.*, 2008; SAVAROGLU & ERKARA, 2008), incluindo dados que permitem a utilização dos esporos em estudos de taxonomia.

Alguns autores buscaram entender a dispersão dos esporos nos musgos e observaram que esporos que medem menos do que 25µm podem ser dispersos a distâncias mais longas, já que o tamanho diminuto faz com que eles sejam carregados mais facilmente pelo vento, principal mecanismo de dispersão de espécies de musgos (DURING, 1979; GOFFINET *et al.*, 2009; FRAHM, 2008).

Stoneburner *et al.* (1992) observou que os esporos de uma espécie da família Polytrichaceae não caem restritamente no perímetro imediato das populações, mas podem ser dispersos pelo vento, chegando a maiores distâncias. Após a dispersão, caso os esporos não germinem imediatamente, eles precisam se manter viáveis até o momento da germinação (FRAHM, 2008). Algumas adaptações dos esporos permitiram que eles mantivessem sua longevidade por mais tempo, mesmo após longos períodos de desidratação (FRAHM, 2008). Existem evidências de que em condições de seca, o número de cloroplastos no interior dos esporos diminui. A causa dessa diminuição de plastídeos não é conhecida, porém parece ser

uma condição de adaptação dos esporos às características ambientais do meio em que foram dispersos (MOGENSEN, 1981).

Quando um esporo se mantém viável após o momento da dispersão e atinge um substrato que fornece condições favoráveis, ele germina em um processo iniciado pela sua reidratação e pelo rompimento da parede na região da abertura (MOGENSEN, 1978). Silva *et al.* (2009a, 2009b) realizaram estudos de germinação de duas espécies de musgos com o objetivo de avaliar o efeito da oferta de água e luminosidade disponíveis. As autoras concluíram que a disponibilidade de água necessária para que os esporos de uma espécie germinem está diretamente ligada ao ambiente em que essa espécie vive. Desta forma, esporos de espécies que ocorrem em locais mais áridos são capazes de germinar com baixo potencial de água, enquanto espécies que ocorrem em locais úmidos precisam de maior quantidade de água para que os esporos germinem. Este resultado indica que a quantidade de água necessária para que os esporos de uma espécie germinem determina o habitat em que a espécie poderá se estabelecer.

Luizi-Ponzo (2012) realizou um estudo no qual avaliou a relação de dados palinológicos de espécies de musgos, com as estratégias de vida e relações evolutivas das espécies estudadas. A autora verificou que espécies que apresentam esporos de tamanho inferior a 25 μ m, também apresentam região apertural delimitada unicamente pela presença do leptoma ou, também, por discreta delimitação externa, podendo ser acrocárpicas ou pleurocárpicas. Em relação à ocupação dos substratos, as espécies corticícolas não apresentaram delimitação externa da área apertural, enquanto espécies que ocorrem sobre solo ou rocha apresentaram uma abertura bem desenvolvida e marcada na superfície do esporoderma.

Apesar das evidências que indicam uma relação entre a morfologia dos esporos de musgos e estratégias adaptativas das espécies, essa relação ainda não foi completamente elucidada (MOGENSEN, 1978; SILVA *et al.*, 2009a, 2009b; LUIZI-PONZO, 2012). Sendo assim, o presente trabalho se justifica pela necessidade de incrementar os dados sobre a relação existente entre a morfologia dos esporos e as estratégias adaptativas das espécies, tais como a ocupação do substrato e forma de vida, características abordadas neste estudo. Assim, a seleção dos táxons estudados, foi realizada visando o estudo de espécies com variadas estratégias adaptativas, incluindo-se espécies acrocárpicas e pleurocárpicas, que apresentam

formas de vida variadas, como trama, tapete e relva, e ocorrem em diferentes substratos, como solo, rocha, tronco vivo, tronco morto, raiz e cimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo, foram selecionadas cinco espécies de musgos com características adaptativas diferenciadas, incluindo-se espécies acrocárpicas e pleurocárpicas, que ocupam diferentes substratos e apresentam diferentes formas de vida, como tapete, trama e relva. As exsicatas foram obtidas a partir de coleção do herbário Professor Leopoldo Krieger da Universidade Federal de Juiz de Fora (CESJ). Para complementação dos dados, visando obter uma análise ecológica com maior número de espécies, foram também incluídas as espécies estudadas por Rodrigues (2014, capítulos 1 e 2 desta dissertação), totalizando 19 espécies e dez famílias, a saber: *Funaria hygrometrica* Hedw. (Funariaceae Schwägr.); *Syrrhopodon gaudichaudii* Mont. (Calymperaceae Kindb.); *Hyophila involuta* (Hook.) A. Jaeger, *Leptodontium viticulosoides* (P. Beauv.) Wijk & Margad., *Plaubelia sprengelii* (Schwägr.) R.H. Zander, *Tortella humilis* (Hedw.) Jenn., *Trichostomum brachydontium* Bruch e *Weissia controversa* Hedw. (Pottiaceae Schimp.); *Racopilum tomentosum* (Hedw.) Brid. (Racopilaceae Kindb.); *Callicostella pallida* (Hornsch.) Ångström e *Thamniopsis incurva* (Hornsch.) W.R. Buck (Pilotrichaceae Kindb.); *Entodontopsis nitens* (Mitt.) W. R. Buck & Ireland (Stereophyllaceae W. R. Buck & Ireland); *Fabronia ciliaris* (Brid.) Brid. (Fabroniaceae Schimp.); *Chyso-hypnum diminutivum* (Hampe) W.R. Buck e *Rhacopilopsis trinitensis* (Müll. Hal.) E. Britton & Dixon (Hypnaceae Schimp.); *Isopterygium tenerifolium* Mitt. e *Isopterygium tenerum* (Sw.) Mitt. (Pylaisiadelphaceae Goffinet & W. R. Buck); *Donnelia commutata* (Müll. Hal.) W. R. Buck e *Sematophyllum galipense* (Müll. Hal.) Mitt. (Sematophyllaceae Broth.).

Para o estudo palinológico, os esporos foram observados sob microscópio de luz antes e após acetólise, utilizando-se para tal procedimento, a metodologia estabelecida por Erdtman (1960) com as adaptações para briófitas de Luizi-Ponzo & Melhem (2006a). Após a acetólise, foram realizadas as medições, com auxílio de uma ocular micrométrica, tomando-se ao acaso 50 esporos em vista polar, em três lâminas, para medidas de diâmetro maior e 30 esporos, em vista equatorial, para as medidas de eixo polar (P) e eixo equatorial (E). Após as

medições foram calculados média aritmética (\bar{X}), desvio padrão da amostra (S), desvio padrão da média (S_x), coeficiente de variação (CV), intervalo de confiança (IC) a 95% e apresentados os valores mínimos e máximos obtidos para o tamanho dos esporos (X_{MIN} e $X_{MÁX}$).

As análises sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (NMM – UFV). Para preparação do material, as cápsulas foram fixadas em solução de glutaraldeído, pós-fixadas em solução de tetróxido de ósmio e levadas ao secador de ponto crítico (CPD). Em seguida, os esporos foram dispersos sobre os suportes para microscopia eletrônica, previamente cobertos com fita de carbono dupla face, e metalizados com uma camada de 20nm de ouro. Os esporos foram então observados sob microscópio eletrônico de varredura e as eletromicrografias foram obtidas e armazenadas em dispositivo de mídia CD-ROM.

