

Gisele Gomes Nogueira Alves

**Estudos estruturais como subsídio à taxonomia
de *Simaba* Aubl. (Simaroubaceae)**

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia da Universidade de São Paulo
Para obtenção do título de Mestre em Ciências,
Área de concentração em Botânica.

Orientador: Prof. Dr. José Rubens Pirani

São Paulo

2015

Alves, Gisele Gomes Nogueira

Estudos estruturais como subsídio à taxonomia de *Simaba* Aubl.

(Simaroubaceae).

95pp.

Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica.

1. Anatomia foliar; 2. Taxonomia; 3. Simaroubaceae.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof. Dr. José Rubens Pirani

Orientador

*Dedico a meus pais, Luiz Tadeu Alves
e Sonia Gomes Nogueira Alves*

Eu não sei como devo parecer para o mundo, mas me sinto como um menino brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as demais, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.

Isaac Newton

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu orientador, Prof. Dr. *José Rubens Pirani* (IB-USP) por ter me recebido como sua aluna, pela fantástica orientação na iniciação científica, continuidade no mestrado e planos para o doutorado; pelo companheirismo e extrema dedicação ao nosso trabalho e pela confiança em me designar um grupo de estudo tão extraordinário.

Agradeço ao *Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo* (IB-USP) que me recebeu e que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também ao *CNPQ* pela concessão de meu primeiro auxílio financeiro para desenvolver este trabalho e a *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo* (FAPESP) pelo auxílio financeiro concedidos nos demais meses deste projeto.

Em especial, agradeço ao colaborador e Professor Dr. *Diego Demarco* (IB-USP) do laboratório de anatomia vegetal do IBUSP, que desempenhou conosco um papel de co-orientação simbólica, me acolhendo como uma de suas alunas e sanando todas as minhas dúvidas técnicas e teóricas, além de demonstrar sempre grande entusiasmo com nosso trabalho.

Ao colaborador, doutorando *Marcelo Fernando Devecchi*, pela parceria e amizade, pelo auxílio constante no laboratório, com as coletas, e claro, por compartilhar comigo a paixão e entusiasmo pelas *Simabas*. Agradeço a bolsista *Natalie Capelli* pelo grande auxílio nos impecáveis cortes histológicos das flores.

À minha família do Laboratório de Sistemática Vegetal (IB-USP): Os professores *Renato Mello-Silva*, *Lúcia G. Lohmann*, e *Paulo T. Sano* pelos ensinamentos, ótimas conversas e convivência; os técnicos deste mesmo laboratório *Viviane Jono*, *Roberta Figueiredo* e *Abel R. Cangussu* e os queridos colegas *Alexandre Zuntini*, *Adriana Alisson Nazareno*, *Annelise Frazão*, *Augusto Giaretta*, *Beatriz Gomes*, *Benoit Loellie*, *Caetano Oliveira*, *Carolina Siniscalchi*, *Caroline Andrino*, *Carolina Agostini*, *Cintia Luz*, *Daniela Gomes*, *Euder Glendes*, *Guilherme Antar*, *Gustavo Heiden*, *Ian Souza*, *Isabela Akemi*, *Juan Pablo*, *Juliana Lovo*, *Juliana Rando*, *Jenifer Lopes*, *Jéssica Francisco*, *Kyoshi Beraldo*, *Leonardo Borges*, *Luiz Henrique*, *Maila Beyer*, *Maria Fernanda*, *Matheus Fortes*, *Mauricio Watanabe*, *Miriam Kaehler*, *Paulo Baleeiro*, *Paulo Gonella*, *Receba Viana*, *Rodolph Sartin*, *Suzana Alcantara*, *Verônica Aydos*(e todos os alunos que por ventura possa ter me esquecido); Ao *Marcelo Kubo* pelo auxílio com as pranchas de imagens deste trabalho e à *Michelle Thais Sendas* pela rápida mas efetiva aula de diagramação das imagens.

À Dra. *Juliana Hana El Ottra* pela parceria enorme, amizade incrível e valiosas contribuições desde o início deste trabalho e por compartilhar comigo a paixão pelo estudo estrutural das Sapindales. Aos pós-docs *Anselmo Nogueira* e *Fabiana Firetti* (IB-USP) pelas incríveis adições ao meu conhecimento sobre ecologia, estrutura foliar, sugestões e auxílios ao longo do trabalho.

Aos professores do Laboratório de Anatomia Vegetal (IB-USP): *Veronica Angyalossy*, *Gregório Ceccantini*, *Nanuza Luiza de Menezes*, e *Gladys Flávia Melo-de-Pinna*, e os técnicos *Gisele R. O. Costa*, *Tássia C. Santos* e *Irwandro R. Pires* pela paciência e auxílio em minha jornada de aprendizado neste laboratório, e também aos queridos colegas *Aline Siqueira*, *Caian Souza Karina Bertechine*, *Fernanda Cordeiro*, *Giuliano Maselli*, *Josi*, *José Hernandes*, *Keyla Rodrigues*, *Luíza Teixeira*, *Marcelo Pace*, *Mariana Victório*, *Juliana Brasileiro*, *Paula Elbl*, *Rafael da Silva Cruz*, *Raquel Koch*, *Mario Albino*, *Marli Botanico*, *Marília Duarte*, *Nelly Araya*, *Placido Buarque*, *Renata Lemos*, *Renata*, *Thália Gama*, *Vítor Barão*, *Yasmim Hirao* (e todos os alunos que por ventura possa ter me esquecido) pela paciência e ótima convivência, por me acolherem de forma tão atenciosa; pela amizade e laços incríveis que criamos.

Aos professores de minha banca de qualificação *Renato de Mello-Silva*, *Gladys Flávia Melo-de-Pinna* (IB-USP) e pós-doc. *Fabiana Firetti*, pelas correções e sugestões ao projeto nesta ocasião. Aos alunos, professores e funcionários da UNICAMP.

