

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

ÂNGELA MARIA MARQUES SANCHES MARQUES

Anatomia da raiz de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes da
planície alagável do alto rio Paraná

Maringá
2008

ÂNGELA MARIA MARQUES SANCHES MARQUES

Anatomia da raiz de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes da planície alagável do alto rio Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquático Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais
Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Ismar Sebastião Moscheta.

Maringá
2008

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

M357a Marques, Ângela Maria Marques Sanches, 1979-
Anatomia da raiz de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes da planície alagável do alto rio Paraná / Ângela Maria Marques Sanches Marques. -- Maringá, 2008. 22 f. : il. (algumas color.).

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2008.
Orientador: Prof. Dr. Ismar Sebastião Moscheta.

1. Macrófitas aquáticas emergentes - Anatomia da raiz - Planície alagável - Alto rio Paraná. 2. Alismataceae - Planície alagável - Alto rio Paraná. 3. Cyperaceae - Planície alagável - Alto rio Paraná. 4. Pontederiaceae - Planície alagável - Alto rio Paraná. 5. Polygonaceae - Planície alagável - Alto rio Paraná. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em "Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais".

CDD 22. ed. -581.76409816
NBR/CIP - 12899 AACR/2

FOLHA DE APROVAÇÃO

ÂNGELA MARIA MARQUES SANCHES MARQUES

Anatomia da raiz de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes da planície alagável do alto rio Paraná

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Ismar Sebastião Moscheta
DBI/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof^a Dr^a Ezilda Jacomazzi
Unipar – Universidade do Paraná *campus* Umuarama

Prof. Dr. Luiz Antônio de Souza
DBI/Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 23 de setembro de 2008.

Local de defesa: Anfiteatro do Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ismar Sebastião Moscheta, pela orientação nesta pesquisa científica.

Ao Nupélia, pela infra-estrutura e recursos oferecidos para a realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto institucional PELD e pela bolsa.

Aos membros da banca, Dr^a Ezilda Jacomazzi (Unipar), Dr. Luiz Antônio de Souza (UEM) por aceitarem o convite para avaliação deste trabalho e pelas valiosas sugestões.

A minha família e meus amigos, que contribuíram direta ou indiretamente, com apoio e compreensão.

Anatomia da raiz de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes da planície alagável do alto rio Paraná

RESUMO

A planície alagável do alto rio Paraná é caracterizada pela existência de vários habitats aquáticos e transicionais entre o ambiente aquático e terrestre, influenciando na presença e distribuição das macrófitas aquáticas. Com o objetivo de comparar a anatomia das raízes de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes, foram realizadas coletas em diferentes locais e preparadas lâminas permanentes para análise e captura de imagens. As espécies possuem epiderme unisseriada com células estreitas e longas, córtex composto por exoderme unisseriada ou bisseriada, com ou sem espessamento, aerênquima com grandes lacunas, endoderme unisseriada, com ou sem espessamento, periciclo contínuo ou interrompido e cilindro central com número variável de pólos de xilema.

Palavras-chave: Aerênquima. Raiz. Alismataceae. Cyperaceae. Polygonaceae. Pontederiaceae.

Anatomy of the root of eight species of emerging aquatic macrophytes of the floodplain of the high Paraná river

ABSTRACT

The floodplain of the high Paraná river is characterized by the existence of several aquatic and transitional habitats among the aquatic and terrestrial environment, influencing in the presence and distribution of the aquatic macrophyte. With the objective of comparing the anatomy of the roots of eight species of emerging aquatic macrophyte, sampling were accomplished in different places and prepared permanent slides for analysis and capture of images. The species possess epidermis uniseriate of narrow and long cells, cortex composed by exodermis uniseriate or biseriate, with or without thickening, aerenchyma with great gaps, endodermis uniseriate, with or without thickening, continuous pericycle or interrupted and central cylinder with variable number of xylem poles.

Keywords: Aerenchyma. Root. Alismataceae. Cyperaceae. Polygonaceae. Pontederiaceae.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Acta Scientiarum Biological Sciences*. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br>>.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 MATERIAL e MÉTODOS.....	8
3 RESULTADOS e DISCUSSÃO	9
4 CONCLUSÃO.....	19
REFERÊNCIAS	19

Anatomia da raiz de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes da planície alagável do alto rio Paraná.

Ângela Maria Marques Sanches-Marques e Ismar Sebastião Moscheta. *

*Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Author for correspondence. e-mail: ismoscheta@uem.br.*

Resumo: A planície alagável do alto rio Paraná é caracterizada pela existência de vários habitats aquáticos e transicionais entre o ambiente aquático e terrestre, influenciando na presença e distribuição das macrófitas aquáticas. Com o objetivo de comparar a anatomia das raízes de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes, foram realizadas coletas em diferentes locais e preparadas lâminas permanentes para análise e captura de imagens. As espécies possuem epiderme unisseriada com células estreitas e longas, córtex composto por exoderme unisseriada ou bisseriada, com ou sem espessamento, aerênquima com grandes lacunas, endoderme unisseriada, com ou sem espessamento, periciclo contínuo ou interrompido e cilindro central com número variável de pólos de xilema.

Palavras-chave: aerênquima, raiz, Alismataceae, Cyperaceae, Polygonaceae, Pontederiaceae.

Abstract: The floodplain of the high Paraná river is characterized by the existence of several aquatic and transitional habitats among the aquatic and terrestrial environment, influencing in the presence and distribution of the aquatic macrophytes. With the objective of comparing the anatomy of the roots of eight species of emerging aquatic macrophyte, sampling were realyed in different places and prepared permanent slides for analysis and capture of images. The species possess epidermis uniseriate of narrow and long cells, cortex composed by exodermis uniseriate or biseriate, with or without thickening, aerenchyma with great gaps, endodermis uniseriate, with or without thickening, continuous pericycle or interrupted and central cylinder with variable number of xylem poles.

Keywords: aerenchyma, root, Alismataceae, Cyperaceae, Polygonaceae, Pontederiaceae.

Introdução

Os estudos sobre biologia e ecologia de ecossistemas aquáticos continentais iniciaram-se em ambientes localizados em regiões temperadas. Somente após algumas décadas passaram a ser realizados nos trópicos. Nas últimas décadas os estudos em ecossistemas aquáticos continentais brasileiros apresentaram um grande avanço. Este avanço deve-se a fatores como: a profusão e variedade de ecossistemas aquáticos, alguns dos quais ainda em estado natural; à necessidade de manejo de ambientes aquáticos já alterados pela ação antrópica e ao grande interesse pela biodiversidade nas últimas décadas (Thomaz e Bini, 2003).

A maioria dos rios de grande ou médio porte possui áreas alagáveis adjacentes que, em conjunto com a calha principal, constituem os sistemas denominados rios-planícies

de inundação. Em regiões tropicais, esses sistemas apresentam marcante variação temporal dos fatores físicos, químicos e bióticos. Tais variações estão associadas, principalmente, às alterações dos níveis hidrométricos, aos quais têm sido atribuído o conceito de “pulsos de inundação” (Junk *et al.*, 1989), englobando uma fase de inundação e outra de seca, com oscilações dos níveis hidrométricos, influenciando na velocidade da água, profundidade dos ambientes aquáticos e a área superficial da planície, submetida a alagamento (Neiff, 1990).

