

Mayara Souza da Silva

TRAÇOS MORFOANATÔMICOS EM SISTEMA SUBTERRÂNEO DE
DASYPHYLLUM SPRENGELIANUM (GARDNER) CABRERA (ASTERACEAE):
IMPORTÂNCIA DIAGNÓSTICA E ECOLÓGICA

RECIFE
2022

Mayara Souza da Silva

TRAÇOS MORFOANATÔMICOS EM SISTEMA SUBTERRÂNEO DE
DASYPHYLLUM SPRENGELIANUM (GARDNER) CABRERA (ASTERACEAE):
IMPORTÂNCIA DIAGNÓSTICA E ECOLÓGICA

Dissertação para apresentação ao Programa de
Pós Graduação em Biologia Vegetal da
Universidade Federal de Pernambuco para
obtenção do título de Mestre em Biologia
Vegetal.

Orientadora: Emilia Cristina Pereira de Arruda.

Co-orientador: Benoît Francis Patrice Loeuille

Área de concentração: Ecologia e Conservação

Linha de Pesquisa: Ecofisiologia e Anatomia

RECIFE
2022

Catálogo na Fonte:
Bibliotecária Elaine Cristina Barroso, CRB4/1728

Silva, Mayara Souza da

Traços morfoanatômicos em sistema subterrâneo de *Dasyphyllum sprengelianum* (Gardner) *Cabrera* (Asteraceae): importância diagnóstica e ecológica / Mayara Souza da Silva – 2022.

47 f. : il., fig., tab.

Orientadora: Emilia Cristina Pereira de Arruda

Coorientador: Benoît Francis Patrice Loeuille

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, Recife, 2022.

Inclui referências e anexos.

1. Asteraceae. 2. Raízes (Botânica) 3. Caatinga I. Arruda, Emilia Cristina Pereira de (orient). II. Loeuille, Benoît Francis Patrice (coorient.)
III. Título

583.99

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2022-174

Mayara Souza da Silva

TRAÇOS MORFOANATÔMICOS EM SISTEMA SUBTERRÂNEO DE
DASYPHYLLUM SPRENGELIANUM (GARDNER) CABRERA (ASTERACEAE):
IMPORTÂNCIA DIAGNÓSTICA E ECOLÓGICA

Aprovada em: 23/11/2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Emília Cristina Pereira de Arruda (Orientadora) –

UFPE Prof. Dra. Cláudia Ulisses de Carvalho Silva – UFRPE

Prof. Dra. Natália Maria Corte Real de Castro – UNIBRA

RECIFE
2022

*Dedico este trabalho a Deus, o maior
orientador da minha vida. Ele nunca me
abandonou nos
momentos de necessidade*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo, até mesmo pelas dificuldades. Sem elas não há aprendizado, sem aprendizado não há crescimento, sem crescimento não é vida.

A minha mãe Rute Maria, que me ensinou desde cedo que nada é ou vem fácil. Obrigada por se orgulhar das minhas conquistas e acreditar em mim, obrigada por me fazer entender que tudo é possível. A senhora é uma mãe maravilhosa.

Agradeço ao meu pai Linaldo, que mesmo sem entender muito bem com o que trabalho, está sempre me apoiando. Obrigada por tudo que fez e faz por mim.

Ao meu Avô Clóvis Inácio (*in memoriam*) que me ensinou a amar, perdoar e sempre buscar o melhor de mim mesma.

A minha tão amada e inesquecível tia Lindomar (*in memoriam*) uma mãe. Obrigada por ajudar a me criar, me mostrar o caminho certo e sempre ter me dado o seu melhor.

A minha irmã Milena, obrigada pelo apoio, incentivo e tantos outros gestos de amor e carinho. Te amo.

Ao meu cunhado Johan, pessoa que me mostra diariamente que o sol nasce para todos. Sua garra me motivou e me motiva até hoje, meu segundo pai e grande incentivador.

Ao meu sobrinho Miqueias, obrigada por me socorrer com o “Pc” sempre que necessário, você é 10 .

Ao Rafael Silva, por todas as frases e gestos motivacionais, obrigada querido.

A minha querida orientadora Emilia, que ao longo desses anos me ensinou não apenas a interpretar artigos ou executar técnicas na bancada, mas também me ensinou sobre generosidade, sobre colocar as necessidades do meu próximo em evidência. Obrigada por sempre ofertar o seu melhor, mesmo nos momentos mais difíceis para senhora.

Um muito obrigada a uma carona recebida em julho de 2019, após a volta de uma coleta em Minas Gerais, obrigada ao Sr. Eraldo José de Arruda e a Sra. Maria do Carmo Pereira de Arruda (*in memoriam*) pela bondade, pela boa e doce conversa, por

me deixar em segurança em minha casa. Minha eterna gratidão.

Ao meu coorientador Benoît Francis Patrice Loeuille, obrigada por me ajudar na escolha da espécie. Você estava certo, *Dasyphyllum sprengelianum* é mesmo diferente e especial. Obrigada por ser acessível e estar sempre disposto a ajudar.

Ao Prof. Dr. Rafael Farias, obrigada por todas as correções, aprendi muito com seus comentários.

Quero agradecer em especial a uma pessoa que sempre me incentivou a ir para o (LAVeg) Daniela Braz Ribeiro. Dani, obrigada pela paciência, obrigada por me ensinar a fazer minha primeira lâmina (guardo até hoje), obrigada por me motivar. O seu conselho está mudando a minha vida. Gratidão.

Meu muito obrigada a Maria Andreza Correia. Mara, minha amiga, obrigada pelo Raven Evert, obrigada por me ajudar a enxergar o meu caminho.

A querida Flaviana Alves, minha primeira orientadora de bancada. Com você aprendi coisas que levarei para eternidade. Obrigada.

Aos meus queridos colegas de laboratório, Célia, Sabrina, Lucas, Alleson, Dani, Aryanee, bem no finalzinho, chegou o Deibson. Com vocês eu errei, aprendi, chorei, sorri e por fim, tomamos muito café. Queridos obrigada, ninguém pode construir uma história sozinho.

A querida professora Gladys Flávia de Albuquerque Melo de Pinna, pela disponibilidade em nos ajudar com os experimentos, e excelente recepção em seu laboratório. Meu muito obrigada a toda sua equipe.

A todos os professores e colegas adquiridos do PPGBV, que ao longo do meu curso de mestrado contribuíram para minha formação. Obrigada.

“Senhor, fazei de mim um instrumento da
Vossa paz.

Onde houver ódio, que eu
leve o amor. Onde houver ofensa,
que eu leve o perdão. Onde
houver discórdia, que eu leve a
união. Onde houver dúvidas, que
eu leve a fé.

Onde houver erro, que eu leve
a verdade. Onde houver
desespero, que eu leve a
esperança.

Onde houver tristeza, que eu
leve a alegria. Onde houver
trevas, que eu leve a luz.

Ó Mestre, fazei que eu
procure mais: consolar,
que ser consolado;
compreender, que ser
compreendido;
amar, que
ser amado. Pois é
dando que se
recebe.

É perdoando que se é
perdoado. É morrendo que se vive
para a vida eterna.”

(Oração de São
Francisco)

RESUMO

Em domínios fitogeográficos áridos como Caatinga, a ocorrência de plantas com sistemas subterrâneos espessados ou intumescidos é frequente. Esses sistemas atuam no armazenamento de água e reservas, garantindo a sobrevivência da planta em períodos desfavoráveis (e.g. regeneração de ramos aéreos e propagação vegetativa). Asteraceae, uma das famílias de maior representatividade e distribuição mundial, possui ampla diversidade de sistemas subterrâneos ainda pouco explorados sob vários aspectos da biologia, inclusive quanto à sua tipificação. Neste estudo, apresenta-se a descrição morfoanatômica do sistema subterrâneo de *Dasyphyllum sprengelianum* ocorrente na Caatinga, buscando identificá-lo quanto ao seu morfotipo, além de avaliar aspectos diagnósticos e implicações ecológicas nesse domínio. A coleta do material botânico foi realizada no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil. Indivíduos inteiros foram retirados do solo, em que a parte subterrânea foi fixada em FAA50%, enquanto as partes reprodutivas foram utilizadas para o registro em herbário. Posteriormente os sistemas subterrâneos foram submetidos à técnicas usuais em anatomia vegetal para análises em microscopia óptica. Os cortes realizados ao longo da estrutura revelaram a maturação centrípeta do xilema primário evidenciando um protoxilema exarco. Além disso, a ausência de gemas adicionais ou reparativas e a presença de tecidos armazenadores, permitiram caracterizar o sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* como uma raiz tuberosa. O espessamento dessa raiz está relacionado a alta proliferação de células do parênquima cortical com sucessivas divisões peri e anticlinais bem como de células xilemáticas. As características morfoanatômicas do sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* evidenciaram uma potencialidade para o armazenamento de água e diversos compostos bem como atuar na condutividade segura constituindo um importante traço morfofisiológico para a sobrevivência da espécie em áreas de Caatinga.

Palavras-chave: Caatinga; Compositae; Morfoanatomia; Raízes Tuberosas.

ABSTRACT

In arid phytogeographic domains such as Caatinga, the occurrence of plants with thickened or swollen underground systems is frequent. These systems act in the storage of water and reserves, ensuring the survival of the plant in unfavorable periods (e.g. regeneration of aerial branches and vegetative propagation). Asteraceae, one of the most representative families of plants worldwide, has a wide diversity of underground systems that have been little explored under several aspects of biology, including its typification. In this study, we present a morphoanatomical description of the underground system of *Dasyphyllum sprengelianum* occurring in Caatinga, seeking to identify it as to its morphotype, besides evaluating diagnostic aspects and ecological implications in this domain. The collection of botanical material was carried out in Catimbau National Park, Pernambuco, Brazil. Whole individuals were removed from the soil, where the underground part was fixed in FAA50, while the reproductive parts were used for herbarium recording. Subsequently, the underground systems were submitted to the usual techniques in plant anatomy for analysis under light microscopy. The sections made along the structure revealed the centripetal maturation of the primary xylem showing an exarchic protoxylem. Moreover, the absence of additional or reparative buds and the presence of storage tissues allowed the underground system of *D. sprengelianum* to be characterized as a tuberous root. The thickening of this root is related to high proliferation of cortical parenchyma cells with successive peri and anticlinal divisions as well as xylematic cells. The morphoanatomical characteristics of the subterranean system of *D. sprengelianum* showed a potentiality for the storage of water and various compounds as well as acting on the safe conductivity constituting an important morpho-physiological trait for the survival of the species in Caatinga areas.