Aos meus pais, *Luiz Tadeu* e *Sonia*, por sempre terem apoiado meus estudos, por entenderem minha atípica escolha de carreira e principalmente, por se orgulharem de mim antes mesmo de minha primeira conquista; pelo amor incondicional e ótimo exemplo de vida que são.

Ao *todo poderoso Allan*, cuja peculiaridade em me solicitar este tipo de tratamento nos agradecimentos de minha dissertação de mestrado é um dos motivos pelo qual o escolhi para me acompanhar pela vida.

A família Simaroubaceae constitui um grupo com grande potencial de estudo. Com distribuição essencialmente tropical, é considerado um grupo relativamente pequeno dentro da Ordem Sapindales e monofilético, mas morfológicamente diversificado. Apenas Engler, no final do século XIX, estudou detalhadamente a família no Brasil como um todo, e desde então as adições ao conhecimento do grupo têm ocorrido de forma gradual e fragmentada. Esta dissertação aborda estudos estruturais de espécies do gênero *Simaba*, o maior da família, analisando a estrutura foliolar dos representantes de todas as suas seções, *Simaba* sect. *Floribundae* Engl., *S.* sect. *Grandiflorae* Engl. e *S.* sect. *Tenuiflorae* Engl., a fim de selecionar caracteres morfológicos e anatômicos para auxiliar os trabalhos de taxonomia deste gênero, que não recebe tratamento desde uma revisão taxonômica publicada em 1983. Além do estudo das estruturas vegetativas, neste trabalho documentamos as estruturas florais, que possuem com poucos registros de estudo na literatura do grupo, por meio de análise comparativa da morfologia e anatomia das flores de espécies pertencentes às seções *S.* sect. *Floribundae* e *S.* Sect. *Grandiflorae*, tradicionalmente distintas principalmente pelo tamanho da flor e grau de fusão do apêndice estaminal ao longo do filete, mas com grande semelhança morfológica entre si. Além de apresentar as descrições e ilustrações das características estruturais vegetativas e reprodutivas encontradas, investigamos a existência de atributos florais ainda não reportados no grupo, provendo um panorama de caracteres foliares e florais informativos para subsidiar a resolução dos problemas taxonômicos existentes no gênero e visando melhor delimitação entre as espécies que exibem grande semelhança morfológica, mesmo pertencendo ao mesmo grupo.

1. A Ordem Sapindales

Inserida no grupo das Eudicotiledôneas Rosídeas Malvídeas (APG-III, 2009), as Sapindales representam um grupo cuja monofilia é sustentada por sinapomorfias macromoleculares e pelas folhas compostas pinadas (ocasionalmente palmadas, uni ou trifolioladas) e flores com disco nectarífero muito desenvolvido (Judd. *et al.* 2008, Simpson 2010). Formada por nove famílias, ca de 5.200 espécies em 473 gêneros, a ordem é distribuída nas principais áreas tropicais e temperadas do mundo (Kubitzki 2011), sendo representada na região Neotropical pelas famílias Anacardiaceae, Burseraceae, Meliaceae, Rutaceae, Sapindaceae e Simaroubaceae, onde se concentra ca. 40% da diversidade total de espécies do grupo (Smith *et al.* 2004). Os membros desta ordem se destacam por suas características químicas e potencial econômico, além da elevada diversidade morfológica.

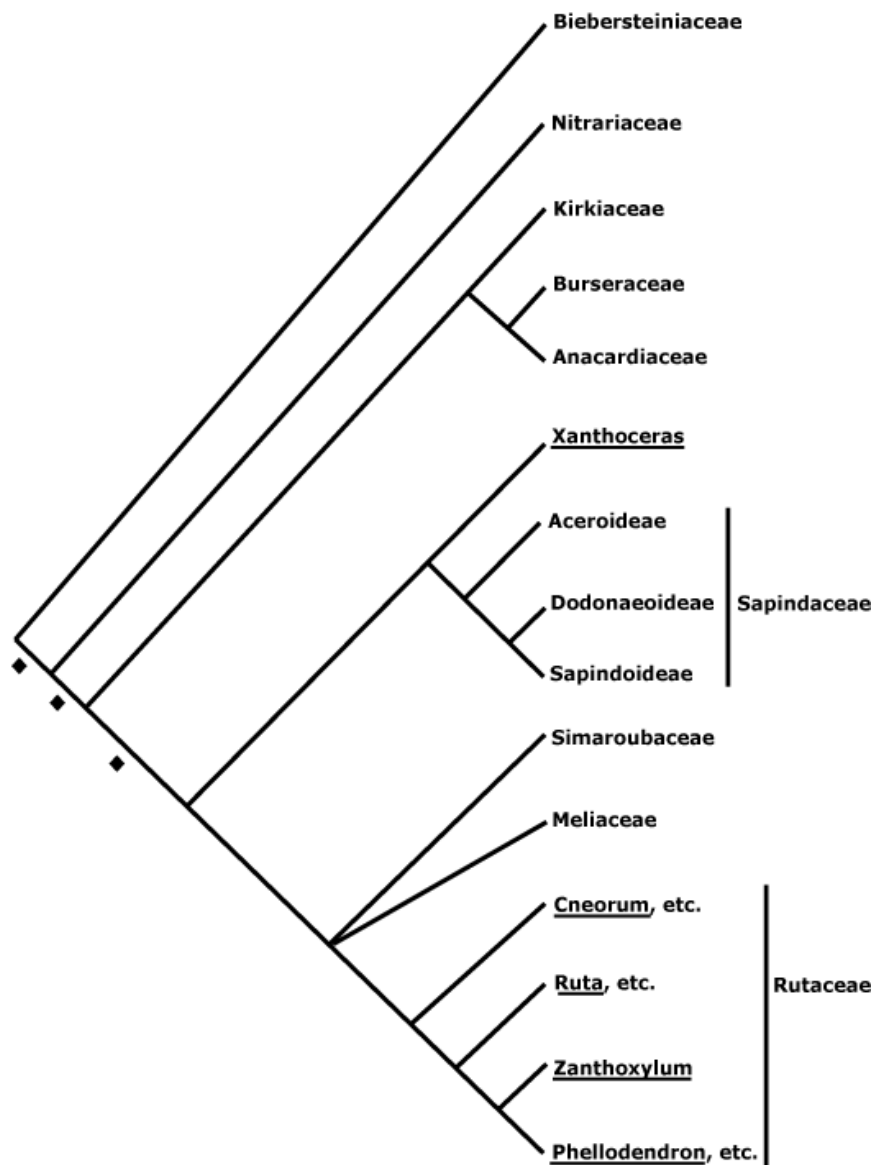


Fig.1. Relações filogenéticas dos grupos incluídos na ordem Sapindales. APGweb (Stevens 2015).