O sistema rio-planície de inundação do alto rio Paraná é caracterizado pela existência de vários habitats aquáticos e transicionais entre o ambiente aquático e terrestre, com distinções quanto ao grau de comunicação com o rio principal e tributários, morfometria e hidrodinâmica. Assim, cada um desses habitats possui características limnológicas próprias, influenciando na presença e distribuição de organismos, tais como as macrófitas aquáticas (Thomaz *et al.*, 1997).

Nos ambientes aquáticos tropicais, em geral, as condições climáticas tendem a favorecer o crescimento de macrófitas aquáticas. Dentre elas, podem ser citadas as altas temperaturas médias e as intensas radiações solares. Além desses fatores, ocorrem, ainda, pressões antrópicas que podem induzir o aparecimento de condições adequadas para o desenvolvimento desses vegetais, tais como a construção de reservatórios artificiais e a eutrofização (Bianchini Junior, 2003).

De acordo com Pott e Pott (2003), a vegetação aquática é dinâmica, ajustando-se às alterações naturais decorrentes de ciclos hidrológicos. As macrófitas aquáticas têm grande capacidade de adaptação e grande amplitude ecológica e são dotadas de uma plasticidade fenotípica impressionante, facilmente observada em plantas anfíbias, macrófitas emersas de folhas aéreas. Segundo Esteves (1998), estas plantas suportam longos períodos de seca, transformando-se em formas terrestres com profundas modificações anatômicas, fisiológicas e morfológicas.

Segundo Crawford (1987), os solos sujeitos ao alagamento determinam alterações nas plantas que se tornam tolerantes à inundação. Há duas interpretações sobre estratégias de plantas tolerantes a hipoxia. De acordo com Crawford (1987), certas rotas metabólicas se ativam quando as plantas estão inundadas. Entretanto, segundo Armstrong (1979), as plantas não necessitariam de rotas metabólicas alternativas, pois suas adaptações morfo-anatômicas possibilitariam a difusão do oxigênio da parte aérea para as raízes e, assim, manteriam a respiração aeróbia. No entanto, Joly (1994) sugere que pode haver tanto

estratégias metabólicas quanto morfo-anatômicas, ocorrendo uma interação entre elas.

De acordo com Thomaz *et al.* (2004), as espécies deste estudo, *Echinodorus grandiflorus* (Cham. e Schtdl.) Mich. e *Sagittaria montevidensis* Cham. e Schtdl. (Alismataceae), *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth e *Pontederia cordata* L. (Pontederiaceae), *Oxycarium cubense* (Poepp. e Kunth) Lye (Cyperaceae), *Polygonum ferrugineum* Wedd., *Polygonum hydropiperoides* Michx. e *Polygonum stelligerum* Cham. (Polygonaceae), pertencem ao grupo ecológico das macrófitas aquáticas emergentes, ocorrendo nas margens dos corpos de água. Estas macrófitas aquáticas sujeitas às oscilações naturais do nível da água, podem, com frequência, ser submersas temporariamente. As modificações morfológicas induzidas pela submersão variam consideravelmente entre as plantas que vivem nesta condição. Algumas delas diferem apenas no grau de lignificação e outras sofrem modificações fenotípicas tão grandes que erroneamente podem ser reconhecidas taxonomicamente como outra espécie (Sculthorpe, 1985).

As raízes das macrófitas aquáticas emergentes enfrentam um meio de quase total ausência de oxigênio, necessitando de artifícios que assegurem quantias adequadas deste gás. Para isso, extensos sistemas de espaços de ar no parênquima (aerênquima), são muito frequentes. Este aerênquima constitui-se em um sistema de canais de aeração, partindo das raízes para o caule e alcançando inclusive as folhas (Sculthorpe, 1985). Ainda de acordo com o mesmo autor, este sistema compensatório de aerênquima, além de assegurar provisões de oxigênio, oferece uma maior resistência mecânica, permitindo o máximo possível de força com o mínimo possível de tecidos.

A plasticidade fenotípica relacionada aos períodos de seca e de alagamento provocados pelas cheias dos rios, ainda é pouco analisada. Trabalhos botânicos relacionados à anatomia de macrófitas aquáticas emergentes da planície alagável do alto rio Paraná são escassos, podendo ser citado o de Silva-Brambilla e Moscheta (2001), que aborda a anatomia foliar de seis espécies de *Polygonum*. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é comparar anatomicamente as raízes de oito espécies de macrófitas aquáticas emergentes, pertencentes a distintas famílias botânicas, que ocorrem em dois sistemas da planície alagável do alto rio Paraná, o rio Baía e o próprio rio Paraná.

Material e Métodos

Echinodorus grandiflorus (Cham. e Schtdl.) Mich., *Polygonum ferrugineum* Wedd. e *Polygonum stelligerum* Cham. foram coletadas no rio Baía, afluente do rio Paraná,

no município de Taquarussu, Mato Grosso do Sul. *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth, *Pontederia cordata* L., foram coletadas no ressaco do Leopoldo, *Oxycarium cubense* (Poepp. e Kunth) Lye e *Polygonum hydropiperoides* Michx., no ressaco do Pau Veio e *Sagittaria montevidensis* Cham. e Schltdl., coletada na lagoa das Pombas, todas áreas alagadas das margens do rio Paraná, região de Porto Rico, Estado do Paraná. O período de coleta foi entre os meses de outubro de 2007 e março de 2008.

O material botânico foi fixado e conservado em FAA 50 (Jensen, 1962). Para a análise da anatomia das raízes utilizou-se a porção mediana para confecção de lâminas permanentes, com historresina, para inclusão do material vegetal (Gerrits, 1991). Foram seccionadas em micrótomato rotativo, coradas com Azul de Toluidina (O'Brien *et al.*, 1964) e montadas em Permount. Para identificação de estrias de Caspary foi utilizado Sudan IV glicerinado.

As fotografias da morfologia das raízes foram obtidas com câmera digital, e as fotomicrografias foram realizadas com equipamento fotográfico acoplado ao microscópio Olympus BX50, equipado com sistema de captura digital Zoom Browser Ex.

Resultados e Discussão

As raízes de todas as espécies estudadas são adventícias, aquáticas e relativamente longas e delgadas (Fig.1 e 2). As raízes de *Sagittaria montevidensis* (Fig.2A), e *Echinodorus grandiflorus* (Fig.2B e 2C), diferenciam-se das demais pelo aspecto esponjoso da primeira e pelas raízes laterais dilatadas da segunda.

Quanto à estrutura anatômica, também há uma aparente semelhança na distribuição dos tecidos. Assim foram comparados a epiderme, o córtex e o cilindro central destas macrófitas.