Para a realização das análises ecológicas, foi elaborada uma matriz binária, incluindo-se dados de presença e ausência referentes ao estudo palinológico (tamanho dos esporos, espessura do esporoderma, tipo e densidade da ornamentação e presença de esporos abortados na amostra) e às características adaptativas das espécies (ocupação do substrato, forma de vida e posição do periquécio).

Para caracterizar as espécies em relação ao tamanho dos esporos, foram definidas três classes de tamanho. Para isto, os valores obtidos para o tamanho dos esporos, incluindo-se todas as espécies analisadas, foram separados em três classes de frequência, cada uma correspondendo a uma classe de tamanho. Para definir a amplitude de cada classe, a seguinte fórmula foi utilizada (CORREA, 2003):

$$h = \frac{A_T}{k} \quad \text{onde: } h = \text{amplitude de classes; } A_T = \text{amplitude total; } k = \text{número de classes.}$$

Para o cálculo da amplitude total utilizou-se a fórmula:

$$A_T = X_{MÁX} - X_{MIN} \quad \text{onde: } A_T = \text{amplitude total; } X_{MÁX} = \text{maior valor de tamanho de esporo observado no total das amostras; } X_{MIN} = \text{menor valor de tamanho de esporo observado no total das amostras.}$$

A partir dos valores obtidos, as três classes de tamanho foram definidas, sendo a primeira classe correspondente ao tamanho “esporos menores”, a segunda classe, “esporos intermediários”, e a terceira classe, “esporos maiores”. Caso uma espécie tenha apresentado

esporos que variaram de tamanho entre duas classes, esses foram incluídos na classe de tamanho à qual a mediana da amostra pertence. No caso de *L. viticulosoides* (RODRIGUES, 2014, capítulo 1 desta dissertação) que apresenta esporos anisomórficos, foram considerados os dados de tamanho dos esporos amostrados que possuíam conteúdo celular e eram, portanto, viáveis.

Para classificar a espessura do esporoderma em parede fina ou parede espessa, levou-se em consideração a capacidade de visualização dos plastídeos no interior do esporo, de acordo com Alfayate *et al.* (2013), já que o tamanho diminuto dos esporos, impediu que fossem realizadas as medidas do esporoderma sob microscópio de luz. Dessa forma, foi definido que esporos que apresentaram coloração verde em lâminas não acetolisadas possuem parede fina, e aqueles que apresentam coloração marrom, possuem parede espessa, já que a mesma impede a visualização do conteúdo celular.

A classificação da ornamentação dos esporos foi feita baseada nos três padrões apresentados pelos esporos analisados: granulada, formada por grânulos simples; granulada, formada por grânulos compostos; e baculada, composta por báculos de tamanho variável, soldados ou não. A determinação do tipo de ornamentação apresentada pelos esporos foi feita através de observação em MEV, já que não foi possível identificar o padrão de ornamentação em observação sob microscópio de luz.

A análise da densidade da distribuição dos elementos de ornamentação na parede dos esporos foi feita em observação dos mesmos em microscópio eletrônico de varredura, definindo-se que quando grande parte da exina permanece exposta, a ornamentação é esparsa. Entretanto, quando a exina é coberta pela perina em sua grande parte ou completamente, a ornamentação dos esporos é densa.

Para avaliar a ocorrência de esporos abortados, foi observada a presença de conteúdo celular nos mesmos, assim, esporos que não apresentaram conteúdo celular foram considerados abortados enquanto os que apresentaram conteúdo foram considerados viáveis. Uma espécie foi considerada como possuindo esporos abortados caso esporos sem conteúdo celular tenham sido observados, independente de sua frequência. Para que uma espécie fosse considerada como não possuindo esporos abortados, nenhum esporo abortado foi observado.

Além das características morfológicas dos esporos, foram incorporadas às análises características relacionadas às estratégias adaptativas das espécies, tais como a posição do periquécio, a forma de vida e as características ambientais referentes aos tipos de substratos que as plantas colonizam e sua especificidade em relação aos mesmos.

Para classificar as espécies em relação à posição do periquécio, utilizou-se a definição La Farge-England (1996), sendo acrocárpicas as plantas que possuem o periquécio terminal no eixo principal, pleurocárpicas aquelas que possuem periquécio localizado em inovações laterais no eixo principal, e cladocárpicas as que possuem periquécio terminal em ramos laterais.

A avaliação da forma de vida também seguiu La Farge-England (1996). As plantas foram observadas sob microscópio estereoscópico e as formas de vida foram indicadas como pendente, tapete, relva, trama, dendroide ou almofada.

Para a análise do substrato, foi realizado um levantamento considerando-se os espécimes aqui estudados, além daqueles referidos na literatura especializada, em especial, Allen *et al.* (1994), Sharp *et al.* (1994a, 1994b), Buck (1998), Balejos & Bastos (2010), Lista de Espécies da Flora do Brasil (2013) e Oliveira (2013).

Para avaliar a especificidade de substratos, foi utilizada a definição de Paiva (2012), considerando-se especialistas plantas que colonizam apenas um substrato, intermediárias as que colonizam dois ou três substratos e generalistas aquelas que colonizam quatro substratos ou mais. Para esta classificação, foi utilizado o número de substratos em que as espécies foram referenciadas na literatura consultada e, também, nas indicações das fichas de herbário do material estudado.

Para as análises ecológicas, foi empregado o software PAST 15.2 (HAMMER *et al.*, 2001). A análise de agrupamento (*cluster*) foi realizada, utilizando-se o índice de similaridade de Jaccard, para verificar o grau de similaridade entre as espécies.

RESULTADOS

A partir das observações dos esporos sob microscópio de luz e microscópio eletrônico de varredura foi possível realizar a caracterização palinológica das espécies. As cinco espécies estudadas apresentam esporos com tamanho pequeno segundo a classificação de Erdtman (1960) (Tabela 1).

O esporoderma das espécies estudadas apresentou-se estratificado em intina, exina e perina, de acordo com o padrão previamente descrito para outras espécies de musgos (MCCLYMONT & LARSON, 1964; LUIZI-PONZO & MELHEM 2006a,2006b; ROCHA *et al.*, 2008). A observação dos esporos sob microscópio de luz permitiu a visualização de uma região de maior espessamento na intina, o que possibilitou determinar o polo proximal dos esporos e classificá-los como heteropolares e aperturados, sendo que a abertura não possui diferenciação externa.

Tabela 1: Dados morfométricos do tamanho dos esporos das espécies estudadas (em micrômetros).

Táxons/medidas	Diâmetro Maior				
	$X_{MIN}-X_{MÁX}$	$X + S_x$	S	IC	CV
<i>Callicostella pallida</i>	11,0-13,6	12,3+0,10	0,72	0,21	6
<i>Funaria hygrometrica</i>	13,0-14,9	14,2+0,08	0,55	0,15	3,9
<i>Racopilum tomentosum</i>	16,9-24,7	19,0+0,23	1,64	0,46	8,6
<i>Syrrhopodon gaudichaudii</i>	15,6-18,2	17,1-0,11	0,81	0,23	4,7
<i>Thamniopsis incurva</i>	13,0-14,9	13,7+0,09	0,65	0,19	4,7

$X_{MIN}-X_{MÁX}$ = valores máximos e mínimos da amostra (em μm); X = média; S_x = desvio padrão da média; S = desvio padrão da amostra; IC = intervalo de confiança; CV = coeficiente de variação (em %).