A filogenia atualmente disponível sobre a ordem (Fig. 1) mostra Rutaceae, Meliaceae e Simaroubaceae formando um clado, embora com falta de resolução nas relações entre si. Essas três famílias compartilham a presença de limonoides e quassinoides (formas degradadas de triterpenos e nortriterpenoides), compostos incomuns nas demais angiospermas (Gadek *et al.* 1996, Kubitzki 2011, Kubitzki & Gottlieb 1984). As Burseraceae e as Anacardiaceae constituem grupos-irmãos que compartilham expressivo número de caracteres morfológicos e anatômicos, principalmente florais (Gadek *et al.* 1996, Kubitzki 2011) (Fig. 1). Simaroubaceae, Rutaceae e Meliaceae também compartilham algumas características estruturais e a literatura tem grande disponibilidade de dados morfológicos e anatômicos sobre Rutaceae, enquanto as outras duas famílias necessitam de muito mais estudos nessa linha.

Estudos estruturais foliares e florais, foco principal do presente trabalho, são de grande importância para análises de nível específico, genérico, e em hierarquias taxonômicas superiores, pois podem contribuir de forma valiosa às suas circunscrições, além de proporcionar subsídio para entendimento da evolução dos grupos e de seus graus de relacionamento, permitindo hipóteses filogenéticas e de diversificação mais robustas.

2. A família Simaroubaceae s.s.

A família Simaroubaceae foi recircunscrita após análises macromoleculares (Fernando *et al.* 1995), constituindo agora um grupo monofilético sustentado também pela posse de quassinoides, substâncias químicas exclusivas. A família assim redefinida está constituída apenas pelos gêneros antes tratados na subfamília Simarouboideae por Engler (1931), que reconhecia outras cinco subfamílias no grupo. Picramnioideae, por exemplo, era subfamília isolada e polêmica dentro da família por não possuir quassinoides, apresentar gineceu sincárpico e fruto do tipo baga. Picramniaceae ganhou status de família, hoje posicionada como um grupo-irmão de Sapindales (Fernando & Quinn 1995; APG-III 2009).

Autores como Gadek *et al.* 1996 e Muellner *et al.* 2007 prosseguiram com novas análises filogenéticas e contribuíram para a atual circunscrição de Simaroubaceae, que possui distribuição pantropical com principal centro de diversificação na América Tropical e um centro secundário na África Oriental. É um grupo relativamente pequeno dentro da ordem Sapindales, com 22 gêneros e 109 espécies (Clayton 2011). No Brasil ocorrem cerca de 6 gêneros e 27 espécies nativas distribuídas nos domínios da Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Pirani & Thomas 2013).

Apesar de muito bem sustentada por dados macromoleculares (DNA plastidial e nuclear)

e dados micromoleculares (quassinoides), Simaroubaceae é morfologicamente diversificada e não apresenta uma única característica estrutural comum entre seus gêneros que não esteja presente em famílias relacionadas. As Meliaceae e Rutaceae provavelmente são os grupos mais proximamente relacionados às Simaroubaceae (Fig. 1), compartilhando além das sinapomorfias moleculares alguns caracteres morfológicos, químicos e a anatomia do lenho.

Após a monografia da família em nível global realizada por Engler (1931), o tratamento mais abrangente sobre o grupo é o de Clayton (2011), que compreende chave para os gêneros e descrições destes, além de uma hipótese filogenética das relações entre eles (Fig. 2). Essa filogenia foi baseada em três marcadores plastidiais (*rbcL*, *atpB* e *matK*) e um marcador nuclear (*phyC*) (Clayton 2007).

Simaroubaceae pode então ser caracterizada pelas substâncias amargas na casca (triterpenóides e quassinoides); pelas folhas pinadas da maioria dos gêneros; pelos filetes, constantemente apendiculados na base e pelos carpelos distintos ou apenas levemente unidos (na base e/ou nos estiletes), originando frutículos livres que podem ser drupídeos ou samarídeos. Porém, nenhum destes caracteres é inteiramente constante ou exclusivo.

Apenas Engler (1874) estudou detalhadamente a família no Brasil como um todo, e as adições ao conhecimento do grupo têm ocorrido de forma gradual e fragmentada desde então. Dentre os estudos morfológicos e anatômicos de Simaroubaceae podem ser citados os de anatomia da madeira (Webber 1936; Heimsch 1942); do pericarpo (Fernando & Quinn 1992); anatomia foliar e caulinar de *Picrolemma sprucei* Hook.f. (Saraiva *et al.* 2002); anatomia foliar de *Quassia amara* L. (Macedo *et al.* 2005) e *Simarouba versicolor* A.St-Hil. (Francheschinelli & Yamamoto 1993); anatomia e fisiologia dos nectários foliares de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Clair-Maczulajtys & Bory 1983; Bory & Clair-Maczulajtys, 1990); análise morfométrica de três espécies de *Simarouba* Aubl. (Francheschinelli & Yamamoto 1999a); descrição de novas espécies e subespécies de *Simaba* (Feuillet 1983; Thomas 1984, Francheschinelli & Yamamoto 1999b); morfologia polínica (Erdtman, 1952, 1986; Moncada & Machado, 1987); estudo da estrutura floral de *Kirkia*, revisando sua posição na ordem Sapindales (Bachelier & Endress 2008); estudo embriológico de *Leitneria* corroborando sua inclusão em Simaroubaceae (Tobe 2011); estudo da estrutura, função e importância do gineceu na sistemática de Simaroubaceae (Ramp, 1988) e a convergência do gineceu apocárpico em grandes grupos de angiospermas - Sapindales, Malvales e Gentianales (Endress *et al.* 1983).