A epiderme das raízes de *Echinodorus grandiflorus*, *Eichhornia azurea*, *Oxycarium cubense*, *Sagittaria montevidensis*, *Polygonum ferrugineum*, *P. hydropiperoides* e *P. stelligerum* é composta por células estreitas e longas, com paredes delgadas. Em *Polygonum ferrugineum*, *P. hydropiperoides* e *P. stelligerum* muitas células epidérmicas apresentam-se quase colabadas (Fig. 3D, 3E e 3F), rompendo-se com facilidade. Bona e Morretes (2003) também registraram células colabadas na epiderme das macrófitas emergentes *Bacopa salzmanii* e *B. monnieroides*. Embora a maioria das plantas aquáticas apresentem pêlos radiciais, de acordo com Sculthorpe (1985), apenas em *Oxycarium cubense* foram observados (Fig. 5C). A presença ou não de pêlos radiciais em plantas aquáticas parece

ser bastante variável, independentemente de serem submersas ou não (Bona e Morretes, 2003).

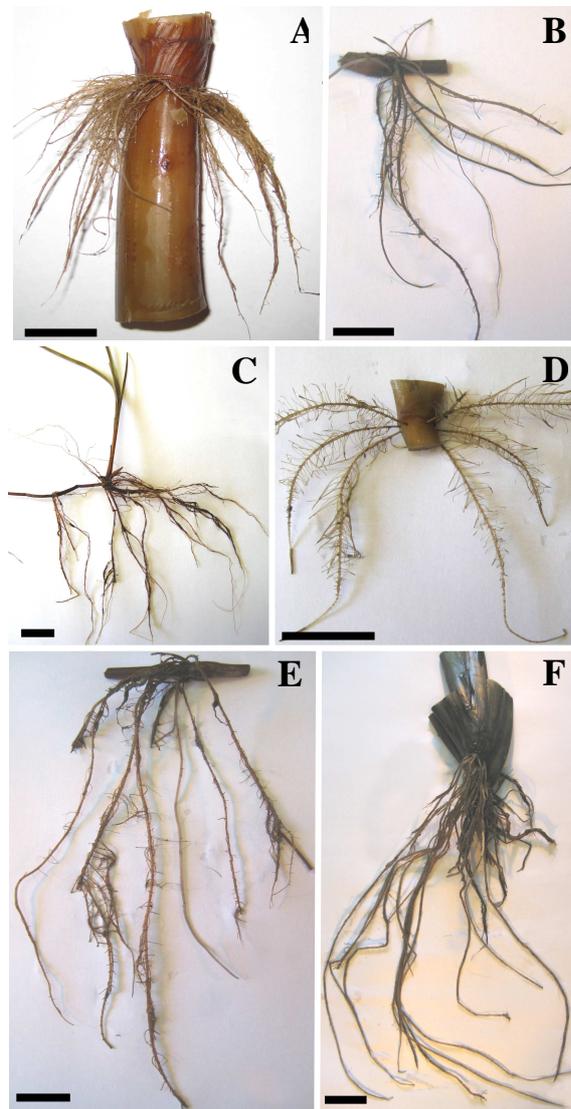


Figura 1. Morfologia das raízes. A: *Polygonum ferrugineum*. B: *Polygonum hydropiperoides*. C: *Oxycarium cubense*. D: *Eichhornia azurea*. E: *Polygonum stelligerum*. F: *Pontederia cordata*. Barras: 2 cm (A, B, E); 3 cm (C, D, F).



Figura 2. Morfologia das raízes. A: *Sagittaria montevidensis*. B: *Echinodorus grandiflorus*. C: Raízes laterais dilatadas. Barras: 1 cm (C); 3 cm (A, B).

Em *Pontederia cordata*, a epiderme, provavelmente, desestruturou-se com o amadurecimento do órgão, permanecendo uma exoderme com sutil espessamento das paredes tangenciais externas (Fig. 4D e 4E).

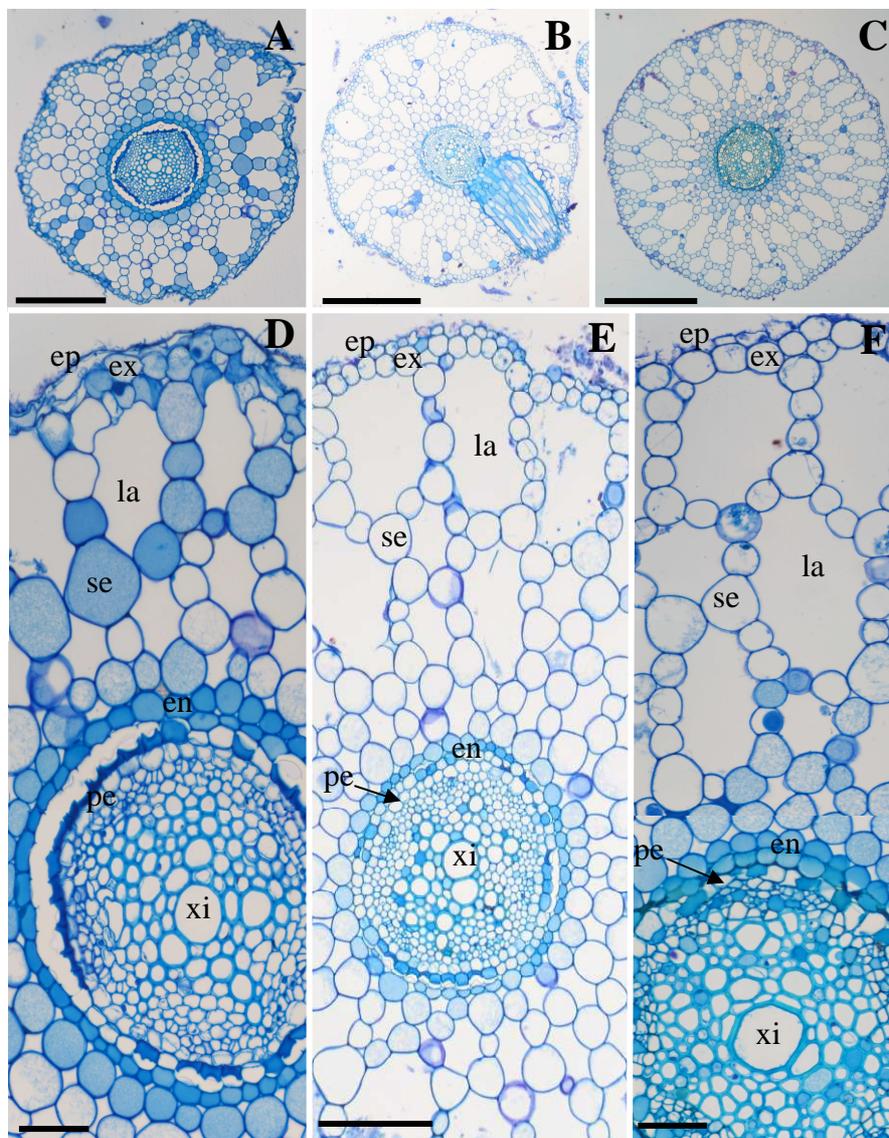


Figura 3. Raiz de Polygonaceae em seção transversal. A: *Polygonum ferrugineum*. B: *Polygonum hydropiperoides*. C: *Polygonum stelligerum*. D: Córtex da figura A. E: Córtex da figura B. F: Córtex da figura C. (en: endoderme, ep: epiderme, ex: exoderme, la: lacuna, pe: periciclo, se: septo, xi: xilema). Barras: 400 μ m (B,C); 200 μ m (A, E); 50 μ m (D, F).