Keywords: Caatinga; Compositae; Morphoanatomy; Tuberous Roots

LISTA DE FIGURAS
Fundamentação teórica

- Figura 1 - *Dasyphyllum sprengelianum*. A. Ramo florido. B. Detalhe do ápice da folha. C. Detalhe dos espinhos nos galhos.....19
- Figura 2 - Estágios sucessivos do desenvolvimento de plantas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob, a partir de fragmento do rizóforo contendo gemas e primórdios de raízes adventícias. (ca = caule aéreo, cf = catafilo, pr = primórdio de raiz adventícia, rd= raiz delgada, rt=raiz tuberosa, rz =rizóforo).....21
- Figura 3 - Secções transversais do rizóforo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. Porção distal, mostrando o córtex reduzido, feixes colaterais dispostos em círculo e medula ampla, perceber catafilo (cf); notar periderme bem desenvolvida.....21
- Figura 4 - *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart. ex Baker. 1. Porção proximal da raiz tuberosa com ramos aéreos (seta). 2. Detalhe da raiz tuberosa com áreas de contração (Co).....22
- Figura 5 - *Gyptis lanigera* (Hook. & Arn.). Secção transversal da raiz tuberosa, observar periciclo proliferado e periderme estratificada.....22
- Figura 6 - *Lessingianthus bardanoides* (Less) H. Rob. Vista geral do xilopódio (X), observar a emissão de ramos aéreos (Rc) e raízes adventícias (Ra).....23
- Figura 7 – *Aldama kunthiana* (Gardner) E.E.Schill. & Panero. Corte transversal do xilopódio. Notar canais secretores no córtex (setas); canais secretores no floemasecundário (*) e esclereídes (Ec).....24

Artigo

- Figura 1.** *Dasyphyllum sprengelianum* (Gadner) Cabrera, Caatinga. A. analisadas quanto à anatomia. Notar estruturas nodais(setas). B-D. Secção transversal da região 1. B. Observar a região cortical amplamente desenvolvida, raios vasculares (setas) e o ilema secundário (Xs) desenvolvido. C. Camadas do periciclo fibroso (seta) e a endoderme com estrias de Caspary (setas). D. Protoxilema exarco (seta) E-G. Secções transversais da região 2. E. Vista geral da raiz tuberificada. F. Periderme (seta). G. Macroesclereídes agrupadas (setas). Co-Córtex.Xp-Xilema primário. Barras: B: 500µm; C:100µm; D: 100µm; E: 500µm; F:200µm; G:200µm.....46

Figura 2. *Dasyphyllum sprengelianum* (Gadner) Cabrera, Caatinga. Secções transversais da região mais tuberosa (3 da figura 1a). A-B. Região cortical amplamente desenvolvida destacando células parenquimáticas e esclereídes em grupo. Notar a presença da periderme revestindo o órgão (pontas de setas). C-D. Detalhes do sistema vascular. C. Protoxilema exarco na porção tuberizada da raiz (seta). D. Raios do parênquima (Rp) mais largos alternado com o sistema axial. Observar grupos de esclereídes próximo a região medular (*).48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 CAATINGA.....	15
2.2 SOLO.....	16
2.3 SISTEMAS SUBTERRÂNEOS: DESENVOLVIMENTO E FUNCIONALIDADES.....	17
2.4 SISTEMAS SUBTERRÂNEOS EM ASTERACEAE.....	19
REFERÊNCIAS.....	25
MANUSCRITO.....	29
RESUMO.....	31
1 INTRODUÇÃO.....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 Área de estudo e design amostral.....	34
2.2 Preparação e análises do material botânica.....	34
3 RESULTADOS.....	35
3.1 Morfoanatomia de <i>Dasyphyllum spengelium</i>	35
4 DISCUSSÃO.....	36
5 CONCLUSÕES.....	38
6 AGRADECIMENTOS.....	38
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXOS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Com ocorrência exclusiva no Brasil, a Caatinga abrange a Região Nordeste do país, ocorrendo também em um pequeno trecho da Região Sudeste (norte do Estado de Minas Gerais), onde predomina o clima semiárido, e com baixo regime pluviométrico. Esse domínio fitogeográfico apresenta diferentes características em sua fisionomia, entre elas diferentes tipos de solo e espécies vegetais. Em regiões semiáridas, a sobrevivência de espécies vegetais depende da combinação de características morfológicas, anatômicas e fisiológicas capazes de tornar as espécies aptas a sobreviverem às condições ambientais como: alta temperatura, baixa umidade atmosférica e disponibilidade hídrica.

Algumas plantas apresentam adaptações estruturais evidentes, como órgãos armazenadores de água. Dentre os órgãos vegetais, os sistemas subterrâneos possuem importantes características consideradas xeromórficas como o fato de serem superficiais, tuberificados e armazenadores, associadas a funções como o armazenamento de nutrientes e água, multiplicação de indivíduos novos (i.e. raízes gemíferas), como ocorre em representantes da família Asteraceae.

A família Asteraceae é a mais diversa das angiospermas, com milhares de espécies vegetais. Essas espécies estão subdivididas em três subfamílias (Asteroideae, Barnadesioideae e Cichorioideae), distribuídas ao redor do mundo, exceto a Antártida. Os membros dessa família são reconhecidos por possuírem valor econômico e medicinal. As espécies possuem hábito herbáceo, subarborescente ou arbustivo e, raramente, arbóreo ou escandente. São altamente diversificadas, principalmente no que se refere ao habitat e as suas formas de vida.

Uma das características mais marcantes e diversificadas da família Asteraceae são os seus sistemas subterrâneos desenvolvidos, que apresentam capacidade de armazenar substâncias que podem ser translocadas em períodos desfavoráveis como durante a estação seca na Caatinga, além de garantir a sobrevivência após períodos de queimadas, permitindo dessa forma uma rebrota em alguns casos. Embora apresente ampla importância ecológica, os sistemas subterrâneos de Asteraceae ainda guardam inúmeras lacunas para sua compreensão taxonômica, ecológica e evolutiva, e estudos anatômicos podem contribuir para esclarecer essas questões.

Os sistemas subterrâneos de muitas Asteraceae ainda são uma incógnita, embora haja predomínio de raízes não tuberosas e tuberosas, além dos clássicos xilopódios. Cada um desses sistemas possui um importante papel ecológico para a sobrevivência das diferentes espécies em um determinado ambiente, sendo fundamental sua identificação. *Dasyphyllums prengelianum*, a espécie aqui estudada, é um interessante modelo para estudos de sistemas subterrâneos, uma vez que ocorre em domínios como Caatinga e Cerrado cujo sistema subterrâneo ainda não foi classificado, sendo esse um dos propósitos do presente estudo. A classificação dos sistemas subterrâneos bem como uma avaliação de sua importância ecológica, tem sido um dos propósitos do uso da anatomia vegetal, a qual utiliza critérios como: presença de estruturas gemíficas, tecidos lenhosos e lignificados, além da ocorrência de tecidos armazenadores como parênquima aquífero e amilífero, sendo esses os critérios aqui utilizados.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo descrever a morfoanatomia do sistema subterrâneo de *D. Sprengelianum*, visando identificar caracteres indicativos de adaptações às condições ambientais da Caatinga. Os dados obtidos serão utilizados na taxonômica, bem como na compreensão do papel ecológico dessa estrutura para a referida espécie. Tal abordagem visa contribuir com futuras pesquisas ecológicas e evolutivas com os sistemas subterrâneos de Asteraceae.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CAATINGA

O domínio fitogeográfico da Caatinga ocupa uma área de cerca de 750.000 Km² sob as latitudes sub-equatorial compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' Latitude Sul e engloba partes dos territórios pertencentes aos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte de Minas Gerais. Sua área corresponde a 54% da Região Nordeste e a 11% do território brasileiro e constitui o chamado Polígono das Secas (SILVA, 2009). A Caatinga tem uma fisionomia de deserto, com índices pluviométricos muito baixos, em torno de 250 a 900 mm anuais. Enquanto que as médias mensais de temperatura variam pouco na região, sendo mais afetadas pela altitude que por variações em insolação, as variações diárias de temperatura e umidade são bastante pronunciadas, tanto nas áreas de planície como

nas regiões mais altas do planalto (ALVES, 2009). Esse domínio fitogeográfico se caracteriza por apresentar terrenos cristalinos praticamente impermeáveis e terrenos sedimentares que se apresentam com boa reserva de água subterrânea. Os solos, com raras exceções, são pouco desenvolvidos, mineralmente ricos, pedregosos e pouco espessos e com fraca capacidade de retenção da água, fator limitante, a região é composta de vários tipos diferentes de rochas (ALVES, 2007).

Nas áreas de planície as rochas prevaletentes têm origem na era Cenozóica as quais se encontram cobertas por uma camada de solo bastante profunda e com afloramentos rochosos. No caso específico da Caatinga, essa grande heterogeneidade de solos afeta na flora, e reflete adaptações as condições locais de clima e solo. Análises fitogeográficas têm demonstrado que diferenças no solo exercem um papel fundamental nas diferenças ecológicas e florísticas (ALVES, 2009).

2.2 SOLO

Alguns autores, como Rosolem (1995) evidenciaram que a presença de elementos tóxicos, disponibilidade hídrica, aeração e resistência mecânica à penetração, podem afetar o desenvolvimento radicular. Neste mesmo contexto, Taylor e Brar (1991) mencionam que o arranjo estrutural do solo, a consistência, a porosidade total, o número e tamanho dos poros e adifusão de gase são afetados pela compactação, e, conseqüentemente, afeta o crescimento do sistema radicular.

A resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas em cada espécie a fim de se adaptarem, evidenciando uma estreita relação entre porosidade do solo e crescimento radicular (FOLONI,2003; MATERCHERA et al., 1992).

Esses fatores podem gerar mudanças morfoanatômicas em estruturas subterrâneas de plantas. Pesquisas envolvendo sistemas subterrâneos espessos são diversas na literatura (ANDRADE, 2013; MELO, 2008), mostrando a importância de associar estudos anatômicos e do solo.

Souza e colaboradores (2015) relatam que os solos de Caatinga apresentam uma crosta superficial nas áreas sem vegetação, influenciando diretamente na infiltração da água, tornandoa carência hídrica mais acentuada e fazendo com que as poucas espécies vegetais existentes na área sejam aquelas que apresentam o máximo

de adaptação a essa condição. A fertilidade dos solo também é mencionada por Souza (2015) onde ele mostra que a mesma encontra-se muito alterada, apresentando principalmente baixos níveis de potássio e matéria orgânica. O que também pode influenciar negativamente em relação ao estabelecimento de espécies mais exigentes quanto a esses elementos.

2.3 SISTEMAS SUBTERRÂNEOS: DESENVOLVIMENTO E FUNCIONALIDADES

A primeira grande contribuição aos estudos de morfologia dos sistemas subterrâneos em plantas brasileiras foi o do sueco Carl Axel M. Lindman quando estudou em 1900, a ecologia de plantas campestres do Rio Grande do Sul, e verificou que os sistemas subterrâneos lignificados exerciam um importante papel na regeneração das partes aéreas das plantas (APPEZZATO-DA-GLÓRIA, 2003).

Dentre os principais trabalhos desenvolvidos no Brasil envolvendo aspectos morfoanatômicos, destaca-se o de Menezes et al. (1969), que realizaram estudos anatômicos em *Pfaffia jubata* Mart., descrita como um sistema subterrâneo composto em maior parte por raiz com uma pequena participação do caule. Paviani (1972, 1977, 1978, 1987) realizou estudo anatômico da raiz, xilopódio e caule das plantas do Cerrado, como *Brasilia sickii* GM Barroso. Paviani e Haridasan (1988) descreveram atuberosidade em *Vochysia thyrsoidea* Pohl. (Vochysiaceae). Appezzato-da-Glória e Estelita (1995, 2000) e Appezzato-da-Glória (2003) reuniram informações em sua obra, evidenciando aspectos evolutivos e morfológicos de sistemas subterrâneos. Hayashi (2003, 2005) apresentou a caracterização da morfoanatomia de sistemas subterrâneos de espécies herbáceo-subarborescentes e arbóreas, com ênfase na origem de gemas caulinares. Vilhalva e Appezzato-da-Glória (2006) descrevem que espécies do Cerrado apresentam sistema subterrâneo bastante complexo, com estrutura anatômica mista, lignificada, auto-enxertias de ramos e raízes de elevada capacidade gemífera e presença de canais secretores. Appezzato-da-Glória et al. (2008) relatam a origem das gemas caulinares e identificaram o tipo da reserva de armazenamento de sete espécies de Asteraceae, a fim de compreender suas estratégias adaptativas. Appezzato-da-Glória e Cury (2011) analisaram e descreveram a morfoanatomia de sistemas subterrâneos de seis espécies de Asteraceae, verificando a ocorrência e origem dos botões caulinares e também evidenciaram a presença de substâncias de reserva. Fidelis et al. (2014)

abordaramo efeito de perturbações por pastoreio e incêndios, a forma como afetam o banco de gemas e a diversidade da estrutura subterrânea.

Lopes-Mattos et al. (2013) delineararam a estrutura do sistema subterrâneo de *Mandevilla atrovioleacea* (Stadelm.) e identificaram os tecidos de reserva, além de identificarem quais substâncias eram armazenadas nesses órgãos.

Assim como no Cerrado e Campos Rupestres, na Caatinga tem sido reportado a formação de gemas em diversos tipos de sistemas subterrâneos, sendo este aspecto descrito como estratégia adaptativa das plantas aos períodos de seca e à ação das queimadas (RACHID- EDWARDS, 1956). Nestes domínios, os principais tipos de sistemas subterrâneos gemíferos são as raízes gemíferas, raízes tuberosas, sóboles, rizóforos e xilopódios (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; ESTELITA, 1995; MAGALHÃES; PAVIANI, 1996).