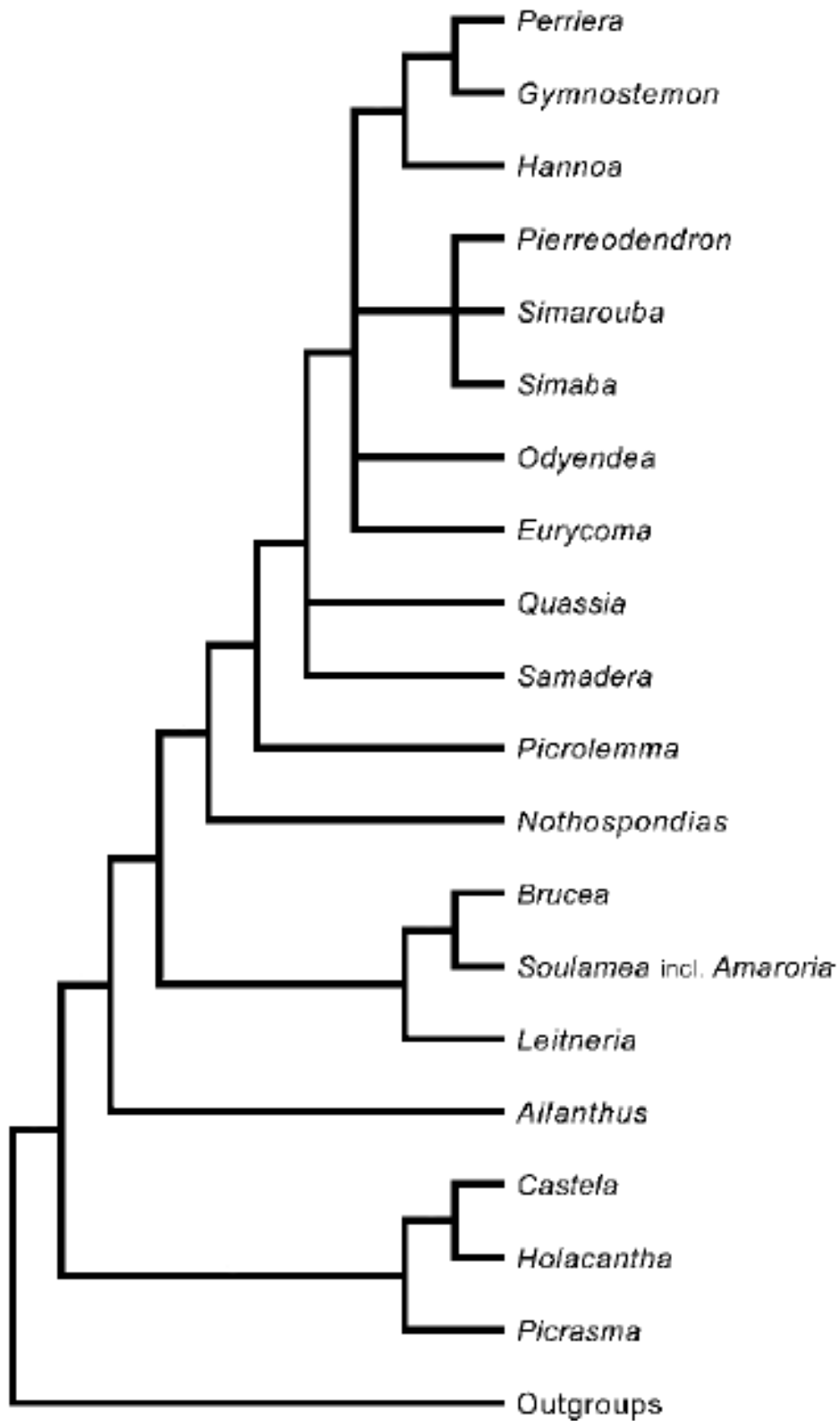


Fig. 2. Relações filogenéticas entre gêneros de Simaroubaceae. Modificado de Clayton 2007; 2011.

Na família foram documentados muitos tipos de glândulas secretoras, florais e extraflorais. A presença de glândulas pedicelares, hirsutas, globulares e cupuliformes em gêneros da família foi apontada por Metcalfe & Chalk (1950) como comum no grupo. Entre os variados tipos de nectários extraflorais estudados no grupo destacam-se os das espécies do gênero asiático *Ailanthus*, cuja morfologia e funcionalidade foram analisadas por Clair-Maczulajtys & Bory (1982) e Bory & Clair-Maczulajtys (1990). Com folhas de margem serrada, cada folíolo nessa espécie possui cerca de cinco nectários situados na terminação das nervuras secundárias, na base dos pecíolos em folhas jovens e nectários pedicelares (Bory & Clair-Maczulajtys 1990). Glândulas localizadas no ápice do folíolo também estão presentes em grande parte das espécies do gênero neotropical *Simaba*, cuja ocorrência foi apontada por Engler (1931) e taxonomistas posteriores (e.g. Cronquist 1944, Cavalcante 1983, Clayton 2011) como frequentes, mas sem qualquer análise de estrutura ou composição de sua secreção na literatura do grupo que permita classificar a glândula como um nectário ou outro tipo de estrutura secretora.

Simaroubaceae possui grande importância na pesquisa etnofarmacológica, uma vez que muitas espécies são amplamente utilizadas na medicina popular, com espécies sendo empregadas no tratamento de malária, doenças estomacais e inflamatórias e diabetes, com plantas que se destacam por sua diversidade química (Alves *et al.* 2014). Análises fitoquímicas envolvendo representantes da família foram conduzidas por Hilditch & Williams (1964), Simão *et al.* (1991), Barbosa *et al.* (2011) e Alves *et al.* 2014.