Descrição dos esporos:

Callicostella pallida apresenta esporos com âmbito circular e coloração esverdeada quando observados em lâminas não acetolisadas (Figura 1- A). Quando os esporos são observados sob MEV, são visualizados grânulos individuais arredondados, de tamanho bastante variável e dispostos esparsamente na superfície do esporo, de forma que grande parte da exina permanece visível (Figura 1- B). Não foi verificada a presença de esporos abortados na amostra.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Parque da Lajinha, 13/VII/2010, Machado 606, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 736, Luiz-Ponzo (CESJ).

Funaria hygrometrica apresenta esporos com âmbito subcircular e coloração marrom em lâminas não acetolisadas (Figura 1- C). A ornamentação dos esporos exibe, quando visualizada sob MEV, elementos granulosos, sendo esses grânulos individuais muito uniformes e distribuídos de maneira regular por toda a superfície do esporo (Figura 1- D, E).

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 648 (CESJ), Luiz-Ponzo; Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 688, Luiz-Ponzo (CESJ).

Racopilum tomentosum possui esporos com âmbito subcircular e coloração esverdeada em lâminas não acetolisadas (Figura 1- F). A ornamentação do esporoderma, sob MEV, é caracterizada pela presença de grânulos individuais, distribuídos densamente na superfície dos esporos (Figura 1- G). Nenhum esporo abortado foi visualizado na amostra.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Santos Dumont, 23/IV/1983, Mello-Silva s/n (CESJ). Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Lago dos Manacás, 15/IV/2010, Machado 443 & Freitas (CESJ).

Syrrhopodon gaudichaudii apresenta esporos com âmbito subcircular e coloração amarronzada em lâminas não acetolisadas (Figura 1- H). A ornamentação é caracterizada pela presença de grânulos formados pela associação de nanogrânulos, formando rosetas distribuídos densamente na superfície dos esporos (Figura 1- I, J). Nenhum esporo abortado foi observado na amostra.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Lima Duarte, Parque Estadual do Ibitipoca, 9/V/2008, Siviero 2, Rocha (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Lima Duarte, Parque Estadual do Ibitipoca, 17/VI/2009 , Siviero *et al.* 94 (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Lima Duarte, Parque Estadual do Ibitipoca, 12/III/2009, Gomes *et al.* 96 (CESJ).

Thamniopsis incurva tem esporos com âmbito subcircular e coloração esverdeada em lâminas não acetolizadas (Figura 1- K). A ornamentação da perina é composta por grânulos individuais e arredondados, distribuídos densamente na superfície dos esporos (Figura 1- L). Nenhum esporo abortado foi visualizado na amostra.

Material examinado:

Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 712, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 742, Luiz-Ponzo (CESJ); Brasil, Minas Gerais, Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Mata FAEFID, 5/VIII/2010, Machado 743, Luiz-Ponzo (CESJ).

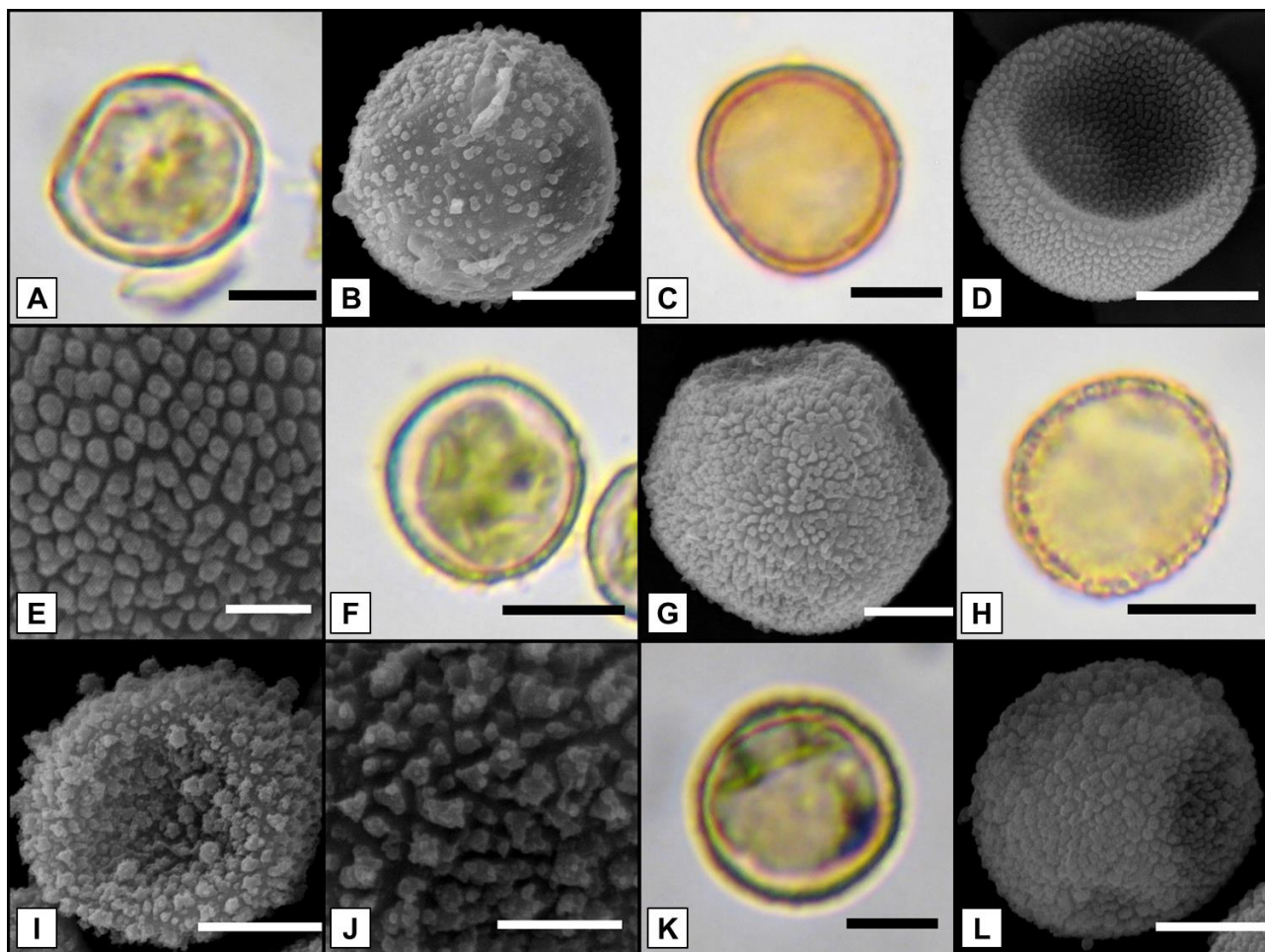


Figura 1: Fotomicrografias e eletromicrografias dos esporos das espécies estudadas.