Processos semelhantes a este já foram observados por Seago *et al.* (2000a) para esta espécie, e também por Bona e Morretes (2003), para *Bacopa salzmanii* e *B. monnierioides*. Considerando-se que estes autores também encontraram apenas a exoderme nas espécies de seus estudos, este aspecto merece estudos ontogênicos das raízes aquáticas.

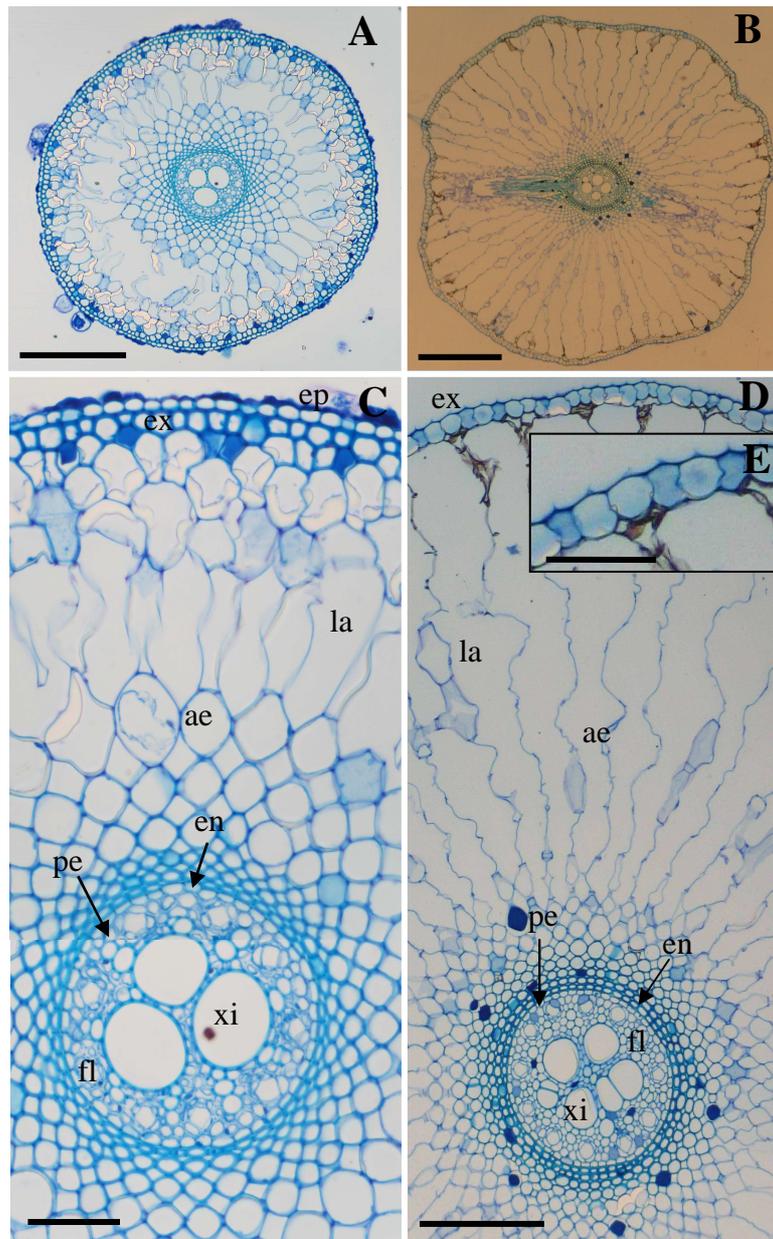


Figura 4. Raiz de Pontederiaceae em seção transversal. A: *Eichhornia azurea*. B: *Pontederia cordata*. C: Córtex da figura A. D: Córtex da figura B. E: Detalhe da exoderme de *Pontederia cordata*. (ae: aerênquima, en: endoderme, ep: epiderme, ex: exoderme, fl: floema, la: lacuna, pe: periciclo, xi: xilema). Barras: 400 μm (B); 200 μm (A, D.); 100 μm (E); 50 μm (C).

A exoderme de *Sagittaria montevidensis* é constituída por dois estratos celulares (Fig. 6C), como também relatam Andrade *et al.* (2007) para esta espécie. Seu primeiro estrato possui células quase colabadas entre outras de conformação normal. No segundo estrato, de células com maior diâmetro e sinuosidade nas paredes, estão inseridos grupos ocasionais de células muito menores (Fig. 6C). Estas estruturas não foram mencionadas por Andrade *et al.* (2007), para esta espécie, e por Longstreth e Borkhsenius

(2000), para *Sagittaria lancifolia*. Já a sinuosidade nas paredes das células exodérmicas foi registrada por Perumalla *et al.* (1990), característica geralmente associada com a presença das estrias de Caspary, de acordo com Bona e Morretes (2003). Seago *et al.* (2000a) observaram estrias de Caspary na exoderme espessada de *Pontederia cordata* com o uso de técnicas mais específicas. Estrias de Caspary na exoderme também foram identificadas por Seago *et al.* (2000b), para *Caltha palustris* e *Nymphaea odorata*, e por Barnabas (1996) e Perumalla *et al.* (1990), para diversas espécies. No presente estudo, nenhuma espécie apresentou estrias de Caspary na exoderme.

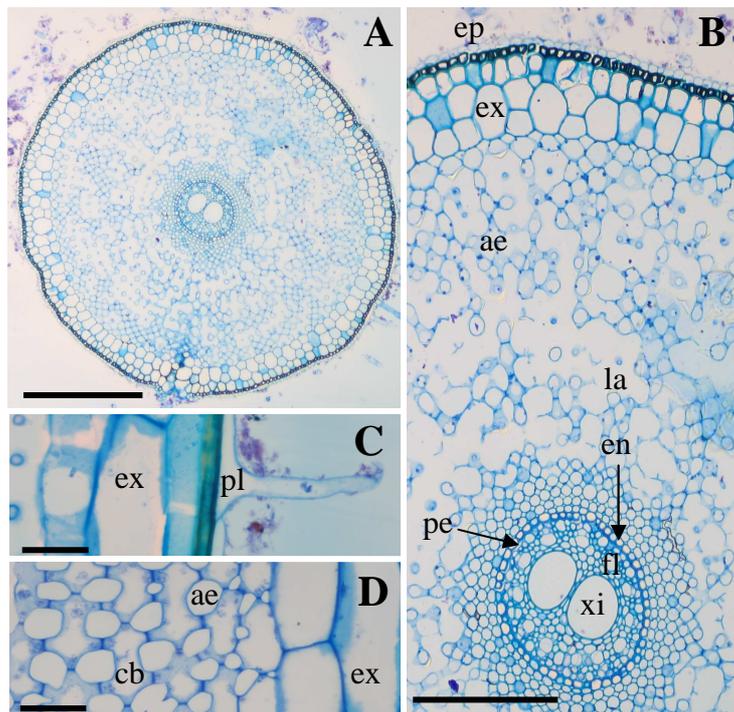


Figura 5. *Oxycarium cubense* (Cyperaceae). A: Seção transversal. B: Córtex. C: Região periférica em seção longitudinal. D: Córtex em seção longitudinal. (ae: aerênquima, cb: células braciformes, en: endoderme, ep: epiderme, ex: exoderme, fl: floema, la: lacuna, pe: periciclo, pl: pêlo, xi: xilema). Barras: 400 μm (A); 200 μm (B); 50 μm (C, D).