3. O gênero *Simaba* Aubl.

As plantas desse gênero são árvores, arbustos ou subarbustos, que frequentemente apresentam caule subterrâneo, desenvolvendo-se pouco abaixo da superfície do solo, podendo ser encontrados em cerrados com a parte aérea formando densas moitas (Cavalcante 1983). Suas folhas são alternas, compostas, geralmente imparipinadas, com folíolos (sub)opostos e frequentemente dotados de uma glândula no ápice (Cavalcante 1983; Clayton 2011), estrutura que é muito evidente nos folíolos jovens. As inflorescências são panículas ou tirso terminais, curtas ou muito amplas e ramificadas. Suas flores bissexuadas constituem o principal caráter que as distinguem do gênero de *Simarouba*, que tem flores unissexuadas em plantas dioicas. O fruto é um esquizocarpo com um a cinco drupídeos (mericarpos do tipo drupa) (Engler 1931, Pirani 1987a; Clayton 2011).

Os gêneros americanos que apresentam semelhanças com *Simaba* são *Quassia* L. e *Simarouba* Aubl. Com o primeiro, *Simaba* compartilha flores bissexuadas, dotadas de ginóforo e

estigma capitado, mas distingue-se principalmente pelas folhas com raque não alada e inflorescência ramificada (panícula ou tirso). Já *Simarouba* difere de ambos principalmente pelos folíolos alternos, flores unissexuadas sem ginóforo, mas com disco nectarífero anular curto e estigmas alongados bem divergentes (Engler 1931; Cronquist 1944). Noteboom (1962) propôs a união desses três gêneros sob *Simaba*, porém tal proposta nunca foi acatada pelos botânicos e tampouco recebeu apoio consistente na análise filogenética de Clayton (2007): embora oito espécies estudadas de *Simaba* tenham formado um clado-irmão do clado constituído pelas quatro espécies estudadas de *Simarouba*, os dois terminais de *Quassia* emergiram em um clado bem distante deste.

Simaba é o maior gênero da família abrangendo cerca de 25 espécies, a maioria da América do Sul Tropical (Cavalcante 1983; Pirani 1987b; Thomas 1990; Clayton 2011), com uma espécie de ampla distribuição (*S. cedron* Planch.) alcançando o norte do México (Cronquist 1944; Thomas 1990). No Brasil, foi registrada a ocorrência de 23 espécies que se distribuem nos domínios da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga, 12 delas endêmicas do país (Pirani & Thomas 2013).

Desde Engler (1874, 1931) são consideradas três seções dentro do gênero: *Simaba* sect. *Tenuiflorae* Engl., *S.* sect. *Floribundae* Engl. e *S.* sect. *Grandiflorae* Engl. Nas revisões taxonômicas feitas por Cronquist (1944) e Cavalcante (1983), esses grupos foram mantidos, mas como informais. Pelas normas do Código de Nomenclatura Botânica, se os grupos infragenéricos de Engler (1874) forem mantidos, *Simaba* sect. *Tenuiflorae* deverá ser tratada como *Simaba* sect. *Simaba*, uma vez que inclui a espécie-tipo do gênero, *S. guianensis* Aubl.

Franceschinelli & Yamamoto (1999b) apresentaram uma tabela com os caracteres diagnósticos principais utilizados na distinção destas três seções e destacando a região geográfica em que as espécies de cada seção se concentram. De modo geral, *Simaba* sect. *Tenuiflorae* é caracterizada pelas flores pequenas (ca. 4-7 mm compr.) e é praticamente restrita à região norte da América do Sul, predominando nas regiões úmidas da Amazônia, com a única exceção de uma subespécie de *S. guianensis* Aubl., que também foi registrada no sul da Bahia (Thomas 1985). Já as espécies das outras duas seções são essencialmente extra-amazônicas, ocorrendo na Mata Atlântica e regiões mais secas e abertas do centro e leste do Brasil e Paraguai, com exceção de *S. cedron* Planch., que alcança a Amazônia Oriental e *S. paraensis* Ducke que é estritamente amazônica (Cronquist 1944, Cavalcante 1983). As flores nestas duas seções são geralmente bem maiores que as de *S.* sect. *Tenuiflorae*: medem entre 15-35 mm compr. em *S.* sect. *Grandiflorae* e ca. 5-15 mm em *S.* sect. *Floribundae*. Outros caracteres distintivos entre as três seções são a presença e grau de pilosidade das pétalas, o tamanho e indumento dos apêndices estaminais, e

seu grau de união aos filetes (Engler 1874, Cronquist 1944, Cavalcante 1983, Thomas 1984). Porém, existe flagrante semelhança morfológica entre algumas espécies das duas seções extra-amazônicas e por isso o limite entre elas é questionável.

O último trabalho de cunho revisivo sobre *Simaba* é o de Cavalcante (1983), que reconheceu 23 espécies na América do Sul e seguiu quase integralmente a sinopse de Cronquist (1944), embora enriquecendo consideravelmente a documentação dos registros em herbários e provendo descrições mais completas e várias ilustrações originais. Tal situação aponta a necessidade de atualização dos estudos no grupo. Posteriormente, foram descritos táxons novos e propostos alguns rearranjos pontuais resumidos a seguir. *Simaba moretti* Feuillet (1983) foi descrita da Guiana Francesa, *S. cavalcantei* W.Thomas (1984) do Pará e *S. docensis* Franceschinelli & Yamamoto (1999b) de Minas Gerais. Em um estudo do complexo de *S. guianensis* Aubl., Thomas (1985) elevou uma subespécie à categoria de espécie [*S. polyphylla* (Cavalcante) Thomas], e posteriormente foi descrita mais uma subespécie neste grupo (*S. guianensis* subsp. *huberi* Franceschinelli & Thomas 2000).