A-B. *Callicostella pallida*. A. Corte óptico (ML). B. Superfície (MEV). C-E. *Funaria hygrometrica*. C. Corte óptico (ML). D. Superfície (MEV). E. Detalhe da ornamentação. F-G. *Racopilum tomentosum* F. Corte óptico (ML). G. Superfície (MEV). H-J. *Syrrhopodom gaudichaudii*. H. Corte óptico (ML). I. Superfície (MEV). J. Detalhe da ornamentação (MEV). K-L. *Thamniopsis incurva*. K. Corte óptico (ML). L. Superfície (MEV). Escala: E = 1µm; J = 2µm; G, L = 3µm; A, B, C, D, I, K = 5µm; F, G = 8µm.

A partir da observação dos esporos das cinco espécies apresentadas neste estudo e das informações dos esporos apresentados nos trabalhos de Rodrigues (2014, capítulos 1 e 2 desta dissertação), foram definidos para as 19 espécies estudadas, incluindo-se o presente trabalho, três padrões de ornamentação do esporoderma: 1. “grânulos individuais”; 2. “grânulos compostos”; 3. “báculos”.

O padrão mais frequente é caracterizado pela presença de “grânulos individuais”. Este padrão é característico das espécies *C. pallida*, *D. commutata*, *E. nitens*, *F. ciliaris*, *F. hygrometrica*, *H. involuta*, *P. sprengelii*, *R. tomentosum* e *T. incurva* (Tabela 2).

O segundo padrão mais frequente foi denominado “grânulos compostos”, sendo caracterizado pela presença de rosetas ou grânulos formados pela associação de nanogrânulos. Este tipo de ornamentação está presente em *C. diminutivum*, *I. tenerifolium*, *I. tenerum*, *R. trinitensis*, *S. galipense*, *S. gaudichaudii* e *T. brachydontium* (Tabelas 2 e 3).

O padrão menos frequente foi aquele caracterizado pela presença de báculos, soldados ou não, na superfície dos esporos. Esse padrão de ornamentação foi observado nas espécies *T. humilis*, *L. viticulosoides* e *W. controversa* (Tabelas 2 e 3), sendo denominado “báculos”.

Com relação à densidade de distribuição dos elementos de ornamentação na superfície dos esporos, as espécies *C. pallida*, *E. nitens*, *F. ciliaris*, *R. trinitensis* e *T. brachydontium* apresentaram distribuição esparsa. As demais espécies apresentaram os elementos de ornamentação distribuídos densamente na superfície dos esporos.

O cálculo das classes de tamanho dos esporos resultou na definição de “esporos menores” possuindo entre 9,10 μ m e 17,3 μ m (exclusive), “esporos intermediários” possuindo entre 17,3 μ m e 25,5 μ m (exclusive) e “esporos maiores” possuindo entre 25,5 e 33,8 μ m (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação do tamanho dos esporos em relação às classes de frequência

Classes de tamanho	Classificação dos esporos
9,10 μ m – 17,3 μ m	Menores
17,3 μ m – 25,5 μ m	Intermediários
25,5 μ m – 33,8 μ m	Maiores

Ao incluir os dados de tamanho dos esporos na matriz binária (Tabelas 2 e 3) é possível observar que apenas *L. viticulosoides* apresentou “esporos maiores”, *D. commutata*, *E. nitens*, *F. ciliaris*, *R. tomentosum* e *W. controversa* apresentaram “esporos intermediários”, enquanto as demais espécies apresentaram “esporos menores”.

Tabela 2: Características palinológicas e de estratégias adaptativas examinadas nas espécies estudadas.

Espécies	Características dos esporos						Características adaptativas			
	Classe de tamanho dos esporos	Espessura do esporoderma	Tipo de ornamentação	Densidade da ornamentação	Esporos abortados	Substratos de ocorrência	Especificidade do substrato	Forma de vida	Posição do perquécio	
<i>Callicostella pallida</i>	Menor	Fina	G. individuais	Esparsa	Ausentes	TM, SO, RO	Intermediária	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Chryso-hyppnum diminutivum</i>	Menor	Fina	G. compostos	Densa	Ausentes	TV, TM, RO, CIM	Generalista	Trama	Pleurocárpica	
<i>Donnellia commutata</i>	Intermediário	Espessa	G. individuais	Densa	Presentes	TV, TM, SO, RO	Generalista	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Entodontopsis nitens</i>	Intermediário	Espessa	G. individuais	Esparsa	Presentes	TV, TM	Intermediária	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Fabronia ciliaris</i>	Intermediário	Fina	G. individuais	Esparsa	Ausentes	TV	Especialista	Trama	Pleurocárpica	
<i>Funaria hygrometrica</i>	Menor	Espessa	G. individuais	Densa	Ausentes	SO, RO, CIM	Intermediária	Relva	Acrocárpica	
<i>Hyophila involuta</i>	Menor	Espessa	G. individuais	Densa	Ausentes	SO, RO, CIM	Intermediária	Relva	Acrocárpica	
<i>Isopterygium tenerifolium</i>	Menor	Fina	G. compostos	Densa	Presentes	TV, TM, SO, RO	Generalista	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Isopterygium tenerum</i>	Menor	Fina	G. compostos	Densa	Presentes	TV, TM, SO, RO, RA	Generalista	Trama	Pleurocárpica	
<i>Leptodontium viticulosoides</i>	Maior	Espessa	Báculos	Densa	Presentes	TV, TM, SO, RO	Generalista	Tapete/Relva	Acrocárpica	
<i>Plaubelia sprengelii</i>	Menor	Espessa	G. individuais	Densa	Presentes	TM, RO, CIM	Intermediária	Relva	Acrocárpica	
<i>Racopilum tomentosum</i>	Intermediário	Fina	G. individuais	Densa	Ausentes	TV, TM, SO, RO	Generalista	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Rhacopilopsis trinitensis</i>	Menor	Fina	G. compostos	Esparsa	Ausentes	TV, TM, SO, RO	Generalista	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Sematophyllum galipense</i>	Menor	Espessa	G. compostos	Densa	Ausentes	TV, TM, SO, RO, RA	Generalista	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Syrrophodon gaudichaudii</i>	Menor	Espessa	G. compostos	Densa	Ausentes	TV, TM, SO, RO, RA	Generalista	Relva	Acrocárpica	
<i>Thamniopsis incurva</i>	Menor	Fina	G. individuais	Densa	Ausentes	TM, SO	Intermediária	Tapete	Pleurocárpica	
<i>Tortella humilis</i>	Pequeno	Fina	Báculos	Densa	Ausentes	TV, TM, SO, RO, CIM	Generalista	Relva	Acrocárpica	
<i>Trichostomum brachyodontium</i>	Pequeno	Espessa	G. compostos	Esparsa	Ausentes	SO, RO, CIM	Intermediária	Relva	Acrocárpica	
<i>Weissia controversa</i>	Médio	Espessa	Báculos	Densa	Ausentes	TV, SO, RO, CIM	Generalista	Relva	Acrocárpica	

Legenda: G. = grânulos; CI = cimento; RA = raiz; RO = rocha; SO = solo; TM = tronco morto; TV = tronco vivo

Tabela 3: Matriz elaborada a partir dos dados palinológicos e ecológicos das espécies estudadas