A exoderme de *Oxycarium cubense* é pluriestratificada, onde a primeira camada possui espessamento em “O” e as outras três camadas são, progressivamente, menos espessadas (Fig. 5B). Enquanto que a exoderme de *Eichhornia azurea* é levemente espessada (Fig. 4C). Fabbri *et al.* (2005) observaram espessamento da exoderme em *Paspalum modestum* e *Paspalum wrightii*, e Seago *et al.* (2000b) para *Caltha palustris* e *Nymphaea odorata*. Coan *et al.* (2002) registraram uma exoderme com células levemente espessadas em seis espécies aquáticas de Eriocaulaceae. Perumalla *et al.* (1990) sugerem que todas as exodermes suberizadas provavelmente possuam estrias de Caspary. Porém, Bona e Morretes

(2003) apontam para a necessidade de maiores estudos que comprovem a presença ou ausência das estrias de Caspary na exoderme.

A maior parte do córtex é constituída de aerênquima em todas as espécies analisadas, com lacunas grandes dispostas radialmente (Fig. 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 7A e 6A), ou espaços menores (Fig. 5A). As lacunas são separadas entre si por septos com oito estratos celulares em *Polygonum ferrugineum* (Fig. 3A) e com doze estratos celulares em *P. hydropiperoides* e *P. stelligerum* (Fig. 3B e 3C). As células dos septos são isodiamétricas de diferentes tamanhos e com poucos espaços intercelulares, sendo alongadas longitudinalmente. Este tipo de aerênquima foi observado por Deuner *et al.* (2007), em outra espécie do mesmo gênero, *Polygonum punctatum*, por Seago *et al.* (2005), em *Rumex crispus* (Polygonaceae) e outras espécies aquáticas, e ainda, por Seago *et al.* (2000b), para *Nymphaea odorata*.

O aerênquima em *Sagittaria montevidensis* (Fig. 6B), *Pontederia cordata* (Fig. 4D) e *Eichhornia azurea* (Fig. 4C) é composto por septos de células totalmente colabadas, o que impossibilita a contagem dos estratos celulares. Células colabadas no aerênquima foram observadas nos estudos de Fabbri *et al.* (2005), em *Paspalum modestum*; Seago *et al.* (2005), em *Pontederia cordata* e *Glyceria máxima*; Bona e Morretes (2003), em *Bacopa salzmanii* e *B. monnieroides*; Coan *et al.* (2002), em *Tonina fluviatilis*; Seago *et al.* (2000a), em *Pontederia cordata*; Schussler e Longstreth (2000), em *Sagittaria lancifolia*, e por Longstreth e Borkhsenius (2000), para a mesma espécie e ainda *Thalia geniculata* e *Pontederia cordata*.

No estudo de Fabbri *et al.* (2005), o aerênquima nas raízes resultou da morte e posterior colapso celular. Schussler e Longstreth (2000) relacionaram a lise das células corticais a um tipo de morte celular programada, chamada de PCD – programmed cell death. Porém, não observaram morte celular em *Sagittaria lancifolia*. Longstreth e Borkhsenius (2000) citaram que durante a formação do aerênquima de *S. lancifolia*, as células alongam-se paralelamente ao raio da raiz, diminuindo perpendicularmente ao plano do raio, formando fileiras longas e finas, sem causar, necessariamente, a morte celular. Os autores verificaram a ultraestrutura celular e encontraram organelas, como o complexo de golgi e mitocôndrias.

Em *Oxycarium cubense*, o aerênquima é constituído por doze a quinze estratos de células brachiformes curtas (Fig. 5B e 5D). Este tipo de célula também foi observado por Menezes *et al.* (2005), para *Cyperus papyrus*, e por Rodrigues e Estelita (2004), para *Cyperus giganteus*, que consideram este aerênquima característico da família Cyperaceae. Coan *et al.*

(2002) também encontraram células braciiformes, no aerênquima de espécies aquáticas de Eriocaulaceae, ocorrendo uma variação no tamanho e número de “braços”, que, segundo os autores, pode ser utilizada na filogenia da família.

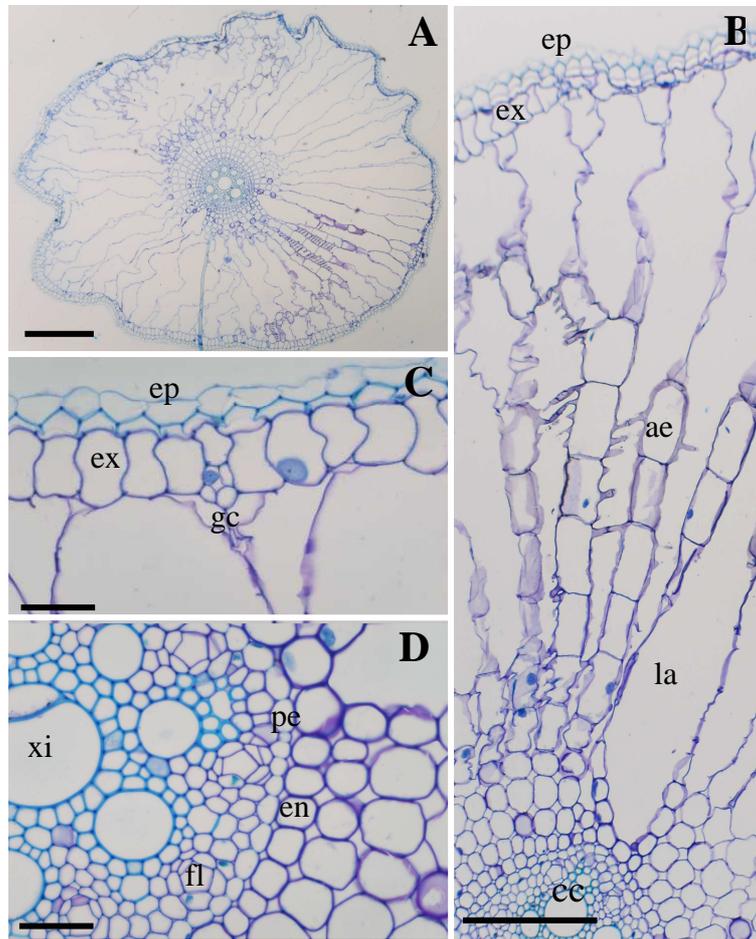


Figura 6. *Sagittaria montevidensis* (Alismataceae). A: Seção transversal. B: Córtex. C: Detalhe da figura B. D: Cilindro central. (ae: aerênquima, cc: cilindro central, en: endoderme, ep: epiderme, ex: exoderme, fb: fibras, fl: floema, gc: grupo celular, la: lacuna, me: macrosclereídes, pe: periciclo, xi: xilema). Barras: 400 μ m (A); 200 μ m (B); 50 μ m (C,D).