4. As seções de *Simaba*: *S. sect. Floribundae* Engl., *S. sect. Grandiflorae* Engl. e *S. sect. Tenuiflorae* Engl.

Compilando uma lista dos táxons incluídos nas três seções de *Simaba* com base na mais recente revisão de Cavalcante (1983) e os trabalhos avulsos posteriores com táxons novos e sinonimizacões, somam-se atualmente 24 espécies e três subespécies assim distribuídas:

Simaba sect. *Floribundae* inclui 14 espécies: *S. cuneata* A.St.-Hil. & Tul., *S. docensis* Franceschinelli & Yamamoto, *S. ferruginea* A.St.-Hil., *S. floribunda* A.St.-Hil., *S. glabra* Engl., *S. insignis* A.St.-Hil. & Tul. *S.intermedia* Mansf., *S. moretii* Feuillet, *S. praecox* Hassl., *S. suaveolens* A.St.-Hil.; *S. suffruticosa* Engl. e *S. subcymosa* A.St.-Hil & Tul. Apenas *S. paraensis* Ducke e *S. cavalcantei* Thomas ocorrem na Amazônia, sendo a segunda não incluída no trabalho de Cavalcante (1983).

Simaba sect. *Grandiflorae* inclui cinco espécies: *S. cedron* Planch., *S. maiana* Casar, *S. pohliana* Boas, *S. salubris* Engl.e *S. trichilioides* A.St.-Hil. A primeira é amplamente distribuída e as demais são extra-amazônicas.

Simaba sect. *Tenuiflorae* inclui cinco espécies e três subespécies: *S. guianensis* Aubl., *S. monophylla* (Oliv.) Cronquist, *S. obovata* Spruce ex Engl., *S. orinocensis* Kunth, *S. polyphylla* (Cavalcante) Thomas; *S. guianensis* subsp. *eucaudata* (Cronquist) Cavalcante, *S. guianensis* Aubl. subsp. *guianensis* e *S. guianensis* subsp. *huberi* Franceschinelli & Thomas. Com exceção de *S. obovata*, todos os demais táxons desta seção são restritos à região amazônica.

Existem muitos problemas taxonômicos nestes grupos. Por exemplo, binômios reconhecidos nas revisões de Cronquist (1944) e de Cavalcante (1983), como *S. crustacea* Engl. e *S. multiflora* A.Juss., foram reduzidos a sinônimos de *S. orinocensis* (Thomas 1984), enquanto uma subespécie de *S. guianensis* foi elevada a espécie, *S. polyphylla* (Thomas 1985). Muitos táxons de *Simaba* são conhecidos de uma ou poucas coletas além do material-tipo (de três espécies existe apenas o tipo) e a circunscrição de muitos deles é complicada. Autores como Pirani & Thomas (2015) propõem *S. cuneata* como sinônimo de *S. floribunda*, mas sem suporte de dados explícitos. Embora o caráter “comprimento da porção livre do apêndice estaminal” seja tradicionalmente utilizado na taxonomia de *Simaba*, Cronquist (1944) já chamava atenção para a variação considerável nesse caráter, sobretudo no grupo de espécies que inclui *S. salubris*, *S. cedron*, *S. maiana*, *S. pohliana* e *S. trichilioides*. As diferenças tênues entre *S. ferruginea*, *S. suaveolens* e até *S. cedron* (esta pertencente a *S. sect. Grandiflorae*) também dificultam suas delimitações. Essas controvérsias têm resultado em muitas identificações errôneas nos herbários, inventários e artigos de cunho florístico (M.F. Devecchi e J.R. Pirani com. pess.).

Finalmente, ao descrever *S. cavalcantei* baseado em material do Pará, Thomas (1984) afirmou que a espécie congrega caracteres florais de duas seções (*S. sect. Floribundae* e *S. sect. Grandiflorae*) e que isso corroboraria a conclusão do estudo anatômico de Boas (1913): ambas seções deveriam ser fundidas, pois suas espécies compartilham cavidades secretoras no mesofilo, que são ausentes nas espécies de *S. sect. Tenuiflorae*. Na filogenia de Simaroubaceae obtida por Clayton (2007), embora apenas oito espécies de *Simaba* tenham sido incluídas, nota-se que as espécies de *S. sect. Tenuiflorae* formaram um clado, enquanto as cinco espécies das outras duas seções emergiram “misturadas” (Fig. 3). Isso tudo indica a necessidade de novos estudos estruturais e taxonômicos detalhados que ampliem o grau de conhecimento do grupo a campo e em herbário, principalmente sobre os “complexos” de espécies problemáticas supramencionados destas seções, mas também visando testar os limites das próprias seções.

O presente estudo analisa a estrutura foliar e floral de espécies selecionadas das três seções de *Simaba* amostradas num período de dois anos. Além dos esforços de campo da autora, o apoio das expedições de coleta realizadas pelo doutorando Marcelo Fernando Devecchi, cujo projeto de tese visa à revisão, filogenia e biogeografia do gênero, possibilitou uma amplitude abrangente de táxons para este estudo, destacando-se a obtenção de amostras de três espécies amazônicas de *Simaba sect. Tenuiflorae* para as análises foliolas.