Espécies		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X	Y	W	Z
<i>C. pallida</i>	<i>Cal_pa</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1
<i>C. diminutivum</i>	<i>Chr_di</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
<i>D. commutata</i>	<i>Don_co</i>	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1
<i>E. nitens</i>	<i>Ent_ni</i>	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>F. ciliaris</i>	<i>Fab_ci</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>F. hygrometrica</i>	<i>Fun_hy</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
<i>H. involuta</i>	<i>Hyo_in</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
<i>I. tenerifolium</i>	<i>I_folium</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
<i>I. tenerum</i>	<i>I_nerum</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>L. viticulosoides</i>	<i>Lep_vi</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
<i>P. sprengelii</i>	<i>Pla_sp</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
<i>R. tomentosum</i>	<i>Rac_to</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
<i>R. trinitensis</i>	<i>Rha_tr</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
<i>S. galipense</i>	<i>Sem_ga</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
<i>S. gaudichaudii</i>	<i>Syr_ga</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
<i>T. incurva</i>	<i>Tha_in</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>T. humilis</i>	<i>Tor_hu</i>	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
<i>T. brachydontium</i>	<i>Tri_br</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
<i>W. controversa</i>	<i>Wej_co</i>	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0

Legenda: A-C. Tamanho dos esporos. A. Esporos menores. B. Esporos intermediários. C. Esporos maiores. D-E. Espessura do esporoderma. D. Parede fina. E. Parede espessa. F-H. Padrão de ornamentação. F. Grânulos simples. G. Grânulos compostos. H. Baculada. I-J. Distribuição da ornamentação na superfície dos esporos. I. Densa. J. Esparsa. K-L. Esporos abortados. K. Presentes. L. Ausentes. M-O. Ocupação dos substratos. M. Especialista. N. Intermediária. O. Generalista. P-U. Ocorrência nos diferentes substratos. P. Tronco vivo. Q. Tronco morto. R. Solo. S. Rocha. T. Raiz. U. Cimento. V-Y. Forma de vida. V. Tapete X. Relva Y. Trama. W-Z. Posição do periquécio. W. Acrocárpica Z. Pleurocárpica.

Em relação à caracterização da espessura da parede, foram identificadas nove espécies apresentando parede fina e dez com parede espessa. As espécies que apresentaram parede fina foram *C. pallida*, *C. diminutivum*, *F. ciliaris*, *I. tenerifolium*, *I. tenerum*, *R. tomentosum*, *R. trinitensis*, *T. incurva* e *T. humilis*. Já as espécies *D. commutata*, *E. nitens*, *F. hygrometrica*, *H. involuta*, *L. viticulosoides*, *P. sprengelii*, *S. galipense*, *S. gaudichaudii*, *T. brachydontium* e *W. controversa* apresentaram parede espessa.

Esporos abortados foram visualizados em *D. commutata*, *E. nitens*, *I. tenerifolium*, *I. tenerum*, *L. viticulosoides* e *P. sprengelii*. As demais espécies não apresentaram esporos abortados (Tabelas 2 e 3).

Para a inclusão dos dados sobre as características adaptativas das espécies, observou-se que dentre as 19 espécies estudadas, apenas *F. ciliaris* é “especialista” em relação à ocupação do substrato (Tabela 2 e 3), ocorrendo apenas em tronco vivo. As espécies *C. pallida*, *E. nitens*, *F. hygrometrica*, *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. incurva* e *T. brachydontium* ocupam entre dois e três substratos, sendo classificadas como “intermediárias”, e as demais espécies são “generalistas”, ocorrendo em quatro ou mais tipos de substrato.

Os substratos mais representativos foram tronco vivo (13 espécies), tronco morto (14 espécies), solo (15 espécies) e rocha (16 espécies). Apenas três espécies ocorrem em raiz, sendo este o substrato menos representativo, seguido por cimento, no qual sete espécies ocorrem.

As formas de vida apresentadas pelas espécies estudadas foram tapete, trama e relva. *L. viticulosoides* apresentou-se em dois tipos de formas de vida distintos, sendo eles tapete e relva.

A análise de *cluster* realizada a partir das variáveis incluídas na matriz indica a formação de cinco grupos com nível de significância maior do que 0,5 (Figura 2).

O primeiro e segundo grupos formados pelo dendrograma (Figura 2) correspondem às espécies acrocárpicas, que incluem as espécies de Pottiaceae e *F. hygrometrica*. *S. gaudichaudii* é a única espécie acrocárpica excluída destes dois grupos, que, por sua vez, foi agrupada juntamente com espécies pleurocárpicas, da ordem Hypnales, no terceiro grupo formado. O quarto grupo é formado pelas espécies *D. commutata* e *R. tomentosum* que, apesar de serem ambas espécies pleurocárpicas, não compartilham uma relação taxonômica próxima. *T. incurva* e *C. pallida* formam o quinto grupo e pertencem à mesma família botânica. As espécies *F. ciliaris* e *E. nitens* mantiveram-se isoladas na amostra, não apresentando similaridade maior do que 0,5 com outra espécie.

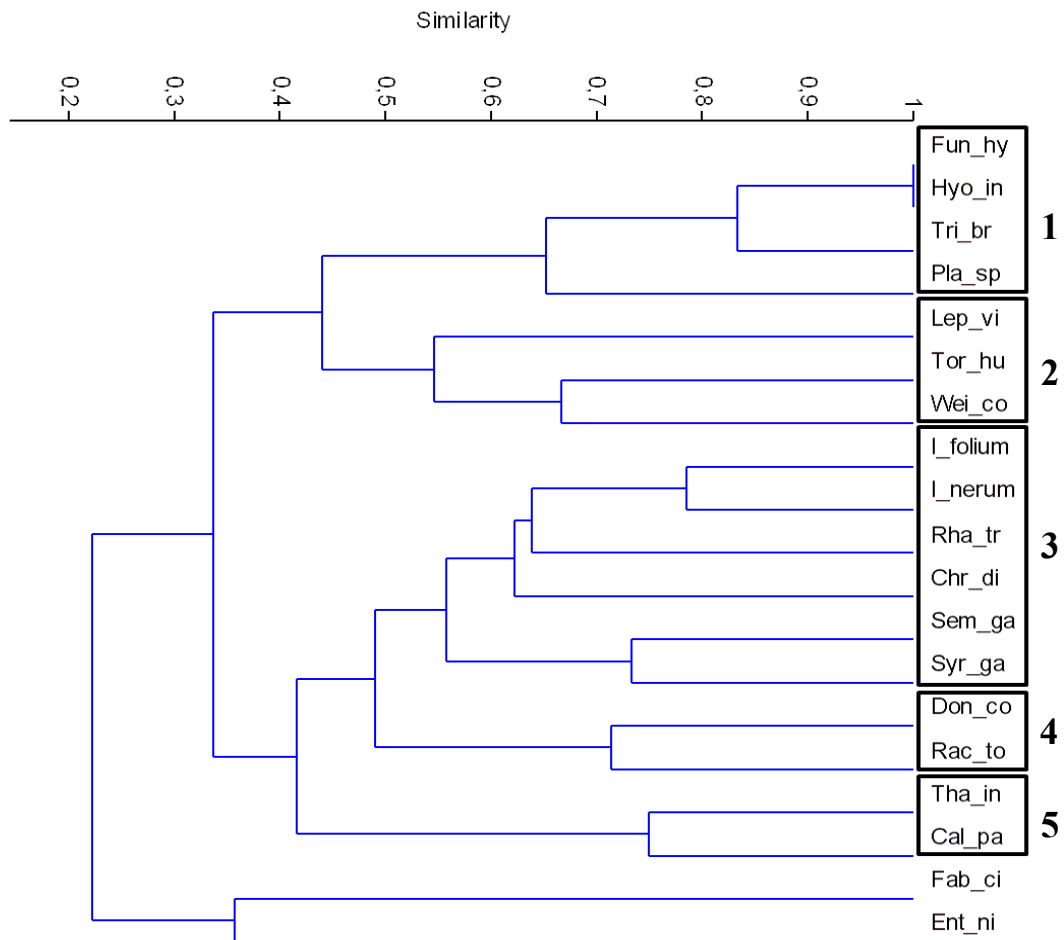


Figura 2: Dendrograma correspondente à análise de *cluster* considerando as características palinológicas e de estratégias adaptativas das espécies.