Em *Echinodorus grandiflorus*, grande parte das células do aerênquima, em raízes jovens, se encontra colabada, rompendo-se com maior facilidade do que nas espécies anteriores, durante o manuseio (Fig. 7A). Esse processo culmina na perda total desta porção do córtex em raízes mais velhas, nas quais permanece o cilindro central protegido por uma endoderme muito espessada, com reforço em “O” (Fig. 7B e 7C). Não foi encontrado processo semelhante na literatura pesquisada, o que evidencia a necessidade da continuação dos estudos com esta espécie. No entanto, é possível deduzir que o rompimento das células colabadas do aerênquima em raízes jovens, torna toda a porção externa a este tecido vulnerável e suscetível a uma completa desestruturação.

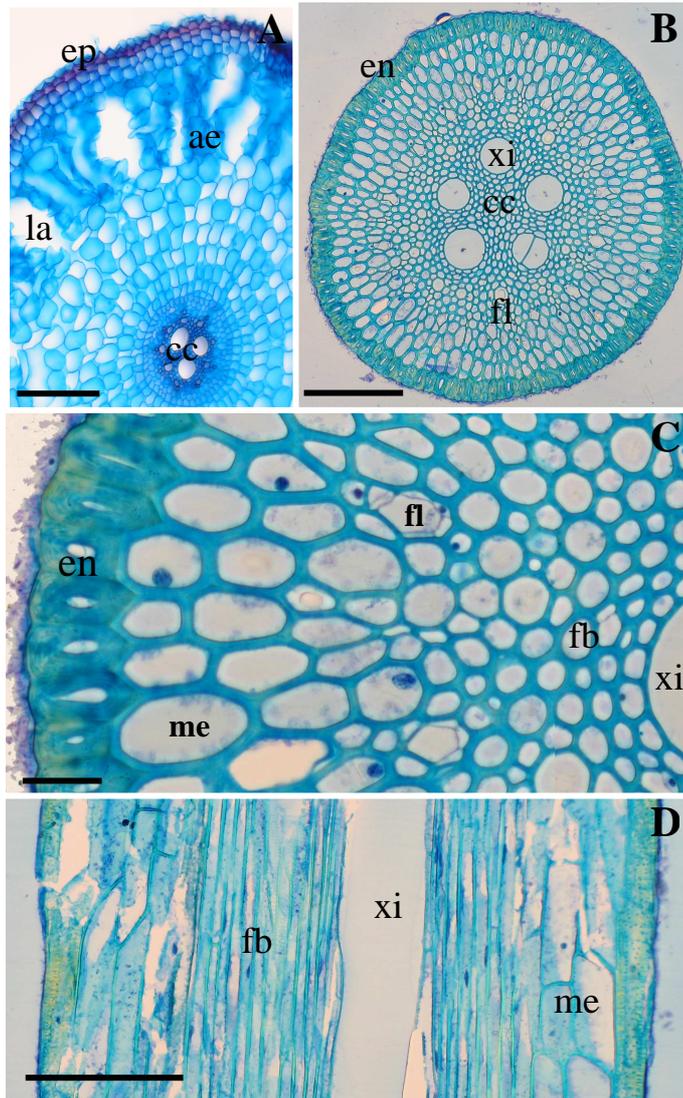


Figura 7. *Echinodorus grandiflorus* (Alismataceae). A: Seção transversal de raiz jovem. B: Cilindro central da raiz. C: Detalhe da figura B. D: Seção longitudinal. (ae: aerênquima, cb: células braciformes, en: endoderme, ep: epiderme, ex: exoderme, fb: fibras, fl: floema, la: lacuna, me: macroesclereídes, pe: periciclo, pl: pêlo, xi: xilema). Barras: 200 μm (A,B,D); 50 μm (C).

Esta planta apresenta raízes laterais dilatadas no terço apical das raízes de maior calibre (Fig. 2B e 2C). Estas raízes diferem das demais não só morfologicamente como anatomicamente. A epiderme é fragmentada, com exoderme de células achatadas, compondo um a dois estratos sem espessamento (Fig. 8C). O parênquima cortical possui até quatro estratos de células mais ou menos isodiamétricas, com paredes delgadas e espaços intercelulares pequenos (Fig. 8A e 8C). A endoderme não é espessada e no cilindro central, o periciclo é composto de células de tamanho variado, possuindo três pólos de xilema (Fig. 8B). O córtex parenquimático com espaços diminutos e o cilindro central reduzido e pouco lignificado são diferenças marcantes entre os dois tipos de raízes.

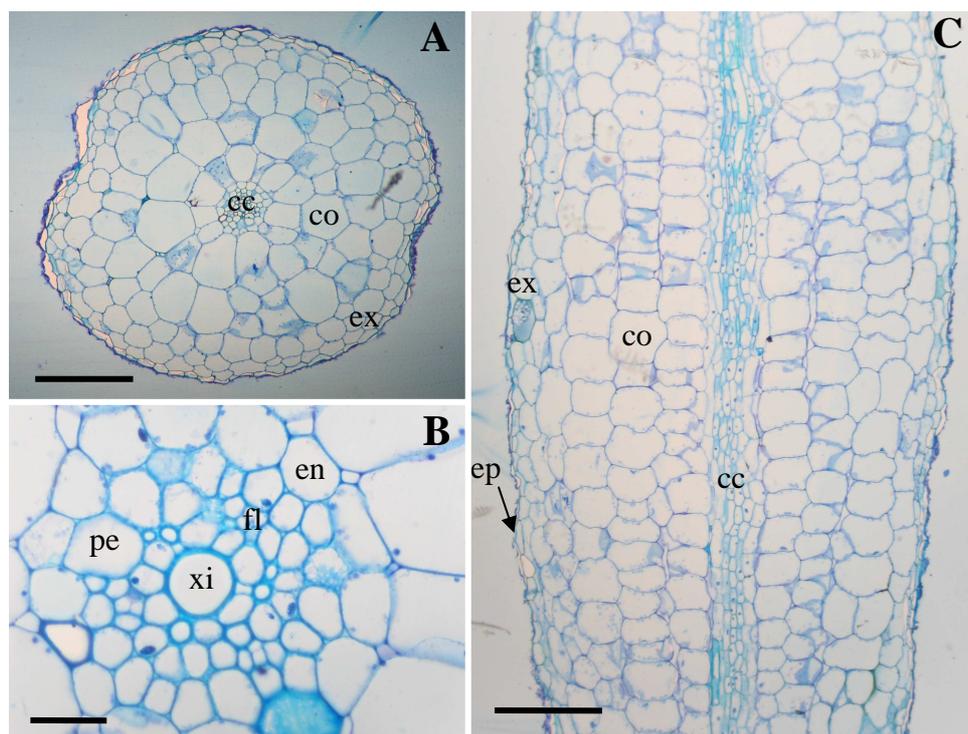


Figura 8. Raiz lateral dilatada de *Echinodoros grandiflorus*. A: Seção transversal. B: Detalhe do cilindro central da figura A. C: Seção longitudinal. (cc: cilindro central, co: córtex, en: endoderme, ep: epiderme, ex: exoderme, fl: floema, pe: periciclo, xi: xilema). Barras: 400 μ m (A); 200 μ m (B); 50 μ m (C).