Raunkiaer (1934) hipotetizou que na evolução dos vegetais superiores, as gemas tornaram-se escondidas e protegidas, porque dessa forma aumentava a sobrevivência das plantas possibilitando a regeneração da parte aérea perdida, devido a uma seca prolongada ou a ação do fogo (RACHID-EDWARDS, 1947; COUTINHO, 2002; HAYASHI et al., 2001),

sendo comum ao ciclo fenológico de muitas espécies em áreas com regime de escassez hídrica ou sujeita a queimadas (BARROSO, 1986; CARVALHO, 1991). A presença de gemas nesses sistemas subterrâneos, evidencia uma estratégia de sobrevivência. Porém, Raju et al. (1996) mencionaram a necessidade de se distinguir a origem das gemas, uma vez que esta pode ser de natureza ontogenética e estrutural complexa (HAYASHI, 2003; PAUSAS, 2018). Em geral, tais sistemas subterrâneos contendo gemas, tem a função de formar novos indivíduos, podendo ser utilizados como forma de resistência da espécie (PAUSAS, 2018).

Além dessa função, os sistemas subterrâneos podem atuar no armazenamento de distintas classes de compostos de reserva como: proteínas, lipídeos e carboidratos do tipo frutanos que foram identificados como o principal carboidrato de reserva dos órgãos subterrâneos espessados, em 60% das espécies herbáceas de Asteraceae (FIGUEIREDO- RIBEIRO et al., 1986; DIAS TAGLIACOZZO, 1995; TERTULIANO; FIGUEIREDO-RIBEIRO, 1993). Melo-de-Pinna (2000) apresentou outras funções além das de fonte de energia ou de carbono de reserva para a produção de carboidratos, que estão relacionados à tolerância de algumas espécies sujeitas a estresses ambientais, onde pode haver secas prolongadas ou queimadas, sendo,

portanto, uma estratégia adaptativa das plantas às condições adversas do ambiente, por meio da reserva de inulina, amido e da sacarose (HENDRY; WALLACE, 1993), úteis a sobrevivência e manutenção de muitas espécies no ambiente (CARVALHO DIETRICH, 1996). Assim, os sistemas subterrâneos podem representar notáveis adaptações às condições ambientais.

2.4 SISTEMAS SUBTERRÂNEOS EM ASTERACEAE

Dentre as diversas famílias de angiospermas Asteraceae tem se mostrado potencialmente importante para estudos envolvendo o sistema subterrâneo, dada a diversidade morfoanatômica dessa estrutura, bem como sua ampla distribuição biogeográfica. A capacidade de dispersão por longas distâncias e o sucesso no estabelecimento em diversos habitats com condições climáticas e edáficas diversificadas, promoverão a presença de adaptações estruturais nesses órgãos na família (ANDERBERG et al., 2007), como no caso de *Dasyphyllum sprengeianum*, com a presença de espinhos nos galhos (Figura 1).

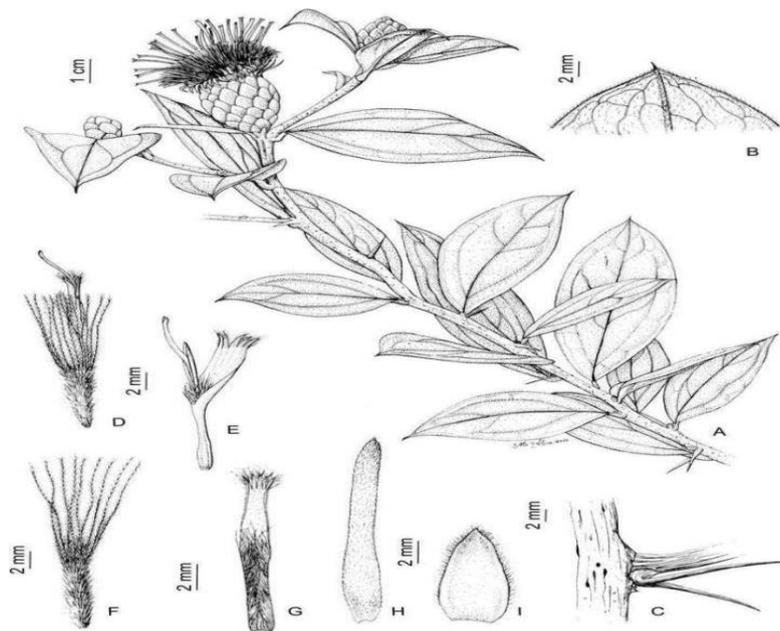


Figura 1 - *Dasyphyllum sprengeianum*. A. Ramo florido. B. Detalhe do ápice da folha. C. Detalhe dos espinhos nos galhos. Fonte: Saavedra et al. (2018).

O sistema subterrâneo das Asteraceae é bastante desenvolvido e tem como função principal armazenar reservas. Em seções longitudinais de raios xilemáticos

podem encontrar- secéculas volumosas de água, tornando eficiente a manutenção do indivíduo durante períodos de estresse hídrico sazonal, além de auxiliar na propagação vegetativa, fornecendo resistência a variações climáticas extremas (APPEZZATO-DA-GLÓRIA, 2015; LOPES-MATTOS et al., 2013).

Filartiga et al. (2017) determinaram que em uma amostra de 136 espécies de Asteraceae haviam seis categorias de sistemas subterrâneos, como se segue: xilopódio, rizoma, rizóforo, raízes gemíniferas, tubérculo-tronco e raízes não espessadas. Dessas espécies, aproximadamente, 73% delas apresentam xilopódio, 12% possuem rizoma, 7% mostraram raízes não espessadas e 6% continham rizóforo desenvolvido, enquanto que apenas duas espécies possuíam raízes gemíniferas e apenas uma tinham tubérculo.

Santos (2013) descreveu as raízes delgadas de *Chrysolaena simplex* (Less) Dematt. e *Lessingianthus buddleiifolius* (Mart. ex DC.) H. Rob. com a presença de uma epiderme uniseriada com pêlos radiculares, as raízes de *Chrysolaena simplex* apresenta canais secretores com presença de gotas de lipídios. Abaixo da epiderme, encontra-se a camada cortical mais interna (endoderme), contendo estrias de Caspary conspicuas. O sistema vascular é representado por feixes colaterais, com extensa região de parênquima interfascicular, dispostos em um anel em torno de ampla medula o da região distal, com numerosos canais secretores.

Muitas espécies rizomatosas são bem-sucedidas em ecossistemas propensos às queimadas, como o Cerrado, variando de herbáceas suculentas a árvores sempre verdes, dessa forma apresentando maior capacidade de sobreviver mediante à perda de parte aérea (PAUSAS, 2018). Os rizomas são órgãos especializados no armazenamento de substâncias, dentre elas, os carboidratos não estruturais, que também podem apresentar um papel importante para proteger as plantas de condições ambientais adversas (KEUNEN, 2013; DONG BECKLES, 2019).

Os sistemas subterrâneos formados por rizóforos, segundo Machado et al. (2004) são estruturas cônicas, tenras e ligeiramente espessadas, cujo ápice tem coloração esbranquiçada; exibem nós e entrenós nítidos, além de inúmeras gemas protegidas por catáfilos. Frequentemente, ainda ligados à planta mãe, podem originar vários ramos aéreos, simultaneamente, resultando na formação de touceiras. Em todo o rizóforo, o sistema fundamental exhibe divisões celulares em planos variados mais frequentes na região proximal, resultando no aumento de espessura do órgão.

Machado et al. (2004) relatam que primórdios de raízes adventícias são observados e em torno da base de cada entrenó dos rizóforos, originando raízes

tuberosas e raízes delgadas, isso é observado em *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob (Figura 2). Miranda (2014) reporta que na época do brotamento, os nós distais do rizóforo apresentam coloração rósea e os proximais são castanhos com catafilos recobrindo (Figura 3). As gemas originam ramos caulinares aéreos eretos e novos rizóforos.

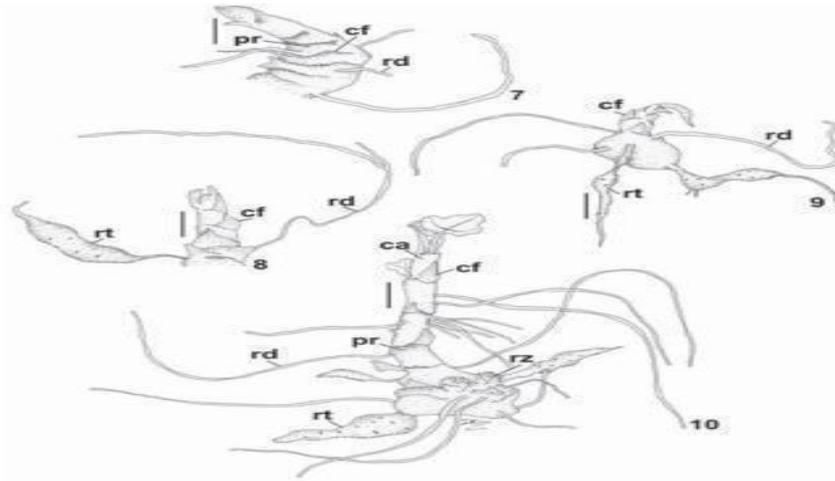


Figura 2 - Estágios sucessivos do desenvolvimento de plantas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob, a partir de fragmento do rizóforo contendo gemas e primórdios de raízes adventícias. (ca = caule aéreo, cf = catafilo, pr = primórdio de raiz adventícia, rd = raiz delgada, rt = raiz tuberosa, rz = rizóforo). Fonte: Machado et al. (2004).

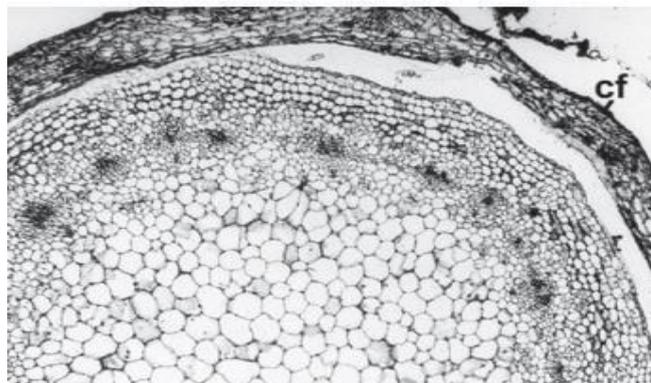


Figura 3 - Secção transversal do rizóforo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. Porção distal, mostrando o córtex reduzido, feixes colaterais dispostos em círculo e medula ampla, perceber catafilo (cf); notar periderme bem desenvolvida. Fonte: Machado et al. (2004).

Raízes tuberosas, são órgãos não-lenhosos de origem secundária que possuem

uma consistência suculenta. Regiões de contração são observadas com constância em raízes tuberosas, como pode ser visto em *Vernonia oxylepis* Sch. Bip (Figura 4). Esse sistema subterrâneo é revestido por uma periderme com lenticelas apresentando, principalmente, o parênquima especializado, como tecido de armazenamento de água e de reserva, em *Gyptis lanigera* (Hook. & Arn.) é possível observar o periciclo proliferado e uma periderme bem estratificada (Figura 5). Quanto às substâncias que armazenam, de acordo com alguns autores, esse tipo de raiz não costuma apresentar grãos de amido, sendo frutanos os principais carboidratos de reserva (RIZZINI; HERINGER, 1961).

Os cristais de inulina (frutanos) estão localizados principalmente no parênquima medular, nos elementos de vaso e parênquima xilemático, característica comum entre as plantas da família Asteraceae (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; GUERREIRO, 1992). Além desses, as raízes tuberosas assim como xilopódios, são ricos ainda em cálcio, magnésio, fósforo, potássio e água (FILARTIGA, 2017; SILVA et al., 1984).

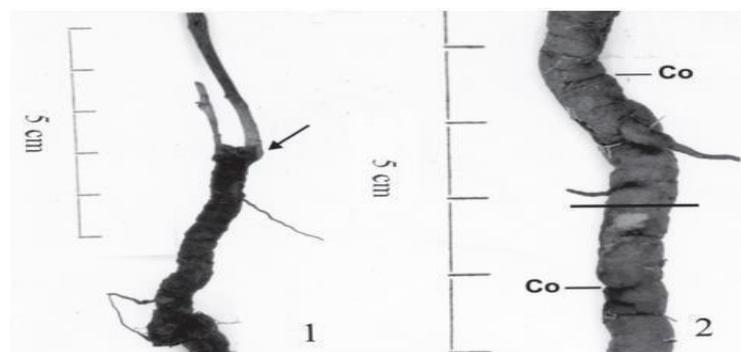


Figura 4 - *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart. ex Baker. 1. Porção proximal da raiz tuberosa com ramos aéreos (seta). 2. Detalhe da raiz tuberosa com áreas de contração (Co). Fonte: Vilhalva & Appezzato-da-Glória (2006).