DISCUSSÃO

A observação dos esporos das espécies selecionadas sob microscópio de luz (ML) e microscópio eletrônico de varredura (MEV) forneceram informações complementares sobre sua morfologia. As observações sob ML permitiram verificar tamanho, forma, âmbito, aspecto geral da ornamentação e coloração, que permitiu inferir sobre a espessura da parede. Devido ao tamanho diminuto dos esporos, apenas durante as observações sob MEV foi possível descrever em detalhes a ornamentação dos esporos quanto ao tipo e densidade de distribuição dos elementos da perina.

O padrão de ornamentação mais representativo nas espécies analisadas foi “grânulos simples”, somando 47% das espécies. Algumas espécies se destacaram dentre as espécies que apresentaram esse padrão, já que *D. commutata* e *F. ciliaris* apresentaram elementos de ornamentação semelhantes a pilos e gemas, e *F. hygrometrica* apresentou grânulos de tamanho e distribuição muito uniformes, sendo facilmente diferenciado dos demais em observação sob MEV.

O padrão de ornamentação caracterizado pela presença de “grânulos compostos” foi observado em 37% das espécies, sendo o segundo tipo mais representativo. Este padrão de ornamentação foi descrito previamente para espécies de musgos pleurocárpicos (CALDEIRA *et al.*, 2009; ALFAYATE *et al.*, 2013) e acrocárpicos (SORSA & KOPONEN, 1973; LUIZI-PONZO & BARTH, 1999).

Sorsa & Koponen (1973) descreveram para espécies da família Mniaceae um padrão de ornamentação formado por uma “aglomeração de nanogrânulos” que, segundo os autores, quando visualizados sob ML, aparentam ser apenas grânulos. Luiz-Ponzo & Barth (1999) observaram esse padrão de ornamentação para uma espécie da família Dicranaceae, chamando os elementos de ornamentação de “tipo granular”.

Caldeira *et al.* (2009) descreveram para espécies da família Sematophyllaceae um padrão de ornamentação com os grânulos formados pela associação de nanogrânulos, formando processos que as autoras chamaram de “rosetas”. Alfayate *et al.* (2013) observaram esse mesmo padrão de ornamentação para espécies da família Neckeraceae, chamando os elementos de ornamentação de “agregados amorfos.” A grande semelhança na ornamentação da perina dos esporos que apresentam este padrão de ornamentação, dificulta a diferenciação entre as espécies levando em conta apenas as características morfológicas dos esporos, mesmo quando visualizados em MEV. Quando visualizados em ML, esse tipo de ornamentação se confunde com o padrão de ornamentação formado por grânulos simples, já que os nanogrânulos que formam os elementos só podem ser diferenciados quando observados em MEV.

A ornamentação do tipo baculada foi a menos frequente dentre as espécies estudadas representando 16% do total, sendo que as três espécies que apresentaram esse padrão pertencem à família Pottiaceae. *W. controversa* apresentou ornamentação baculada, entretanto

se diferencia das demais ao possuir processos com ápice arredondado, formados pela associação de vários báculos.

Foi observada a tendência de plantas acrocárpicas apresentarem forma de vida relva e plantas pleurocárpicas apresentarem forma de vida tapete ou trama, tal como apresentado por outros autores (LA FARGE-ENGLAND, 1996; BATES, 1998). A espécie *L. viticulosoides* é acrocárpica e apresentou duas formas de vida diferentes, relva e tapete.

Outra característica observada foi a relação apresentada entre a ocupação do substrato cimento e a forma de vida. Das sete espécies que ocorrem nesse substrato, seis eram acrocárpicas e apresentaram forma de vida relva. São elas: *F. hygrometrica*, *H. involuta*, *P. sprengelii*, *T. humilis*, *T. brachydontium* e *W. controversa*. *C. diminutivum* é a única espécie pleurocárpica estudada que ocorre em cimento e possui forma de vida trama. Gimingham & Birse (1957) já haviam sugerido a existência de uma relação entre forma de vida da planta e a ocupação do substrato. Dessa forma, pode-se dizer que há uma tendência de plantas que ocorrem em cimento possuírem forma de vida relva.

A análise de *cluster* apresentada no dendrograma mostra o agrupamento de espécies que possuem relação taxonômica. Esse agrupamento foi verificado com espécies da família Pottiaceae nos dois primeiros conjuntos, e com as duas espécies da família Pilotrichaceae, *C. pallida* e *T. incurva*, agrupadas no último conjunto formado. A similaridade entre espécies da mesma família indica que, no caso das espécies estudadas, as características palinológicas e estratégias adaptativas das espécies são fatores que aproximam espécies da mesma família.

Ao comparar os grupos formados na análise de *cluster* e os dados apresentados na matriz binária, é possível observar que algumas características palinológicas e de estratégias adaptativas analisadas estão relacionadas.

O tipo e densidade da ornamentação não apresentaram relação com as características adaptativas das espécies, ocorrendo de forma aleatória em espécies “especialistas”, “intermediárias” e “generalistas”, e não estando relacionadas com a ocorrência em nenhum substrato específico.

Apesar da classificação do tamanho dos esporos em “menores”, “intermediários” e “maiores”, a diferença entre eles não se mostrou muito significativa, já que as espécies não

apresentaram uma relação entre tamanho dos esporos e características adaptativas. Este resultado pode ser explicado levando-se em conta que os esporos estudados encontram-se, em sua maioria, na faixa de tamanho “esporos pequenos” definida por Erdtman (1960). Mesmo aquelas espécies que apresentam esporos de tamanho médio de acordo com essa classificação, possuem alguns esporos da amostra inseridos na faixa de tamanho de esporos pequenos. Esta variabilidade no tamanho dos esporos pode ser o motivo pelo qual não foram observadas relações entre o tamanho dos esporos e as demais variáveis analisadas no presente estudo, enquanto Luizi-Ponzo (2012), que utilizou espécies com maior variação de tamanho dos esporos, observou uma relação entre o tamanho dos esporos e a delimitação da região apertural.

Plantas acrocárpicas, em geral, apresentam forma de vida relva, que possui afinidade com o substrato cimento. Além das características adaptativas que agrupam estas espécies, é possível observar uma predominância de espécies acrocárpicas apresentando esporos de parede espessa. Das oito espécies acrocárpicas apresentadas, apenas *T. humilis* apresenta esporoderma fino, de forma que 87,5% das espécies acrocárpicas estudadas apresentaram parede espessa.