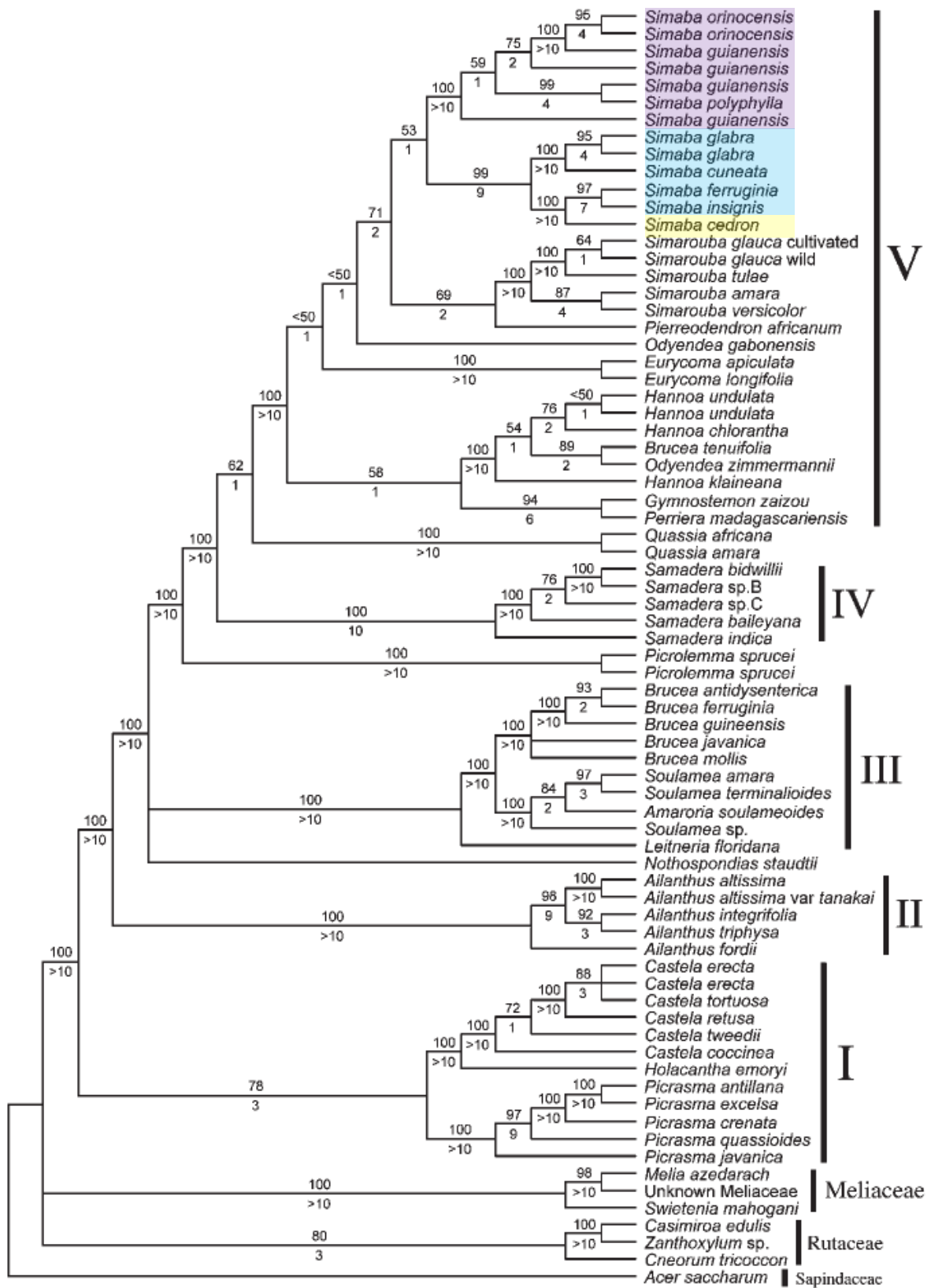


Fig. 3. Relações filogenéticas de Simaroubaceae (clados I a V) segundo Clayton (2007). No clado V, estão destacadas em roxo as espécies pertencentes à *Simaba* sect. *Tenuiflorae*; em azul, as espécies pertencentes a *S.* sect. *Floribundae* e em amarelo as pertencentes a *S.* sect. *Grandiflorae*.

5. Objetivos

Os objetivos desta dissertação são:

1. Realizar um estudo estrutural detalhado das folhas e flores de espécies das três seções de *Simaba*, com ênfase nos táxons extra-amazônicos.
2. Completar a lacuna de conhecimento existente acerca dos caracteres anatômicos vegetativos e florais de *Simaba* com análise comparativa de suas semelhanças e diferenças, visando contribuir com trabalhos futuros de revisão e análise filogenética do gênero.

Para alcançar os objetivos acima mencionados, dois estudos com abordagens distintas foram realizados no decorrer do mestrado, com objetivos específicos e demais tópicos apresentados a seguir.

6. Estrutura geral da Dissertação

A presente dissertação é composta por dois capítulos (em formato de manuscritos) e considerações finais. Cada capítulo apresenta formatação adequada à revista que planejamos submeter cada manuscrito. Em linhas gerais, os capítulos contêm os seguintes estudos:

❖ Capítulo 1. Anatomia foliar de *Simaba* Aubl. (Simaroubaceae): dados estruturais como subsídio para a taxonomia infragenérica

Abrange o estudo da estrutura foliar de 20 táxons e 17 espécies de *Simaba*. Apresenta análise do padrão de venação das espécies amostradas, cortes histológicos das regiões apical, mediana da lâmina foliolar e peciólulos, além de microscopia eletrônica de varredura e de polarização para verificação do tipo de esclereídes, drusas e cristais romboidais. Neste capítulo são apresentados os caracteres anatômicos do gênero com amostragem de representantes das três seções do gênero, a fim de verificar se estes são informativos para avaliar a circunscrição destas seções e se auxiliam na resolução das questões pendentes acerca da delimitação de diversas espécies e subespécies. Almeja-se ainda que o estudo detecte caracteres anatômicos que possam ser usados na composição de uma matriz morfológica para futura análise filogenética do gênero.

Planejamos submeter este capítulo para a revista *Plant Systematics and Evolution*, com co-autoria do Ms. Marcelo Fernando Devecchi, Prof. Dr. Diego Demarco e Prof. Dr. José Rubens Pirani.

Adicionalmente, no decorrer da análise morfológica foi detectada a presença de glândulas côncavas na base da lâmina foliolar em *S. orinocensis*, ainda não descritas na literatura da

espécie. Foi realizada análise destas estruturas em vista superficial sob microscopia eletrônica de varredura e por meio de cortes histológicos (secções transversais), a fim de verificar se suas características se diferenciam das encontradas nos nectários apicais foliolares encontrados nesta e em outras espécies do gênero. Elaboramos assim uma nota que planejamos submeter para a revista *Brazilian Journal of Botany*, com co-autoria do Ms. Marcelo Fernando Devecchi, Prof. Dr. Diego Demarco e Prof. Dr. José Rubens Pirani.