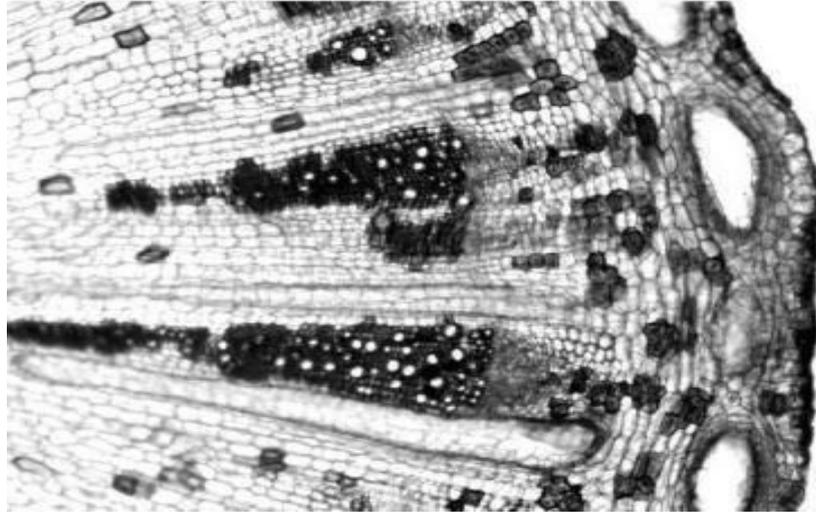


Figura 5 - *Gyptis lanigera* (Hook. & Arn.). Secção transversal da raiz tuberosa, observar periciclo proliferado eperiderme estratificada. Fonte: Beatriz Appezzato-da-Glória et al. (2008).

Os xilopódios são órgãos geminíferos perenes lenhosos, que podem ser produzidos pelatuberização do hipocótilo e da porção superior da raiz principal, e que o tipo de germinação da semente pode influenciar o processo de tuberização. Se a germinação for hipógea, não havendo hipocótilo individualizado, o xilopódio se forma a partir da tuberização da porção superior da raiz primária. No entanto, se a germinação for epígea, a tuberização inicia-se pelo hipocótilo e, posteriormente, estende-se à porção superior da raiz primária (RIZZINI, 1965).

Embora, de modo geral, a formação dos órgãos vegetais seja geneticamente determinada, em casos de estresses ambientais, como o déficit hídrico, pode haver a formação de estruturas morfológicas que se assemelham a xilopódios e raízes tuberosas (RIZZINI; HERINGER, 1961). Os sistemas subterrâneos de algumas espécies de Asteraceae são classificados como xilopódios ligeiramente espessados, sendo possível observar raízes laterais não espessadas e brotações autoenxertadas, tornando-se assim um órgão resistente a secas de longo prazo (LOPES-MATTOS, 2013). A descrição feita por Lopes-Mattos (2013) é vista em *Lessingianthus bardanoides* (Less) H. Rob(Figura 6).

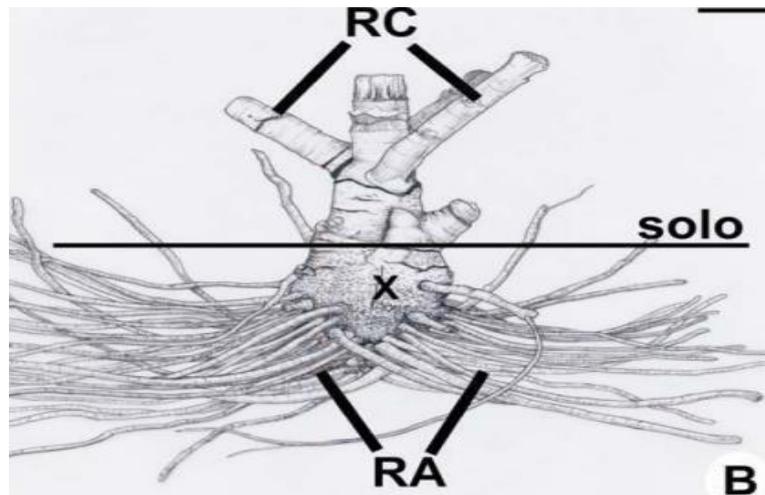


Figura 6 - *Lessingianthus bardanoides* (Less) H. Rob. Vista geral do xilopódio (X), observar a emissão de ramos aéreos (Rc) e raízes adventícias (Ra). Fonte: Cury (2008).

Do ponto de vista morfoanatômico, o xilopódio frequentemente apresenta uma periderme com células que variam em forma de retângulos cúbicos a retângulos achatados. No plano longitudinal, há sequências de células com paredes altamente espessadas formando protrusões globulares que podem ser vistas ao longo da extensão da periderme. O parênquima cortical ocupa uma extensão curta e compreende principalmente células regulares com divisões periclinais nas camadas mais adjacentes à periderme (CUTLER et al., 2009).

Os sistemas subterrâneos das espécies que possuem xilopódio têm canais secretores compostos por uma camada de células epiteliais em torno do lúmen, *Aldama kunthiana* (Gardner) E.E.Schill. & Panero, apresenta tais características (Figura 7). Adicionalmente, células contendo grãos de amido estão presentes nas camadas externas do parênquima cortical. O xilema secundário possui arranjo radial dos vasos e a presença de anéis sazonais é visível (CUTLER et al., 2009).

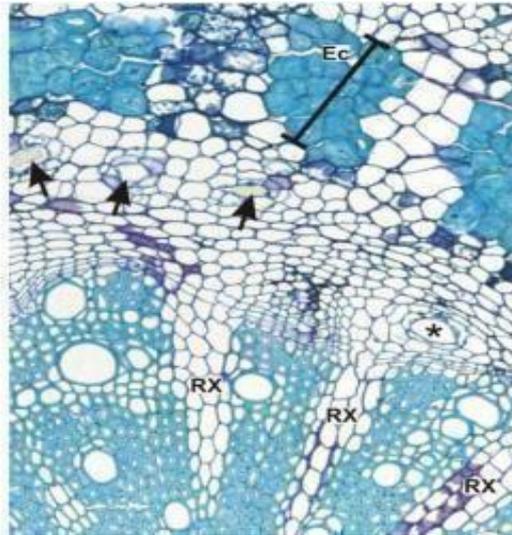


Figura 7 – *Aldama kunthiana* (Gardner) E.E.Schill. & Panero. Corte transversal do xilopódio. Notar canais secretores no córtex (setas); canais secretores no floema secundário (*) e esclereídes (Ec). Fonte: Silva (2013).

Diante do apresentado, é indiscutível a importância dos sistemas subterrâneos para as plantas e, principalmente, para Asteraceae, dada a diversidade desse tipo de estrutura na família e sua ampla distribuição biogeográfica. Nesse contexto, o estudo de espécies como *Dasyphyllum sprengelianum*, irão contribuir, com futuras pesquisas taxonômicas, ecológicas e evolutivas de sistemas subterrâneos de plantas que ocorrem em ambientes xéricos como a Caatinga, e naqueles sujeitos a eventos de queimadas, como o Cerrado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. Geocologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, 2007.
- ALVES, Jose Jakson Amancio. et al. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ANDERBERG, A.A. et al. Compositae. Em *Plantas De Floração· Eudicots*. Springer, Berlim, Heidelberg, pp. 61-588, 2007
- ANDRADE, C. R. B. Estudo botânico e fitoquímico das folhas de *Zanthoxylum caribaeum* Lam. RUTACEAE, São Paulo, 2013.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. et al. Sistemas subterrâneos de espécies de Asteraceae do Cerrado brasileiro. **journal of the torrey botanical society** 135(1),

103-113, 2008.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. **Morfologia de sistemas subterrâneos: histórico e evolução do conhecimento no Brasil**. Ribeirão Preto. 80 p, 2003.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B; CURY, G. Características morfo-anatômicas de sistemas subterrâneos em seis espécies de Asteraceae do Cerrado brasileiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, n. 3, p. 981-991, 2011.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B; ESTELITA, M. E. M. The developmental anatomy of the subterranean system in *Mandevilla illustris* (Vell.) Woodson and *M. velutina* (Mart. ex Stadelm.) Woodson (Apocynaceae). **Revista brasileira de Botânica** 23 (1):27-35, 2000.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. et al. Underground systems of Asteraceae species from the Brazilian Cerrado. **the Journal of the torrey botanical society**, v. 135, n. 1, p. 103-113, 2008. APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B; ESTELITA, M. E. M. Caracteres anatômicos da propagação vegetativa de *Mandevilla illustris* (Vell.) Woodson e de *M. velutina* (Mart. ex Stadelm.) Woodson-Apocynaceae. **Anais**, 1995.

CUTLER, D. F. et al. **Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada**. Artmed Editora, 2009. DA GLÓRIA, B. A; GUERREIRO, C.S.M. **Anatomia vegetal**. Universidade de São Paulo. ESALQ, 1992.

MENEZES, N. L. et al. Estudos anatômicos em *Pfaffia jubata* Mart. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Botânica**, p. 195-237, 1969.

OLIVEIRA SILVA, M. et al. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

DONG, S. & BECKLES, D. M. Dynamic changes in the starch-sugar interconversion within plant source and sink tissues promote a better abiotic stress response. **Journal of plant physiology**, 234, 80-93, 2019.

FIGUEIREDO-RIBEIRO R.C. L. et al. Reserve carbohydrates in underground organs of native Brazilian plants. **Revista Brasileira de Botânica** 9(2):159-166, 1986.

FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. et al. The physiological significance of fructan accumulation in Asteraceae from the Cerrado. **Ciência e Cultura** 43: 443-446, 1992.

FILARTIGA, A. L. **Morphoanatomical and essential oil analysis of four species of *Aldama La Llave* (Asteraceae: Heliantheae): Análises morfoanatômicas e do óleo essencial de quatro espécies de *Aldama La Llave* (Asteraceae: Heliantheae)**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Instituto de

Biologia.

FOLONI, J. S. S., CALONEGO, J. C., & LIMA, S. L. D. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(8), 947-953, 2003.

HAYASHI, A. H. et al. Anatomical studies of shoot bud-forming roots of Brazilian tree species. *Australian Journal of Botany*, v. 49, n. 6, p. 745-751, 2001.

HAYASHI, A. H. Morfo-anatomia de sistemas subterrâneos de espécies herbáceo-subarborescentes e arbóreas, enfatizando a origem das gemas caulinares. *Biota Neotropica*, v. 5, n. 1, 2005.

HENDRY, G.A.F. & WALLACE, R.K. The origin, distribution and evolutionary significance of fructans. In: M.M. Suzuki & N.J. Chatterton (eds). **Science and technology of fructans**. CRC Press, Boca Raton, pp. 119-139, 1993.

KEUNEN, E. L. S. et al. Os açúcares vegetais são atores cruciais no desafio oxidativo durante o estresse abiótico: estender o conceito tradicional. **Planta, célula & ambiente**, 36(7), 1242-1255, 2013.

LINDMAN, C. A. M. **A vegetação no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:

Loefgren, 1906. LOPES-MATTOS, K. L. B. et al. Underground system of *Mandevilla atrovioleacea* (Stadelm.) Woodson (Apocynaceae, Apocynoideae) from the Brazilian high-altitude grassland. **South African Journal of Botany**, v. 87, p. 27-33, 2013.

MACHADO, S. R. et al. Morfoanatomia do sistema subterrâneo de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, p. 115-123, 2004.

MATERECHERA, S. A, et al. Influência do diâmetro raiz na penetração de raízes seminais em solo compactado. **Planta e Solo** 144, 297-303, 1992.

MELO, J. C. F. Aspectos anatômicos e etnobotânicos de artefatos zoomórficos em madeira Guarani-Mbyá do aldeamento Pindoty, **Araquari/SC**, 2008.

OLIVEIRA, V. F. D, et al. Frutanos em calos de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. **Hoehnea**, 36(1), 89-97, 2009.