Da mesma forma, há uma relação entre espécies pleurocárpicas e a espessura fina da parede dos esporos. 72% das espécies pleurocárpicas estudadas apresentaram esporoderma fino. Essa tendência também pode ser observada em outros trabalhos de Palinologia de musgos, que não tiveram como objetivo avaliar as características adaptativas das espécies. Alfayate *et al.* (2013) descreveram para os esporos das quatro espécies de musgos pleurocárpicos estudados, coloração esverdeada, entendida no presente estudo como parede fina. Sendo assim, as quatro espécies estudadas pelos autores, também são pleurocárpicas e apresentam espessura fina do esporoderma, o que corrobora os dados aqui encontrados.

CONCLUSÕES

O presente trabalho inclui dados sobre a relação entre a Palinologia de espécies de musgos e suas estratégias adaptativas. Os dados de tamanho do diâmetro maior dos esporos

não apresentam relação com outras características palinológicas ou de estratégias adaptativas das espécies estudadas. Este resultado provavelmente se deve pela pequena variação de tamanho dos esporos das espécies selecionadas.

As características da ornamentação do esporoderma, tipo de ornamentação e densidade de distribuição, também não apresentaram relação com outras as características analisadas e incluídas na matriz.

A espessura do esporoderma apresentou uma relação com a posição do periquécio das espécies. Segundo os dados obtidos, espécies acrocárpicas geralmente possuem parede espessa, enquanto as espécies pleurocárpicas, em geral, possuem espessura fina do esporoderma.

As espécies de musgos estudadas, que ocorrem sobre cimento são, em geral, acrocárpicas e possuem esporos com parede espessa.

Os resultados obtidos acrescentam dados acerca da Palinologia das espécies estudadas, e incrementam informações sobre a relação entre as características dos esporos e as estratégias adaptativas das espécies.

REFERÊNCIAS

- ALFAYATE, C.; RON, E.; ESTÉBANEZ, B.; PÉREZ-BATISTA, M. A. Mature spores of four pleurocarpous mosses in the Canary Islands: ultrastructure and early germination stages. **The Bryologist**, v. 116, n. 2, p. 97-112, 2013.
- ALLEN, B.; CRUM, H.; PURSSEL, R. A.; ALLEN, N. S.; REESE, W. D. **Moss Flora of Central America Part 1: Sphagnaceae – Calymperaceae**. 1st ed. St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 1994. 242 p. ISBN 0-915279-26-6
- ARIIZUMI, T.; TORIYAMA, K. Genetic Regulation of Sporopollenin Synthesis and Pollen Exine Development. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 62, p. 1.1-1.24, 2011.
- BALLEJOS, J.; BASTOS, C. J. P. Musgos acrocárpicas (Bryophyta) do Paque Estadual das Sete Passagens, Miguel Calmon, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, p. 355-370, 2010.
- BATES, J. W. Is 'Life-form' a useful Concept in Bryophyte Ecology? **Oikos**. v. 82, n. 2, p. 223-237, 1998.

BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Ultrastructure of Sporogenesis in a Moss, *Ditrichum pallidum*. III. Spore Wall Formation. **American Journal of Botany**, v. 67, n. 6, p. 918-934, Jul. 1980.

BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Spore Wall Development in *Andreaea* (Musci: Andreaeopsida). **American Journal of Botany**, v. 71, n. 3, p. 412-420, Mar. 1984.

BROWN, R. C.; LEMMON, B. E. Sporogenesis in Bryophytes. **Advances in Bryology**, v. 3, p. 159-223, 1988.

BUCK, W. R.; GOFFINET, B. Morphology and classification of mosses. In: SHAW, A. J.; GOFFINET, B. (Org.) **Bryophyte Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. P. 71-123.

BUCK, W. R. **Pleurocarpous Mosses of the West Indies**. 1 ed. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1998. 400 p. ISBN 0-89327-418-6

CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasil. Bot.**, v. 29, n. 2, p. 301-307, 2006.

CALDEIRA, I. C.; ESTEVES, V. G. L.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 32, n. 2, p. 299-306, 2009.

CALDEIRA, I. C.; LUIZI-PONZO, A. P.; ESTEVES, V. G. L. Palynology of selected species of *Fissidens* Hedw. (Bryophyta). **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, p. 187-195, 2013.

CARRIÓN, J. S., GUERRA, J. & ROS, R. M. Spore morphology of the European species of *Phascum* Hedw. (Pottiaceae, Musci). **Nova Hedwigia**, v. 51, n. 3/4, p. 411-433, 1990.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. 2ª ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p.

DURING, H. J. Life Strategies of Bryophytes: A Preliminary Review. **Lindbergia**, v. 5, n. 1. p. 2-18, 1979.

ERDTMAN, G. **Pollen and spore morphology/plant taxonomy - Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (Illustrations) (An introduction to palynology. II)**. Estocolmo: Almqvist & Wiksell/Gebbers Förlag AB, 1957. 151p.

ERDTMAN, G. The acetolysis method. A revised description. **Svensk Botanisk Tidskrift**. v. 39, p. 561-564, 1960.

ESTÉBANEZ, B.; ALFAYATE, C.; RON. E. Observations on spore ultrastructure in six species of *Grimmia* (Bryopsida). **Grana**, v. 36, p. 347-357, 1997.

Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 15 Dez. 2013

FRAHM, J. P. Diversity, dispersal and biogeography of bryophytes (mosses). **Biodivers Conserv**, v. 17, p. 277–284, 2008

FREY, W.; KURSHNER, H. Asexual reproduction, habitat colonization and habitat maintenance in bryophytes. **Flora**, v. 206, p. 173–184, 2011.

GIMINGHAM, C. H.; BIRSE, E. M. Ecological Studies on Growth-Form in Bryophytes: I. Correlations Between Growth-Form and Habitat. **Journal of Ecology**, v. 45, n. 2, p. 533-545, 1957.

GLIME, J. M. **Bryophyte Ecology**. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2007. Disponível em: <http://www.bryoecol.mtu.edu/> - Acesso em maio de 2012.

GOFFINET, B.; BUCK, W. R.; SHAW, J. Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta. In: GOFFINET, B.; SHAW, B. (Org.) **Bryophyte Biology** 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 55-138.

GRADSTEIN, S. R.; CHURCHILL, S. P.; SALAZAR-ALLEN, N. **Guide to the Bryophytes of Tropical America**. New York: The New York Botanical Garden Press, 2001. 577 p. ISBN 0-89327-435-6

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**. v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001. Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

LA FARGE-ENGLAND, C. Growth Form, Branching Pattern, and Perichaetial Position in Mosses: Cladocarpus and Pleurocarpus Redefined. **The Bryologist**, v. 99, n. 2, p. 170-186, 1996.

LEWIS SMITH, R. I. Biological and Environmental Characteristics of Three Cosmopolitan Mosses Dominant in Continental Antarctica. **Journal of Vegetation Science**, v. 10, n. 2, p. 231-242, Apr. 1999.

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Bruchiaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 37, p. 222-227, 1998.

LUIZI-PONZO, A. P.; BARTH, M. O. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. **Grana**, v. 38, n.1, p. 42-49, 1999.

LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. **Cryptogamie Bryologie**, v. 27, p. 413-420, 2006a.

LUIZI-PONZO, A. P.; MELHEM, T. S. Palinotaxonomia de Rhachithecaceae (Bryophyta) do Brasil. **Boletim do Instituto de Botânica**, n. 18, p. 91-99, 2006b.

LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia e ultraestrutura de esporos de musgos: interpretando estratégias e relações evolutivas. In: MESA REDONDA: BRIÓFITAS, 2012, Joinville. **Anais...** Joinville: 63 Congresso Nacional de Botânica, 2012. p. 20-27.