Seago *et al.* (2005) sugerem, para o desenvolvimento do aerênquima, oito diferentes padrões para este tecido. As espécies consideradas no presente estudo apresentam semelhança com alguns destes padrões. No desenvolvimento do aerênquima do tipo expansígeno (“favo-de-mel” e radial), encontrado nas famílias Polygonaceae e Pontederiaceae, a expansão de espaços intercelulares origina lacunas sem ocasionar colapso ou morte celular. No desenvolvimento do aerênquima do tipo lisígeno (tangencial e “pacote”), encontrado nas famílias Cyperaceae e Alismataceae, as lacunas surgem após colapso e muitas vezes, morte celular.

Com o padrão expansígeno “favo-de-mel”, assemelham-se *Polygonum ferrugineum*, *P. hydropiperoides*, *P. stelligerum* (Fig. 3A, 3B e 3C). No padrão expansígeno radial enquadram-se *Eichhornia azurea* e *Pontederia cordata* (Fig. 4C e 4D). No padrão lisígeno tangencial, o colapso e morte são precedidos de separações celulares tangenciais, mantendo as fileiras radiais celulares relativamente intactas. Neste padrão assemelha-se *Oxycarium cubense* (Fig. 5B). E no padrão lisígeno “pacote”, são as células dispostas em fileiras radiais que colapsam, originando lacunas radiais largas, encontrado em *Sagittaria*

montevidensis e *Echinodorus grandiflorus* (Fig. 6B e 7A), possuem aerênquima semelhante. Essa nova terminologia, desenvolvimento expansígeno, de Seago *et al.* (2005), tem sido utilizada, recentemente, por outros autores como Mühlenbock *et al.* (2007), Shimamura *et al.* (2007) e Liang *et al.* (2008).

A formação de aerênquima, no entanto, não pode ser considerada regra entre as macrófitas aquáticas. No mesmo estudo de Seago *et al.* (2005), entre as 85 espécies estudadas, muitas não desenvolvem este tecido, pertencentes às ordens Poales, Gunnerales, Saxifragales, Malpighiales, Fabales, Ericales, Lamiales e Asterales.

Na endoderme de *Polygonum ferrugineum*, *P. hydropiperoides*, *P. stelligerum*, *Eichhornia azurea*, e *Oxycarium cubense* não foram observadas estrias de Caspary. Em *Sagittaria montevidensis* e *Pontederia cordata*, as estrias de Caspary são pouco evidentes e nas raízes jovens de *Echinodorus grandiflorus*, muito evidentes. A endoderme possui ligeiro espessamento em *Pontederia cordata* (Fig. 4D). Em *Polygonum ferrugineum* e *P. stelligerum*, algumas células da endoderme sofrem colabamento. A endoderme em *Eichhornia azurea* (Fig. 4C), *Oxycarium cubense* (Fig. 5B) e em *Echinodorus grandiflorus* (Fig. 7B e 7C) demonstrou um espessamento em “O”. Nesta última, o espessamento é maior ocasionando a redução do lume celular. Coan *et al.* (2002) não encontraram estrias de Caspary na endoderme de espécies de Eriocaulaceae, apenas suberização. Barnabas (1996) relata ausência de estrias de Caspary e de suberização da endoderme para *Egeria densa* e *Eichhornia crassipes*. Porém, Seago *et al.* (2000b), Bona e Morretes (2003), Rodrigues e Estelita (2004), Menezes *et al.* (2005) e Andrade *et al.* (2007), observaram estrias de Caspary e espessamento na endoderme de diferentes espécies aquáticas.

Nos estudos de Seago *et al.* (2000ab), Bona e Morretes (2003), Rodrigues e Estelita (2004), Menezes *et al.* (2005) e Seago *et al.* (2005), a endoderme jovem possui importante papel meristemático, originando camadas celulares da porção mediana do córtex, região esta que com o amadurecimento da raiz torna-se aerênquima. De acordo com estes autores, em algumas espécies as primeiras camadas originadas a partir da endoderme apresentam-se espessadas, com células dispostas radialmente. Este espessamento das primeiras camadas a partir da endoderme pode ser observado em *Eichhornia azurea* (Fig. 4C), *Pontederia cordata* (Fig. 4D), *Oxycarium cubense* (Fig. 5B) e *Sagittaria montevidensis* (Fig. 6D). Em *Polygonum ferrugineum* (Fig. 3D), *P. hydropiperoides* (Fig. 3E), *P. stelligerum* (Fig. 3F) e *Echinodorus grandiflorus* (Fig. 7A), este espessamento não é evidente, embora a disposição radial das células sugira a atividade meristemática da endoderme.

Entretanto, apenas estudos de ontogênese confirmariam a atividade meristemática da endoderme destas espécies.

No cilindro central, de todas as espécies, o periciclo é unisseriado com células de paredes finas, apresentando-se com variações, no tamanho e forma celulares, em *Polygonum ferrugineum* (Fig. 3D), *P. stelligerum* (Fig. 3F), *Echinodorus grandiflorus* (Fig. 7B e 7C), e *Oxycarium cubense* (Fig. 5B). É interrompido por pólos de floema em *Sagittaria montevidensis* (Fig. 6B), *Eichhornia azurea* (Fig. 4C), *Pontederia cordata* (Fig.4D) e *Echinodorus grandiflorus* (Fig. 8B). Porém é contínuo em *Polygonum hydropiperoides* (Fig. 3E). No estudo de Coan *et al.* (2002), o periciclo de algumas Eriocaulaceae é também constituído por elementos de protoxilema, que chegam até a endoderme.

Há uma dificuldade para identificar os pólos de xilema e também a localização do floema, especialmente em *Polygonum ferrugineum* (Fig. 3D), *P. hydropiperoides* (Fig. 3E) e *P. stelligerum* (Fig. 3F). Nas demais espécies, os pólos de xilema são em número variável, de cinco a seis em *Pontederia cordata* (Fig. 4D); oito em *Sagittaria montevidensis* (Fig. 6D), de nove a dez em *Eichhornia azurea* (Fig. 4C), onze em *Echinodorus grandiflorus* (Fig.7B e 7C), e doze em *Oxycarium cubense* (Fig. 5B). Sculthorpe (1985) também relatou dificuldade para identificar os tecidos condutores em algumas espécies de plantas aquáticas, já que muitas exibem vários graus de redução.