PAUSAS, J. G. et al. Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. **New Phytologist**, v. 217, n. 4, p. 1435-1448, 2018.

PAVIANI, T. I. . Estudo morfológico e anatômico de *Brasilia sickii* GM Barroso: I. **Revista Brasileira de Biologia**, 32(4), 451-472, 1977.

PAVIANI, T.I.; HARIDASAN, M. Tuberosidade em *Vochysia thyrsoidea*

Pohl(Vochysiaceae).

Ciência e Cultura 40 (10): 998-1003, 1988.

RACHID, M. Transpiração e sistemas subterrâneos da vegetação de verão dos campos Cerrados de Emas. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras**. U.S.P. Botânica 5:5- 140,1947.

RIZZINI, C. T., HERINGER, E. P. Underground organs of plants from some southern Brazilian savannas, with special reference to the xylopodium. **Phyton** 17, 105-124, 1961.

RIZZINI, C. T; HERINGER, E. P. Studies on the underground organs of trees and shrubs from some southern Brazilian savannas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 34, 235-247, 1962.

RIZZINI, C.T. Estudos experimentais sobre o xilopódio e outros órgãos tuberosos de plantas do cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 37(1): 87-113, 1965.

RIZZINI, C.T. O fator edáfico na formação do xilopódio de *Mimosa multipinna* Benth, 1977. ROSOLEM, C. A.; BICUDO, S. J.; MARUBAYASHI, O. M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: **Plant-soil interactions at low pH: principles and management**. Springer, Dordrecht. p. 543-547, 1995.

SAAVEDRA, M. M. et al. Taxonomic Revision of *Dasyphyllum* sect. Macrocephala (Asteraceae: Barnadesioideae). **Systematic Botany**, v. 43, n. 1, p. 297-315, 2018.

SANTOS, V. S. et al. Morpho-anatomy and ontogeny of the underground system of *Chrysolepis simplex* (Less.) Dematt. (Asteraceae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, p. 269-280, 2013.

SILVA, C. V. D et al. **Caracterização da paisagem da microbacia do Rio Boa Vista no município de Piranhas-AL**. 2019.

SOUZA, B. I. et al. Caatinga e desertificação. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 131-150, 2015. TAGLIACOZZO, G. M. D. Frutanos de *Vernonia herbacea* (Vell.) Rusby: variações em função da temperatura e da disponibilidade de água, 1995.

TAYLOR. M.; BRAR, G. S. Effect of the compaction on root development. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991

MANUSCRITO ASER SUBMETIDO À FLORA

(Traços morfoanatômicos em sistema subterrâneo de *Dasyphyllum sprengelianum*

(Gardner) Cabrera Asteraceae)Original Article

Original Article**Traços morfoanatômicos em sistema subterrâneo de *Dasyphyllum sprengelianum* (Gardner) Cabrera (Asteraceae)**

Mayara Souza da Silva^a, Benoît Francis Patrice Loeuille^a, Emilia Cristina Pereira de Arruda^{a*}

^aLaboratório de Anatomia Vegetal, Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-420, Recife, Pernambuco, Brasil, e-mail: mayara_souza50@hotmail.com; benoit.loeuille@gmail.com; emilia_arruda@yahoo.com.br

***Autor para correspondência:** mayara_souza50@hotmail.com

RESUMO

Sistemas subterrâneos espessados ou intumescidos são comumente encontrados em espécies de florestas tropicais sazonalmente secas como a Caatinga. Tais sistemas atuam no armazenamento de água e reservas garantindo a sobrevivência de espécies vegetais em períodos desfavoráveis. Dentre as várias famílias botânicas que possuem esses sistemas subterrâneos, Asteraceae é uma das mais representativas possuindo ampla diversidade de formas e tipos constituindo um importante traço diagnóstico e ecológico da família. Neste estudo, foi realizada uma descrição inédita morfoanatômica do sistema subterrâneo de *Dasyphyllum sprengelianum* ocorrente na Caatinga, buscando identificá-lo quanto ao seu morfotipo, além de avaliar aspectos ecológicos. Amostras do sistema subterrâneo da espécie foram coletadas no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE, Brasil, as quais foram submetidas às técnicas usuais de anatomia vegetal para observações em microscopia óptica. O sistema subterrâneo é espesso, de coloração amarelo, castanho-claro a marrom e com posição horizontal em relação ao solo. A morfoanatomia revelou-se tratar de uma raiz tuberosa de consistência lenhosa sendo registradas regiões de contração. Os cortes realizados mostraram uma estrutura lenhosa com acentuado crescimento secundário, sendo revestida por uma periderme. O xilema primário é exarco e apresenta maturação centrípeta e o secundário é amplamente lignificado, caracterizando o sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* como uma raiz tuberosa. O espessamento da raiz é resultante da proliferação de células do parênquima cortical e elementos xilemáticos. As características morfoanatômicas do sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* apresentam uma potencialidade para o armazenamento de água e outras substâncias de reservas, além de atuar na condutividade segura, representando assim um importante traço morfofisiológico para a sobrevivência da espécie em áreas de Caatinga. Os dados aqui obtidos servirão de modelo e base para futuras pesquisas ecológicas e evolutivas com sistemas subterrâneos de espécies de ambientes áridos como a Caatinga.

Palavras-chave: Caatinga; Compositae; Morfoanatomia; Raízes Tuberosas.

1. Introdução

A Caatinga é um domínio fitogeográfico brasileiro com uma área de 734.478 km² e ao menos 12 tipologias diferentes, reflexo da relação entre os fatores abióticos, como solo, clima, pluviosidade, que acarreta na grande diversidade de fisionomias aliada à variação na composição florística (Fabricante & Andrade, 2013). Grande parte da Caatinga possui clima semiárido, marcado por temperaturas médias elevadas (entre 25° e 30°C) e baixa precipitação entre 400 e 1200 mm anuais (Tabarelli et al., 2018; Fernando et al., 2022). Além das condições climáticas, a constante eliminação da cobertura vegetal da Caatinga é caracterizada pelo modelo extrativista e uso inadequado das terras tem causado problemas ambientais no semiárido nordestino, como a redução da biodiversidade e o aumento das áreas degradadas (Alves et al., 2017; Júnior et al., 2022). Alguns fatores do solo como nutrientes, elementos tóxicos, resistência mecânica à penetração, e disponibilidade hídrica podem afetar o desenvolvimento radicular das plantas presentes nesse ambiente de Caatinga (Rosolem, 1995).

Taylor & Brar (1991) expõem que o arranjo estrutural do solo, a consistência, a porosidade total, o número e tamanho dos poros e a difusão de gases são afetados pela compactação, que, por consequência, afeta o crescimento sistema radicular (Taylor & Brar, 1991). A resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada, por provocar modificações morfológicas e fisiológicas específicas a cada espécie, a fim de se adaptarem evidenciando uma estreita relação entre porosidade do solo e crescimento radicular (Materchera et al., 1992; Foloni, 2003). Essa características são relatadas por Appezzato-da-Glória et al. (2008) em espécies da família Asteraceae onde é relatado o aumento do diâmetro do sistema subterrâneo.

A família Asteraceae é considerada bem sucedida ecologicamente, com ampla distribuição e representatividade considerável na Caatinga. A família está representada por numerosos gêneros (mais de 1.600) e cerca de 24 mil espécies, com ampla distribuição (Funk et al., 2009). No Brasil ocorrem 27 tribos representadas por 2.013 espécies e 278 gêneros, distribuídos em todos os domínios, essas plantas podem ser encontradas na forma de ervas, subarbustos, arbustos, pequenas árvores ou Liana (Funk, 2009; Do Nascimento Martinez 2020). A maioria dos representantes da família Asteraceae possui hábito herbáceo, subarbuscivo ou arbustivo e, raramente, arbóreo ou escandente (Cronquist et al., 1981). A ocorrência em diversos tipos de ambiente por

parte das Asteraceae está diretamente relacionada às características adaptativas, como: folhas reduzidas e coriáceas, presença de indumento tomentoso, cutícula e células epidérmicas espessadas, cera epicuticular espessa, folhas anfiestomáticas, investimento em tecido fotossintético e de sustentação, e sistemas subterrâneos de armazenamento (Rehem et al., 2019). O sistema radicular é formado por raízes adventícias, sendo que algumas permanecem delgadas e outras sofrem intensa tuberificação. Isso se verifica especialmente em espécies de vegetações herbácea e subarborescente, sendo uma importante adaptação para garantir a sobrevivência dessas espécies, característica comumente observadas em espécies de Asteraceae (Machado, 2004).

Os sistemas subterrâneos possuem diferentes características morfoanatômicas (Dietrich;Figueiredo-Ribeiro, 1985), algumas consideradas adaptações, tais como: o auto-enterramento, evidenciado pelas regiões de concentração, permitindo que as gemas fiquem encobertas; e a capacidade de acumular grandes quantidades de frutanos, que além de atuarem como compostos de reserva podem estar relacionados à tolerância das plantas a estresses ambientais como a seca, proporcionando a presença da espécie no ambiente (Figueiredo-Ribeiro et al., 1986; Vilhalva, 2006).

Embora já se conheça algumas dessas funções adaptativas e ecológicas desses sistemas, a alta diversidade desses sistemas na família Asteraceae sugere importantes relações com as condições ambientais (Cury et al., 2008). Além disso, visto que os sistemas subterrâneos podem ter origem radicular, caulinar ou mista, as observações baseadas somente na morfologia externa podem limitar a identificação de natureza estrutural. Logo, análises morfoanatômicas são fundamentais para elucidar questões morfológicas e taxonômicas (Vilhalva et al., 2006).

Dentre os diversos gêneros de Asteraceae, encontra-se *Dasyphyllum* (Gardner) Cabrera que é sul-americano, sendo o único pertencente a tribo Barnadesieae (Egea, 2011). Plantas de grande porte, com folhas alternas, curto-pecioladas, com nervuras acródomas, por vezes dotadas de um par de espinhos geminados, ramos com lenticelas alvas, involúcro composto por filarias mucronadas e papus plumoso, são características de plantas desse gênero (Pereira, 2019). Uma de suas espécies, *D. sprengelianum* foi selecionada para este estudo, por ser endêmica do Brasil e apresentar uma ampla distribuição geográfica, sendo encontrada nos estados de Rondônia, Tocantins, Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e São Paulo, em domínios fitogeográficos como a Caatinga e o Cerrado; ocorrendo em

vegetações como Campos Rupestres, Carrasco, Floresta Ciliar, Floresta Estacional Semidecidual e vegetação sobre afloramento rochoso (Cabrera, 1959; Saavedra, 2011, 2018; Paschoal, 2017). Além de apresentar grande plasticidade morfológica assim como sobreposição de caracteres. O sistema subterrâneo da espécie ainda é uma icógnita, sendo descrito pela primeira vez nesse trabalho.

Logo, o objetivo deste estudo foi descrever morfoanatomia do sistema subterrâneo de *D. sprengelianum*, visando identificar caracteres indicativos de adaptações às condições ambientais da Caatinga.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo e design amostral

O trabalho foi realizado no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE, nordeste do Brasil (8° 24'00" e 8° 36'35"S – 37° 09'30 " e 37° 14'40"W, 623.000 ha), classificado como área protegida da categoria II da IUCN (Lira, 2019). O clima é semiárido, com precipitação anual variando de 480 a 1100 mm e temperatura média anual de 25°C (Rito et al., 2017).

De tamanho semelhante a 1 metro acima do nível do solo e em fase de floração, três indivíduos de *D. sprengelianum* foram removidos por completo do solo. Através do método de escavação, com auxílio de uma pá de mão .

2.2 Preparação e análises do material botânico

Os sistemas subterrâneos coletados foram fixados em FAA 50 (Johansen, 1940). Para melhor fixação, as amostras foram levadas a uma bomba de vácuo para a retirada do ar contido nos espaços intercelulares. As seções transversais foram feitas à mão e em micrótomo de deslize (150-200 µm de espessura). Em seguida, as amostras foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 20%, lavadas em água destilada, coradas com azul de astra e safranina aquosa (Gerlach, 1969). Os blocos obtidos através do protocolo de infiltração em polietilenoglicol (PEG) (Richter, 1985), foram seccionados em micrótomo de deslize a 5 mm de espessura. O material foi corado com safranina e azul de astra e as lâminas montadas em resina sintética Entellan®. As observações do material foram feitas em microscópio de luz Olympus CX31, e o registro de imagens dos principais caracteres foi realizado através do fotomicroscópio Leica DM500.