- MCCLYMONT, J. W.; LARSON, D. A. An electron-microscope study of spore wall structure in the Musci. **American Journal of Botany**, v. 51, p. 195-200, 1964.
- MISHLER, B. D.; OLIVER, M. J. Gametophytic Phenology of *Tortula ruralis*, a Desiccation-Tolerant Moss, in the Organ Mountains of Southern New Mexico. **The Bryologist**, v. 94, n. 2, p. 143-153, 1991.
- MOGENSEN, G. S. Spore development and germination in *Cinclidium* (Mniaceae, Bryophyta), with special reference to spore mortality and false anisospory. **Can. J. Bot.** v. 56, p. 1032-1060, 1978.
- MOGENSEN, G. S. The Biological Significance of Morphological Characters in Bryophytes: The Spore. **The Bryologist**, v. 84, n. 2, p. 187-207, 1981.
- MUELLER, D. M. J. Spore Wall Formation and Chloroplast Development During Sporogenesis in the Moss *Fissidens limbatus*. **American Journal of Botany**, v. 61, n. 5, p. 525-534, Maio/Jun. 1974.
- NEIDHART, H. B. Comparative studies of sporogenesis in bryophytes. In: CLARKE, G. C. S.; DUCKETT, J. G. (Org.) **Bryophyte Systematics**. London: Academic Press, 1979. p. 251-280.
- OLESEN, P & MOGENSEN, G. S. Ultrastructure, Histochemistry and Notes on Germination Stages of Spores in Selected Mosses. **The Bryologist**, v. 81, n. 4, p. 493-516, 1978.
- OLIVEIRA, H. C. de. **Florística e Ecologia de Briófitas Epífitas em Fragmentos de Mata Atlântica no Estado da Bahia, Brasil**. 2013. 146f. Tese (Doutorado em Botânica) - Programa Pós-Graduação, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.
- PAIVA, L., A. **Musgos (Bryophyta) de um fragmento de floresta atlântica urbana do sudeste do Brasil**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.
- ROCHA, L. M.; GONÇALVES-ESTEVEVES, V.; LUIZI-PONZO, A. P. Morfologia de esporos de espécies de Polytrichaceae Schwärg. (Bryophyta) do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, p. 537-548, 2008.
- RODRIGUES, R., S. **Esporos de espécies selecionadas de musgos (Bryophyta) de Minas Gerais: morfologia, ultraestrutura e aspectos ecológicos**. 2014. 25-45p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014a.
- RODRIGUES, R., S. **Esporos de espécies selecionadas de musgos (Bryophyta) de Minas Gerais: morfologia, ultraestrutura e aspectos ecológicos**. 2014. 26-62p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014b.
- SAVAROGLU, F.; ERKARA, I. P. Observations of spore morphology of some Pottiaceae Schimp. species (Bryophyta) in Turkey. **Plant Syst. Evol.**, v. 271, p. 93-99, 2008.

- SILVA, A. S. M. da; PÔRTO, K. C.; SIMABUKURO, E. A. Effect of light and water availability on spore germination and protonemal growth of the Neotropical moss *Thamniopsis incurva* (Pilotrichaceae). **Cryptogamie Bryologie**, v. 30, n. 2, p. 243-257, 2009a.
- SILVA, A. S. M. da; SIMABUKURO, E. A.; PÔRTO, K. C. Effect of water availability on spore germination of the moss *Octoblepharum albidum* from Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Bryology**, v. 31, n. 3, p. 169-173, 2009b.
- SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. **The Moss Flora of Mexico: Part One**. New York: Memoirs of the New York Botanical Garden, 1994a, v. 69. 580 p. ISBN 0-89327-379-1
- SHARP, A. J.; CRUM, H.; ECKEL, P. M. **The Moss Flora of Mexico: Part Two**. New York: Memoirs of The New York Botanical Garden, 1994b, v. 69. 1113 p. ISBN 0-89327-379-1
- SORSA, P.; KOPONEM, T. Spore morphology of Mniaceae Mitt. (Bryophyta) and its taxonomy significance. **Ann. Bot. Fennici**, v. 10, p. 187-200, 1973.
- STARCK, L. R.; CASTETTER, R. C. Phenology of *Trichostomum perligulatum* (Pottiaceae, Bryopsida) in the Chihuahuan Desert. **The Bryologist**, v. 98, n. 3, p. 389-397, 1995.
- STONEBURNER, A.; LANE, D. M.; ANDERSON, L. E. Spore Dispersal Distances in *Atrichum angustatum* (Polytrichaceae). **The Bryologist**, v. 95, n. 3, p. 324-328, 1992.
- VANDERPOORTEN, A. & GOFFINET, B. **Introduction to Bryophyte Biology**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009. 294 p.

5. CONCLUSÕES

É necessário observar os esporos sob microscópio eletrônico de varredura além do microscópio de luz para realizar o estudo palinológico de espécies de musgos analisadas e descrever a ornamentação do esporoderma, devido ao tamanho diminuto dos mesmos que prejudica a visualização da ornamentação.

Os dados palinológicos apresentados para as espécies da família Pottiaceae mostram que *L. viticulosoides* apresenta esporos abortados que diferem dos esporos viáveis quanto à morfologia e ao tamanho, o que caracteriza a espécie como possuindo esporos anisomórficos em uma condição de combisporia. A ornamentação observada em *W. controversa* não havia sido previamente descrita para outras espécies de Pottiaceae.

Os esporos das espécies de Hypnales estudados apresentaram três tipos de ornamentação distintos, que corroboram dados encontrados em outros trabalhos em Palinologia de espécies da ordem. O padrão de ornamentação representado por grânulos compostos apresentou-se como padrão preferencial de ornamentação da perina em espécies analisadas no presente estudo e em outros trabalhos de Palinologia de Hypnales.

As análises ecológicas que incluíram dados de Palinologia e estratégias adaptativas das espécies de musgos estudadas permitiram concluir que o tamanho em diâmetro maior dos esporos estudados não apresentam relação com outras características palinológicas ou de estratégias adaptativas das espécies. Este resultado provavelmente se deve pela grande proximidade de tamanho dos esporos das espécies selecionadas. As características da ornamentação do esporoderma, tipo de ornamentação e densidade de distribuição, também não apresentaram relação com outras as características analisadas.

A espessura do esporoderma apresentou uma relação com a posição do periquécio das espécies. Segundo os dados obtidos, espécies acrocárpicas geralmente possuem parede espessa, enquanto as espécies pleurocárpicas, em geral, possuem espessura fina do esporoderma.

Foram observadas relações entre posição do periquécio, forma de vida e ocupação do substrato para algumas espécies. As espécies de musgos estudadas que ocorrem em cimento são, em geral acrocárpicas e possuem esporos com parede espessa.

As diferenças observadas entre os esporos das espécies estudadas indicam a possibilidade da sua utilização de dados palinológicos na taxonomia. A morfologia dos esporos, em especial tamanho e coloração, podem ser incluídos na caracterização taxonômica das espécies e contribuir para a separação das espécies.

Os resultados obtidos acrescentam dados importantes acerca da Palinologia de muitas espécies de musgos e incrementam informações sobre a relação entre as características dos esporos, e as estratégias adaptativas das espécies.