No cilindro central de *Echinodorus grandiflorus* ocorre uma predominância de fibras ao redor dos tecidos condutores, sendo algumas septadas, (Fig. 7D). Na porção mais externa do cilindro central predominam macroesclereídes em até quatro estratos (Fig. 7D). De acordo com Sculthorpe (1985), alguns gêneros de Alismataceae possuem espessamento mais evidente no cilindro central, o que foi confirmado para *Echinodorus grandiflorus*.

Referências

- ANDRADE, M. A. *et al.* Organização estrutural da raiz e folha de *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltdl, Alismataceae. *Rev. Bras. Biocienc.*, Porto Alegre, v.5, supl.1 p.117-119, 2007.
- ARMSTRONG, W. Aeration in higher plants. *Adv. Bot. Res.*, London, v.7, p.225-332, 1979.
- BARNABAS, A. D. Casparian band-like structure in the root hypodermis of some aquatic angiosperms. *Aquat. Bot.*, Amsterdam, v.55, p.217-225, 1996.

- BIANCHINI JUNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: Eduem, cap.4, p.85-126, 2003.
- BONA, C.; MORRETES, B. L. Anatomia das raízes de *Bacopa salzmanii* (Benth.) Wettst. Ex Edwall e *Bacopa monnierioides* (Cham.) Robinson (Scrophulariaceae) em ambientes aquático e terrestre. *Acta Bot. Bras.*, Porto Alegre, v.17, n.1, p.155-170, 2003.
- COAN, A. I. *et al.* Anatomia de algumas espécies aquáticas de Eriocaulaceae brasileiras. *Acta Bot. Bras.*, Porto Alegre, v.16, n.4, p.371-384, 2002.
- CRAWFORD, R. M. M. *Plant life in aquatic and amphibious habitats*. Oxford: Scientific Publications, 1987.
- DEUNER, S. *et al.* Respostas anatômicas de plantas de erva-de-bicho (*Polygonum punctatum* Elliot) submetidas ao alagamento. *Rev. Bras. Biocienc.*, Porto Alegre, v.5, supl.1 p.120-122, 2007.
- ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.
- FABBRI, L. T. *et al.* Different patterns of aerenchyma formation in two hygrophytic species of *Paspalum* (Poaceae) as response to flooding. *Flora*, London, v.200, p.354-360, 2005.
- GERRITS, P. O. *The application of glycol methacrylate in histotechnology: some fundamental principles*. Groningen: Department of Anatomy and Embryology State University, 1991.
- JENSEN, W. A. *Botanical histochemistry: principles and practice*. San Francisco: W. H. Freeman, 1962.
- JOLY, C. A. Flooding tolerance: a reinterpretation of Crawford's metabolic theory. *Proc. R. Soc. Edimb.*, Edimburg, 1 02B, p.343-354, 1994.
- JUNK, W.J. *et al.* The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, Ottawa, v.106, p.110-127, 1989.
- LIANG, F. *et al.* Formation of intercellular gas space in the diaphragm during the development of aerenchyma in the leaf petiole of *Sagittaria trifolia*. *Aquat. Bot.*, Amsterdam, v.88, n. 3, p.185-195, 2008.
- LONGSTRETH, D. J.; BORKHSENIUS, O. N. Root cell ultrastructure in development aerenchyma tissue of three wetland species. *Ann. Bot.*, London, v.86, p.641-646, 2000.

- MENEZES, N. L. *et al.* Meristematic activity of the endodermis and the pericycle in the primary thickening in monocotyledons. Considerations on the "PTM". *An. Acad. Bras. Cien.*, Rio de Janeiro, v.77, n.2, p.259-274, 2005.
- MÜHLENBOCK, P. *et al.* Lysigenous aerenchyma formation in *Arabidopsis* is controlled by lesion simulating disease 1. *Pl. Cell.*, Stockholm, v.19, p.3819-3830, 2007.
- NEIFF, J.J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*, Caracas, v.15, n.6, p.424- 441, 1990.
- O'BRIEN, T. P. *et al.* Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. *Protoplasma*, New York, v.59, p. 73-368, 1964.
- PERUMALLA, C. J. *et al.* A survey of angiosperm species to detect hypodermal casparian bands. I. Roots with a uniseriate hypodermis and epidermis. *Bot.l J. Linn. Soc.*, London, v.103, p.93-112, 1990.
- POTT, V. J.; POTT, A. Dinâmica da vegetação aquática do Pantanal. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: Eduem, cap.6, p.145-162, 2003.
- RODRIGUES, A. C.; ESTELITA, M. E. Anatomia da raiz de *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae) em desenvolvimento. *Rev. Bras. Bot.*, São Paulo, v.27, n.4, p.629-638, 2004.
- SCHUSSLER, E. E.; LONGSTRETH, D. J. Changes in cell structure during the formation of root aerenchyma in *Sagittaria lancifolia* (Alismataceae). *Am. J. Bot.*, Columbus, v.87, n.1, p.12-19, 2000.
- SCULTHORPE, C. D. *The biology of aquatic vascular plants*. London: Edward Arnold, 1985.
- SEAGO, J. L. Jr. *et al.* Cortical development in roots of the aquatic plant *Pontederia cordata* (Pontederiaceae). *Am. J. Bot.*, Columbus, v.87, n.8, p.1116-1127, 2000a.
- SEAGO, J. L. Jr. *et al.* Development and structure of the root cortex in *Caltha palustris* L. and *Nymphaea odorata* Ait. *Ann. Bot.*, London, v.86, p.631-640, 2000b.
- SEAGO, J. L. Jr. *et al.* A re-examination of the roots cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. *Ann. Bot.*, London, v.96, p.565-579, 2005.
- SHIMAMURA, S. *et al.* Cortical aerenchyma formation in hypocotyls and adventitious roots of *Luffa cylindrica* subjected to soil flooding.. *Ann. Bot.*, London, v.100, n. 7, p.1431-1439,

2007.

SILVA-BRAMBILLA, M. G.; MOSCHETA, I. S. Anatomia foliar de Polygonaceae (Angiospermae) da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Sci.*, Maringá, v.12, n.2, p.571-585, 2001.

THOMAZ, S. M. *et al.* Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A. E. A. de M. *et al.* (Ed.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: Eduem, cap.1. 3, p.73-102, 1997.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Análise crítica dos estudos sobre macrófitas aquáticas desenvolvidos no Brasil. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: Eduem, cap.1, p.19-38, 2003.

THOMAZ, S. M. *et al.* Aquatic macrophytes from the upper Paraná river floodplain: species list and patterns of diversity in large scale. In: AGOSTINHO, A. A. *et al.* (Ed.). *Structure and functioning of the Paraná river and its floodplain*. Maringá: Eduem, cap.2, p.221-225, 2004.