3. Resultados

3.1 Morfoanatomia de *Dasyphyllum sprengelianum*

A descrição da morfoanatomia dos sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* foi feita a partir das figuras 1 a-g e 2 a-d a seguir. Quanto a morfologia externa, *D. sprengelianum* apresenta um sistema subterrâneo espesso composição horizontal em relação ao solo, o qual, pode ser confirmado pela anatomia, como será descrito a seguir, que se trata de raiz tuberosa de consistência lenhosa que emite escassas raízes adventícias espessadas e fibro lenhosas que se alastram, de forma paralela na superfície do solo. A coloração dessas raízes varia entre o amarelo, castanho-claro e marrom. Essa estrutura subterrânea apresentou ainda regiões de contração (Fig. 1a). Para identificação dos tecidos bem como do tipo de sistema subterrâneo, cortes anatômicos foram realizados nas regiões: 1 – Menos tuberosa e 2 e 3 – mais tuberosa (Fig. 1a). Os cortes anatômicos mostraram que na região menos tuberosa (1 da Fig. 1a), do sistema subterrâneo, a raiz já se encontra em avançado crescimento secundário, com a ocorrência de um xilema secundário bem desenvolvido contendo amplos raios vasculares (Fig. 1b). O córtex interno possui origem endodérmica e as células, dispostas radialmente, mostram múltiplas divisões periclinais além das anticlinais, o que proporciona o aumento do diâmetro desse órgão. A camada cortical mais interna é uma endoderme típica, com estrias de Caspary conspícuas confirmando que as várias camadas de células parenquimáticas subjacentes têm origem pericíclica (Fig. 1c). O periciclo é multisseriado sendo formado por cinco camadas que delimitam a endoderme (Fig. 1c). Ainda nessa região (1) a raiz encontra-se em estrutura primária, cujo xilema primário apresenta maturação centrípeta e, assim como na porção mais tuberosa da raiz, o protoxilema é exarco (Fig. 1d-e). Dado o avançado crescimento secundário de todo o sistema subterrâneo o sistema de revestimento do mesmo é composto por uma periderme desenvolvida e estratificada (Figs. 1f, 2a-b). As regiões mais tuberosas da raiz (2 e 3 da Fig. 1a), não mostraram diferenças morfoanatômicas significativas, as quais apresentaram um sistema de revestimento formado por uma periderme, uma região cortical contendo algumas amplas macroesclereídes (Figs. 1g, 2a-b). Macroesclereídes agrupadas ocorrem também no floema (Fig. 1g). O xilema é amplo e fortemente lignificado, sendo formado por raios parenquimáticos largos. Próximo a região medular estão amplas esclereídes distribuídas em grupos (Figs. 2c-

d).

4. Discussão

Sistemas subterrâneos espessos, como o observado em *D. sprengelianum* tem sido reportado para plantas de diferentes domínios fitogeográficos, como os Campos Rupestres, Cerrado e Caatinga (Rachid, 1947; Coutinho, 1976). Essa característica é interpretada como uma vantagem para as espécies que sofrem com a sazonal renovação foliar, removendo a parte aérea por completo (decíduas) ou quase completamente (semidecíduas). A ocorrência de sistemas subterrâneos espessos em muitas espécies da Caatinga pode ser reflexo das condições ambientais, onde esse sistema tem desenvolvimento intenso a partir da parte radicular, para permitir a obtenção de nutrientes e água em solos mais profundos (Fidelis et al., 2009 ; Peixoto et al., 2007), sendo esse o caso da espécie estudada. Independente das causas e do ambiente, a ocorrência de sistemas subterrâneos espessos em espécies de Asteraceae é uma característica comum na família como demonstrado por Appezzato-da-Glória (2003) e é considerada um caráter diagnóstico da família.

A presença de estruturas gemíferas ou gemas reparativas em sistemas subterrâneos é comumente relatada em muitas espécies como *Pectis gardneri* (Baker) (Ferraro e Scremin- Dias, 2018), *Gyptis lanigera* (Hook. e Arn.) R.M.King e H.Rob (Appezzato-da-Glória et al., 2008), *Vernonia oxylepis* (Sch. Bip) in Mart. ex Baker (Vilhalva e Appezzato-da-Glória, 2006), *Vernonia brevifolia* (Less) (Hayashi e Appezzato-da-Glória, 2007) e em *Chresta curumbensis* (Philipson) H.Rob (Joaquim, 2013) que mesmo após a passagem do fogo, ou demais injúrias, os indivíduos rebrotam de gemas presentes em sistemas tuberosos, mostrando a potencialidade e importância ecológica dessas estruturas para aquelas espécies. Em *D. sprengelianum*, tais gemas não foram relatadas, o que reforça a classificação do sistema subterrâneo como uma raiz tuberosa, já que as gemas são comumente relatadas em órgãos subterrâneos caulinares ou mistos como os xilopódios (Appezzato-da-Glória, 2003, 2008).

Um aspecto anatômico fortemente reportado para sistemas subterrâneos, sobretudo, em xilopódios como os de *Ianthopappus corymbosus* (Less.) Roque e D. J. N. Hind. (Melo-De- Pinna; Menezes, 2002) uma importante espécie da família Asteraceae, são os canais secretores cuja composição química pode variar amplamente (Triebel, 1885; Solereder, 1908; Tetley, 1925; Donald & Williams, 1954; Luque et al.,

1997; Melo-de-Pinna, 2000). Tais canais não foram encontrados no sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* diferendo dos demais sistemas subterrâneos descritos em Asteraceae.

A morfoanatomia das raízes tuberosas de *D. sprengelianum* é semelhante à descrita para outras espécies como *Apopyros warmingii* (Baker) G.L.Nesom (Abdalla et al., 2015), *Chresta sphaerocephala* (Mart. ex DC.) Siniscalchi e Loeuille, *Gyptis lanigera* (Hook. e Arn.) R.M.King & H.Rob (Appezato-da-Glória et al., 2008), *Lessingianthus floccosus* (Gardner) H.Rob (Joaquim, 2013), *Pectis gardneri* (Baker) (Ferraro e Scremin-Dias, 2018), as quais apresentam acentuado crescimento secundário que possui importantes consequências ecológicas, uma vez que garante a preservação do órgão por longos períodos em espécies perenes.

Ainda no que se refere implicações ecológicas, o espessamento (ou tuberização) das raízes tuberosas de *D. sprengelianum* é promovido pela proliferação de células corticais que conferem às raízes tuberosas uma consistência suculenta e moderadamente resistente, com predominância de parênquima, aliada ao acentuado crescimento secundário resultante da atividade cambial, sobre tudo, do xilema secundário, que fazem desse órgão uma excelente estratégia para sobrevivência em ambientes como a Caatinga, dada sua função de sustentação e armazenamento. Sistemas subterrâneos semelhantes foram observados em *Pectis gardneri* (Baker), os quais possuem abundância de parênquima de reserva; em *Gyptislanigera* (Hook. e Arn.) R.M.King e H.Rob, cuja tuberização da raiz envolve atividade cambial; em *Aldama*, cuja tuberização deve-se à intensa proliferação e aumento no volume das células medulares e, em algumas espécies como *Aldama tenuifolia* (Gardner) E.E.Schill. e Panero (Da Silva et al., 2014), *Aldama anchusifolia* (DC.) E.E.Schill. e Panero, *Aldama megapotamica* (Malme) Magenta e Pirani, *Aldama nudibasilaris* (SF Blake) E.E.Schill. e Panero, *Aldama pilosa* (Baker) E.E.Schill. e Panero (Filartiga et al., 2017), que, além da proliferação celular, o câmbio também contribui significativamente para a formação do parênquima vascular. Outros processos de entumescimento ou tuberificação descrito para outros gêneros de Asteraceae, como *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. Dentro Mart. ex Baker, incluem a atividade do periciclo (Vilhalva e Appezato-da-Glória, 2006; Hayashi e Appezato-da-Glória, 2007; Filartiga et al., 2017), e *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. e Endl.) H. Robinson, envolve a divisão de células corticais (Machado et al., 2004).

Os resultados obtidos, mostram a importância em se estudar o sistema subterrâneo das plantas, sobre tudo, os tuberculizados, afim de identificar as possíveis causas do entumescimento e da tuberculização do órgão e suas consequências ecológicas e evolutivas. A compactação do solo, influi de forma direta no comportamento desses sistemas subterrâneos (Cintra e Mielniczuk, 1983). Essa acentuada compactação do solo de Caatinga (Müller et al., 2001), os quais apresentam redução no número de macroporos e elevação na sua densidade. É capaz de reduzir a infiltração da água, aumentando o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional nas plantas (Rosolem et al., 1994; Moraes et al., 1995).

As regiões de contração relatadas no sistema subterrâneo de *D. sprengelianum* são decorrentes da adaptação para permanência em solos compactados. Essas regiões de contração presentes nessas raízes de *D. sprengelianum* possibilitam que as mesmas se ajustem morfofisiologicamente a concentração hídrica do solo evitando possíveis colapsos celulares bem como atua no melhor posicionamento da planta e de suas gemas no solo favorecendo tanto o crescimento quanto a proteção das gemas e partes jovens da planta, sendo uma importante estratégia adaptativa para a espécie estudada (Lemos et al., 2013).

5. Conclusões

No presente trabalho foi possível realizar uma descrição inédita do sistema subterrâneo de *D. sprengelianum*, cujas características incluem, principalmente o protoxilema exarco. A ausência de gemas reparativas ou adicionais, corroboraram o mesmo como uma raiz tuberosa. O espessamento das raízes tuberosas de *D. sprengelianum* é dado pela proliferação de células do parênquima cortical armazenador aliado ao xilema secundário amplamente desenvolvido, tornando esse órgão uma excelente estratégia adaptativa da espécie em áreas de caatinga.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Anatomia Vegetal (LAVEG- UFPE), Laboratório de Anatomia Vegetal (IB-USP) e a sua equipe pelo auxílio com os procedimentos de bancada e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico (CNPq) pelo fomento à pesquisa

Referências

Abdalla, D. F., 2015. Morpho-anatomy and fructans in the underground system of *Apopyros warmingii* and *Ichthyothere terminalis* (Asteraceae) from the cerrado rupestre. The Journal of the Torrey Botanical Society. v. 143 (1), 69-86. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-14-00050.1>.

Alves, L. L. B., Alves, A. R., Barreto, F. R. S., Holanda, A. C., 2017. Análise florística e estrutural de uma área de Caatinga preservada no município de Mossoró/RN. Revista Conexão Ciência e Tecnologia. 11 (1), 8-15. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v11i1.1066>.

Andrade, R.D.S., Stone, L.F. and Godoy, S.G.D., 2013. Estimation of soil resistance to penetration based on S-index and effective stress. Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering. 17, 932-937. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900004>.

Appezato-da-Glória, B., Cury, G., Soares, M.K.M., Rocha, R. and Hayashi, A.H., 2008. Underground systems of Asteraceae species from the Brazilian Cerrado 1. the Journal of the torrey botanical society. 135 (1), 103-113. <https://doi.org/10.3159/07-RA-0431>.

Appezato-Da-Gloria, B., Hayashi, A.H., Cury, G., Soares, M.K. and Rocha, R., 2008. Occurrence of secretory structures in underground systems of seven Asteraceae species. Botanical Journal of the Linnaean Society. 157(4), 789-796. <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/3698>.

Cabrera, Á., 1959. Revisión del género *Dasyphllum* (Compositae). Revista del Museo de La Plata. 9 (38), 21-100.

Campos, M.A., 1991. Aspectos morfo-fisiológico de plantas da Caatinga, durante períodos úmido e de estresse hídrico (Doctoral dissertation. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife).

Cintra, F.D. and Mielniczuk, J., 1983. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas.

Coutinho, L.M., 1976. Contribuição ao conhecimento do papel ecológico das queimadas na floração de espécies do cerrado.

- Cronquist, Arthur., 1981. *Introducción a la Botánica*. Compañía Editorial Continental.
- Cury, G., 2008. *Subterrâneo systems of Asteraceae of the Cerrado of São Paulo: anatomical, ecological and reproductiable approaches* (Doctoral dissertation, Doctoral Thesis, University of São Paulo, Higher School of Agriculture "Luiz de Queiroz", Piracicaba, Brazil). <https://pdfs.semanticscholar.org/0fc9/ed5e4e4e14b1ef72be746cdda5591d1d40b3.pdf>.
- Da Nascimento Martinez, L., Da Silva Rodrigues, F. L., da Silva, N. B., dos Santos, E. V., & Costa, J. D. A. N. (2020). Ethnobotany evaluation of the species of families asteraceae and lamiaceae used with medicinal potential in the region of porto velho-rondônia. *Scientific Interfaces-Health and Environment*. 8 (2), 431-445. <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2020v8n2p431-445>.
- Da Silva, E.M.S., Hayashi, A.H. and Appezzato-da-Gloria, B., 2014. Anatomy of vegetative organs in *Aldama tenuifolia* and *A. kunthiana* (Asteraceae: Heliantheae). *Brazilian Journal of Botany*. 37 (4), 505-517. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40415-014-0101-2.pdf>.
- Dietrich, S. M. C. and Figueiredo-Ribeiro, R. C. L., 1985. Organos subterraneos y propagacionvegetativa en plantas de los cerrados brasileiros. *Meio Ambiente*. 7 (2), 45-52.
- Donald, C. M.; Williams, C. H., 1954. Fertilidade e produtividade de um solo podólico influenciado pelo trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.) e superfosfato. *Australian Journal of Agricultural Research*. 5 (4), 664-687.
- Echart, C. L., Cavalli-Molina, S., 2001. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismos de tolerância e seu controle genético. *Ciência Rural*. 31 (3), 531-541. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>.
- Egea, M. M. et al., 2011. As tribos Barnadesieae e Mutisieae sl (Asteraceae) no Estado de São Paulo, Brasil. <http://hdl.handle.net/1843/35199>.
- Fernando, E. M. P., Campos, K.G., De Lucena Mamede, M. and de Araújo Lucena, M.D.F., 2022. Floristic survey of a Caatinga area of high biological importance in the Mesoregion of Paraíba backlands, Northeast Brazil.
- Ferraro, A., Scremin-Dias, E., 2017. Structural features of species of Asteraceae that arouse discussions about adaptation to seasonally dry environments of the Neotropics. *Acta Botanica Brasilica*. 32, 113-127. <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0246>.

- Fidelis, A., Appezzato-da-Glória, B. and Pfadenhauer, J., 2009. The importance of biomass and underground structures in the Southern Fields. Campos Sulinos, 88. Dinamica-dos-campos-no-sul-do-Brasil-durante-o-Quaternario-Tardio.pdf (researchgate.net).
- Figueiredo-Ribeiro, R. C. L., Dietrich, S. M. C., Chu, E. P., Carvalho, M. A.M., Vieira, C. C.J.,Graziano, T. T., 1986. Reserve carbohydrates in underground organs of native Brazilian plants. Brazilian Journal of Botany. 9, 159-166.
- Filartiga, A.L., Klimešová, J. and Appezzato-da-Glória, B., 2017. Underground organs of Brazilian Asteraceae: testing the CLO-PLA database traits. Folia Geobotanica. 52 (3), 367-385. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.08.008>.
- Foloni, J.S.S., Calonego, J.C. and Lima, S. L. D., 2003. Effect of soil compaction on aerial and root development of maize cultivars. Brazilian Agricultural Research. 38, 947-953. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000800007>.
- Funk, V. A., Susanna, A., Steussy, T. F. and Robinson, H. E., 2009. Classification of compositae. Systematics, evolution, and biogeography of Compositae. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/11409/bot_2009_pr_Funk_et_al_Classification_of_Compositae.pdf.
- Gerlach, D., 1969. A rapid safranin-crystal violet-light green staining sequence for paraffin sections of plant materials. Stain Technology. 44 (4), 210-211.
- Glória, B. E., 2003. Morfologia de sistemas subterrâneos: histórico e evolução do conhecimento no Brasil. Divisão de Biblioteca e Documentação–ESALQ/USP.
- Hayashi, A. H., Appezzato-da-Glória, B., 2007. Anatomy of the underground system in *Vernonia grandiflora* Less. and *V. brevifolia* Less. (Asteraceae). Brazilian Archives of Biology and Technology. 50, 979-988. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000700009>.
- Hopkins, W. G., 1995. Introduction to Plant Physiology John Wiley & Sons, Inc., New York. <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2002>.
- Joaquim, E. D. O., 2013. Non-structural carbohydrates and anatomical aspects of herbaceous plants of rock fields, with emphasis on Asteraceae (Doctoral dissertation, University of São Paulo. . <https://doi.org/10.11606/D.11.2013.tde-06092013-102132>.
- Júnior, M. P. D., Bakke, I. A., & da Costa, E. M. 2022. Diametric distribution of adult and regenerating tree individuals in caatinga area in recovery process. Diversitas Journal. 7 (1), 0039-0051.

- Krieg, D. R., 1993. Stress tolerance mechanisms in above ground organs. p. 65-79. In: Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress Intormil, Nebraska. <https://core.ac.uk/download/pdf/237301153.pdf#page=68>.
- Lira, Guilherme. "Identificação de fitofisionomias por índice de vegetação e dados LiDAR."(Bachelor's thesis,2019).
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/45646>.
- Machado, S. R., Oliveira, D. M., Dip, M. R., & Menezes, N. L. 2004. Morphanamy of the *Smallanthus sonchifolius* underground system (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). Brazilian Journal of Botany. 27, 115-123. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000100013>.
- Manufacturer, J.R. and Andrade, L.A., 2013. Biophysical characterization of monodominated areas by *Parkinsonia aculeata* L(Fabaceae) in Caatinga paraibana. Biosciences Journal. 19 (2).
<http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/1570>.
- Materchera, S.A.; Dexter, A.R.; Alston, A.M., 1991. Penetration of very strong soils by seedling of different plant species. Plant and Soil, 135:31-41.
<https://doi.org/10.1007/BF00014776>.
- Melo, R. O., Pacheco, E. P., de Castro Menezes, J., Cantalice, J. R. B., 2008. Susceptibility to compaction and correlation between the physical properties of a Neosol under caatinga vegetation. Caatinga Magazine. 21 (5).
- Melo-de-Pinna, G. F. A., Menezes, N. L., 2002. Vegetative organ anatomy of *Ianthopappus corymbosus* Roque & Hind (Asteraceae-Mutisieae). Brazilian Journal of Botany. 25, 505-514. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042002012000014>.
- Miranda, T. D., 2014. Morphoanatomy of vegetative organs and in vitro regeneration from root segments of *Jacaranda ulei* Bureau & K. Schum (Bignoniaceae). <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20280>.
- Moraes, M. H., Benez, S. H., Libardi, P. L., 1995. Effects of compaction on some soil physical properties and its reflection on the root development of soybean plants. Bragantia. 54, 393-403.<https://doi.org/10.1590/S0006-87051995000200018>.
- Moro, L., Macedo, R. S., Lambais, É. O., Lambais, G. R., De Bakker, A. P., 2021. Chemical attributes of rhizospheric soil under caatinga vegetation in the Brazilian semi-arid. Ibero- American Journal of Environmental Sciences. 12 (9), 1-12.
<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0001>.

- Müller, M. M. L., Ceccon, G., Rosolem, C. A., 2001. Influence of subsurface soil compaction on air and root growth of winter green fertilization plants. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. 25, 531-538. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/342/444>.
- Nogueira, A.D.A., Machado, P. D. A., Carmo, C. D. S., Ferreira, J. R., 1998. Laboratory manual: soil, water, plant nutrition, animal nutrition and food: 1. collection, packaging and preparation of samples. Embrapa Livestock Southeast-Technical Book (INFOTECA-E). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/44394>.
- Paschoal, B. S. M., 2017. Embryology of *Dasyphyllum sprengelianum* (Gardner) Cabrera (Asteraceae–Barnadesioideae). <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25853>.
- Peixoto, M. D. M., 2007. Seasonal variations in carbon metabolism and water relations in woody species of the Cerrado of different functional groups. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3209>.
- Pereira, F. C., Souza, L. F. D., Guilherme, F.A. G., Freire, J.C., Teles, A. M., 2019. Diversity of Asteraceae in a murundus field in southwestern Goiás, Brazil. *Rodriguésia*. 70p. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201970015>.
- Pinna, G. F. D. A. M. D., Menezes, N. L. D., 2000. Anatomy of vegetative organs of the genera *Richterago Kuntze* and *Ianthopappus* (Less.) Roque & DJN Hind (Mutisieae- Asteraceae). <https://repositorio.usp.br/item/001074290>.
- Rachid, M., 1947. Transpiration and underground systems of the summer vegetation of the cerrado fields of Emas. *Bulletin of the Faculty of Philosophy, Sciences and Letters, University of São Paulo. Botany*. 5-140. <https://www.jstor.org/stable/43590551>.
- Rehem, B.C., Da Silva, A. G., Gonçalves, D. S., Silva, L. A. M., Da Paixao, J. L., 2019. Anatomia foliar de duas espécies da família Asteraceae usadas para fins medicinais no Sul da Bahia. *Brazilian Journal of Development*. 5(12),30272-30284. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-154>.
- RITO, K. F. et al. 2017. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. *Journal of Ecology*. 105 (3), 828- 838. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12712>.
- Rosolem, C. A., 1995. Soil-plant relations in corn crop. Funep.
- Rosolem, C. A., Almeida, A. C. D. S., Sacramento, L. V. S. D., 1994. Root system and

soybean nutrition as a function of soil compaction. *Bragantia*. 53,259-266. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051994000200016>.

Saavedra, M. M., Guimarães, E. F., Loeuille, B., Forzza, R.C., 2018. Taxonomic Revision of *Dasyphyllum* sect. *Macrocephala* (Asteraceae: Barnadesioideae). *Systematic Botany*. 43(1), 297-315. <https://doi.org/10.1600/036364418X696888>

Sakai, W. S., 1973. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue O. *Stain Technology*. 48(5), 247-249. <https://doi.org/10.3109/10520297309116632>.

Sass, J. E., 1951. Response of meristems of seedlings to benzene hexachloride used as a seed protectant. *Science*. 114 (2966), 466-466.

Solereeder, H., 1908. *Systematic anatomy of the dicotyledons: a handbook for laboratories of pure and applied botany*. Clarendon Press.

Tabarelli, M., Leal, I.R., Scarano, F.R. and Silva, J., 2018. Caatinga: legacy, trajectory and challenges towards sustainability. *Science and Culture*. 70 (4), 25-29. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>.

Taylor, H. M., Brar, G. S., 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research*. 19 (2-3), 111-119. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90080-H](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90080-H).

Tetley, U., 1925. The secretory system of the roots of the Compositae. *New Phytologist*. 24 (3), 138-162. <https://www.jstor.org/estável/2427802>.

Triebel, R., 1885. *Ueber Bau und Entwicklung der Oelbehälter in Wurzeln von Compositen: Inaug. Diss. von Königsberg. Dr. v. E. Blochmann & Sohn in Dresden.*

Trovão, D. M. D., Fernandes, P. D., Andrade, L. A. D., Dantas Neto, J., 2007. Seasonal variations of physiological aspects of Caatinga species. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*. 11, 307-311. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000300010>.

Vilhalva, D. A. and Appezzato-da-Glória, B., 2006. Morpho-anatomy of the underground system of *Calea verticillata* (Klatt) Pruski and *Isostigma megapotamicum* (Spreng.) Sherff- Asteraceae. *Brazilian Journal of Botany*. 29, 39-47. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100005>.

Vilhalva, D. A. A. and Appezzato-da-Glória, B., 2006. Morpho-anatomy of the tuberous root of *Vernonia oxylepis* Sch. Bip. in Mart. ex Baker- Asteraceae. *Acta Botanica Brasilica*. 20, 591- 598. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000300009>.

Figura 1. *Dasyphyllum sprengelianum* (Gadner) Cabrera, Caatinga. A. Vista morfológica geral do sistema subterrâneo destacando as regiões menos tuberosa (1) e mais tuberosa (2-3) que foram analisadas quanto à anatomia. Notar estruturas nodais (setas). B-D. Secção transversal da região 1. B. Observar a região cortical amplamente desenvolvida, raios vasculares (setas) e o xilema secundário (Xs) desenvolvido. C. Camadas do periciclo fibroso (barra) e a endoderme com estrias de Caspary (setas). D. Protoxilema exarco (seta). E-G. Secções transversais da região 2. E. Vista geral da raiz tubericada. F. Periderme (seta). G. Macroscleídes agrupadas (setas). Co-Córtex. Xp-Xilema primário.

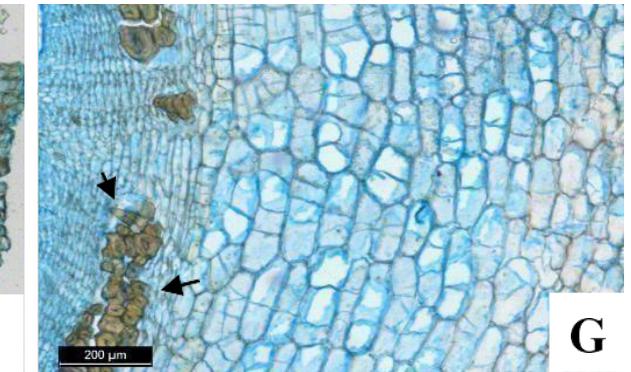
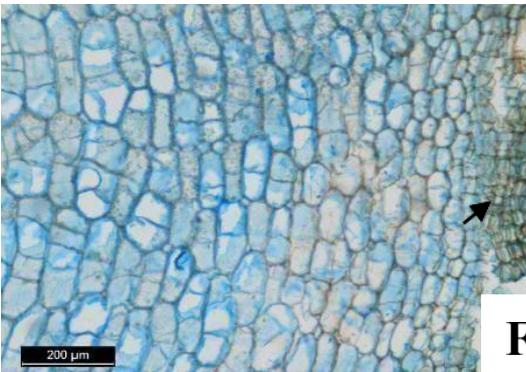
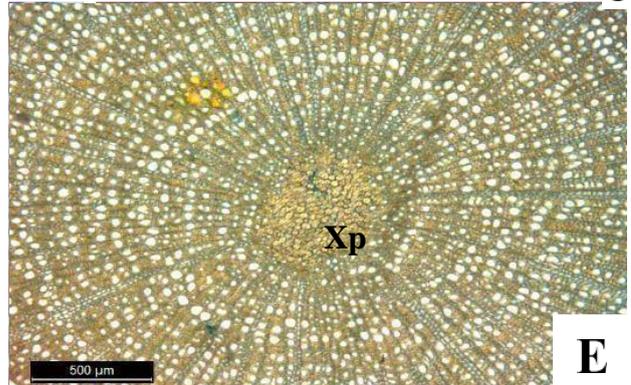
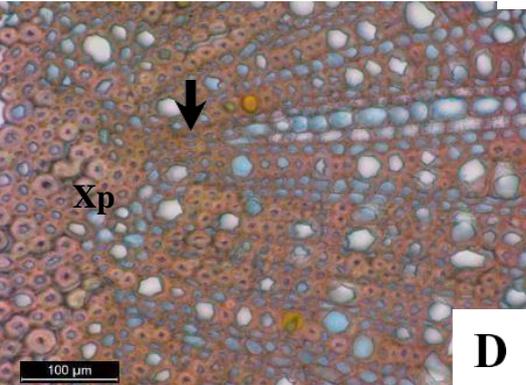
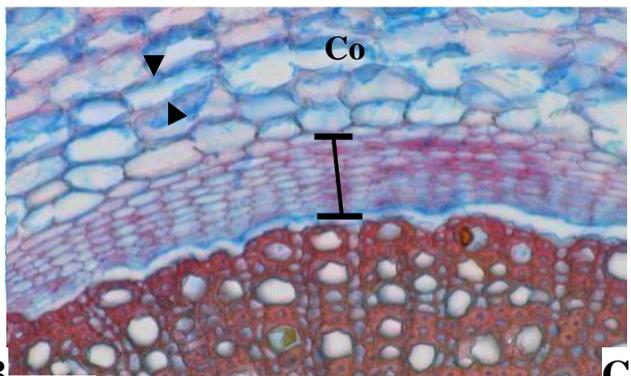
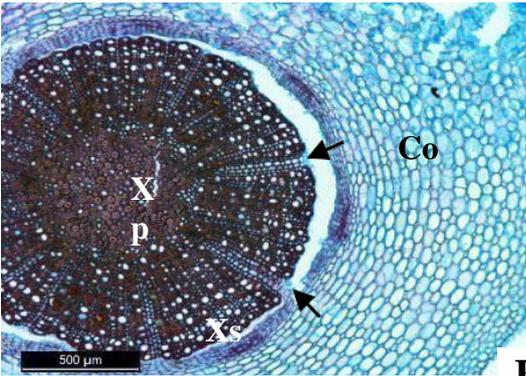
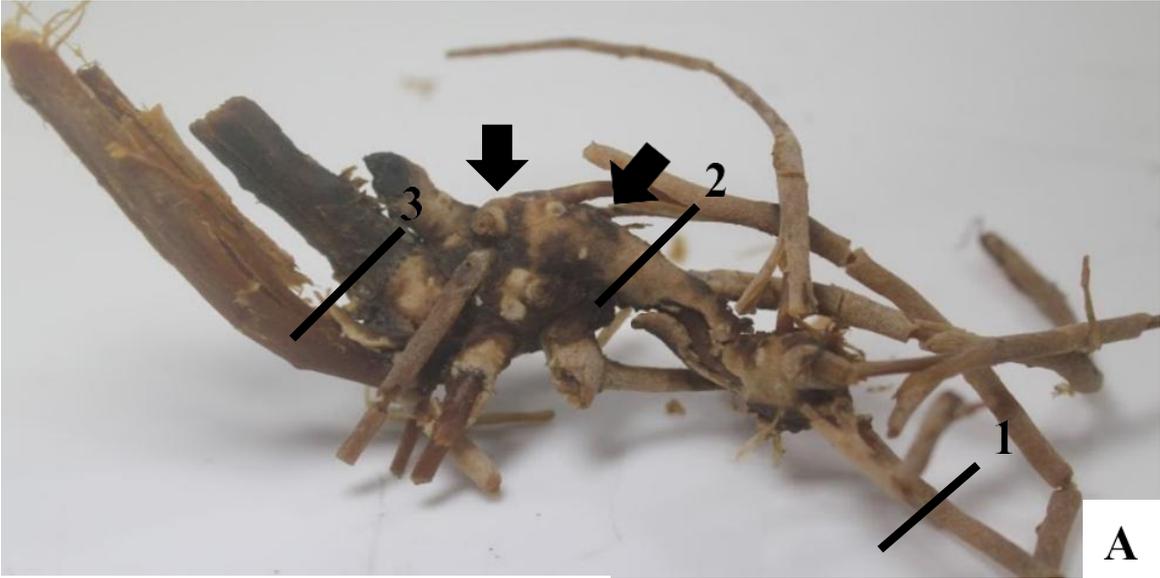
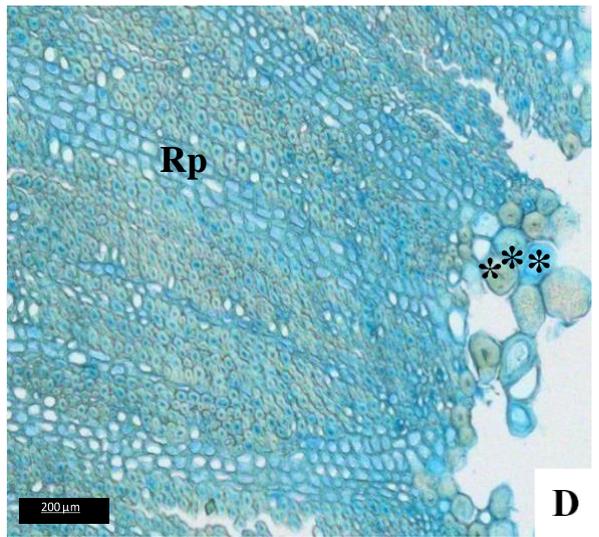
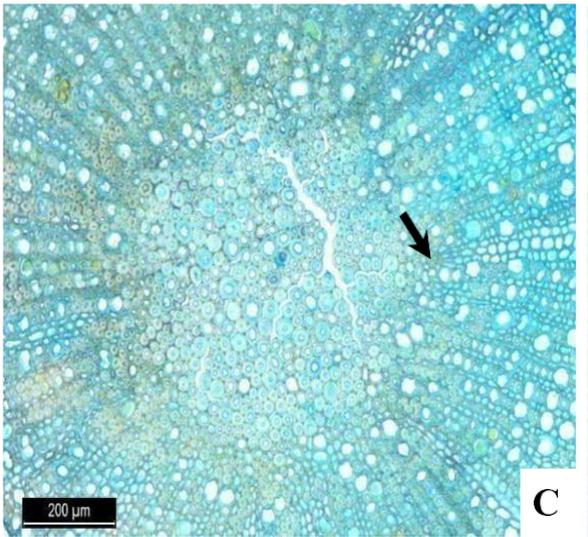
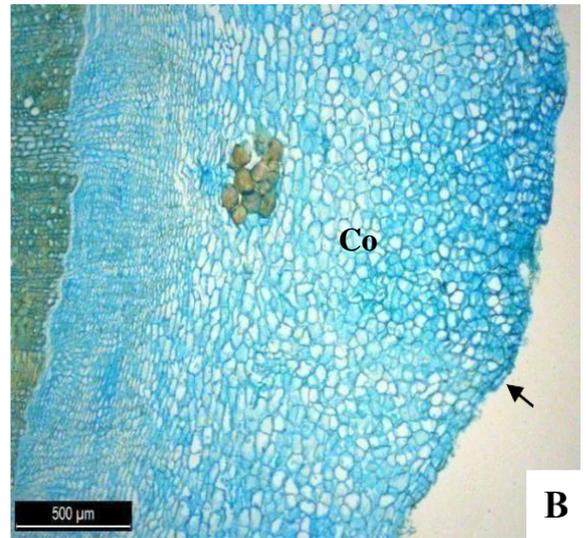
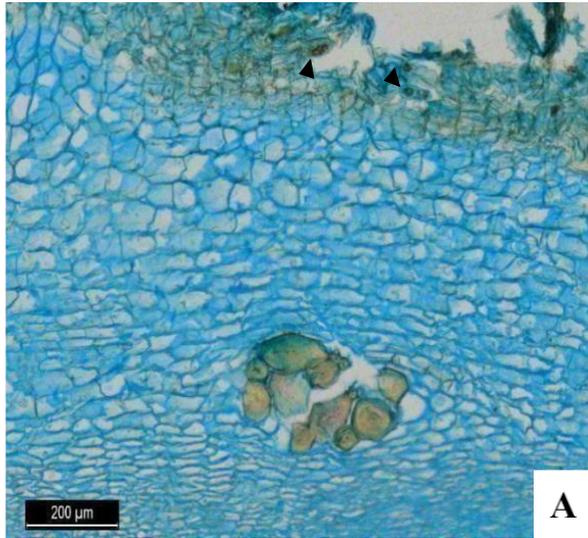


Figura 2. *Dasyphyllum sprengelianum* (Gadner) Cabrera, Caatinga. Secções transversais da região mais tuberosa (3 da figura 1a). A-B. Região cortical amplamente desenvolvida destacando células parenquimáticas e esclereídes em grupo. Notar a presença da periderme revestindo o órgão (pontas de setas). C-D. Detalhes do sistema vascular. C. Protoxilema exarcona porção tuberizada da raiz (seta). D. Raios do parênquima (Rp) mais largos alternado com o sistema axial. Observar grupos de esclereídes próximo a região medular (*).



ANEXO

REGRAS DO PERIÓDICO FLORA

Link para as regras: <https://www.elsevier.com/journals/flora/0367-2530/guide-for-authors>[https://www.elsevier.com/journals/flora/0367-](https://www.elsevier.com/journals/flora/0367-2530/guide-for-authors)

GUIDE FOR AUTHORS

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information on [Ethics in publishing](#).

Declaration of competing interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. All authors, including those *without* competing interests to declare, should create a declaration of competing interest statement (which, where relevant, may specify they have nothing to declare). To do so, authors should use [this tool](#) and upload to the submission system at the Attach Files step. **Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required.**

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).