❖ **Capítulo 2. Flores de *Simaba* Aubl.: estrutura e novidades anatômicas em espécies de *S. sect. Floribundae* Engl. e *S. sect. Grandiflorae* Engl.**

Este capítulo aborda o primeiro estudo de estrutura floral com enfoque comparativo realizado com espécies dessas duas seções de *Simaba*. Ambas as seções são tradicionalmente distintas principalmente pelo tamanho da flor e grau de fusão do apêndice estaminal ao longo do filete. Além de apresentar as descrições e ilustrações das características florais encontradas, investigamos a existência de atributos florais ainda não reportados no grupo. Esse estudo visa prover um panorama de caracteres florais informativos para subsidiar a resolução dos problemas taxonômicos existentes no gênero e para serem usados em futura reconstrução de sua filogenia, viabilizando delinear e testar hipóteses sobre a evolução floral no grupo. Planejamos submeter este capítulo (que ainda não se encontra na forma de manuscrito) para a revista *Botanical Journal of the Linnean Society*, com co-autoria do Prof. Dr. Diego Demarco e Prof. Dr. José Rubens Pirani.

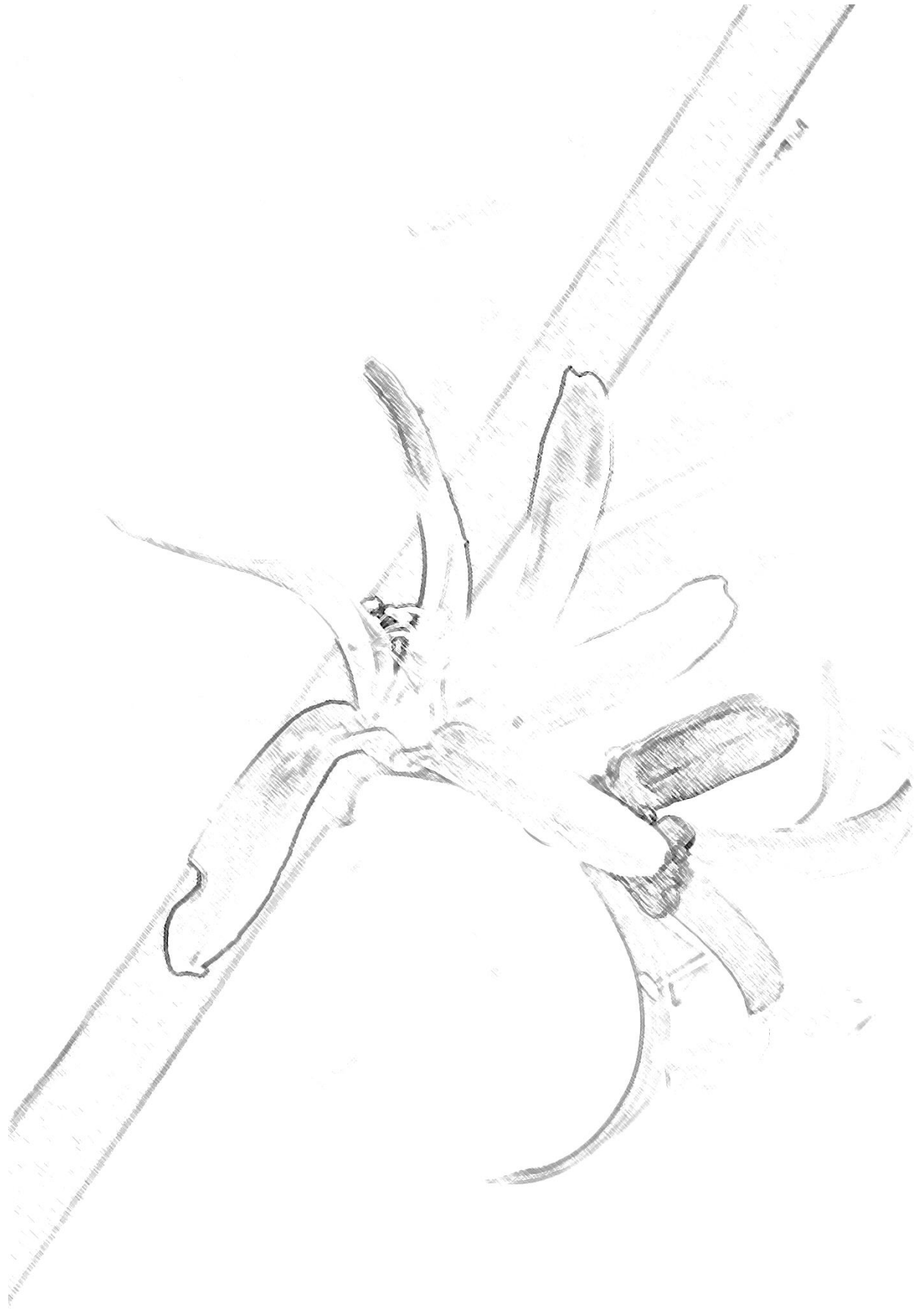
Referências

- Alves, I.A.B.S., Miranda, H.M., Soares, L.A.L. & Randau, K.P. 2014. Simaroubaceae family: botany, chemical composition and biological activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 24: 481-501.
- APG 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105–121.
- Bachelier, J.B. & Endress, P.K. 2008. Floral structure of *Kirkia* (Kirkiaceae) and its position in Sapindales. *Annals of Botany* 102: 539–550.
- Barbosa, L.F., Braz-Filho, R., Vieira, I.J.C. 2011. Chemical constituents of plants from the genus *Simaba* (Simaroubaceae). *Chemistry & Biodiversity* 8: 2163-2178.
- Bory, G. & Clair-Maczulajty, D.C. 1990. Importance of foliar nectaries in the physiology of tree of heaven (*Ailanthus glandulosa* Desf. Simaroubaceae). *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*. 137(2-3):139-155.
- Boas, F. 1913. Beiträge zur Anatomie und Systematik der Simarubaceen. *Beiträge zur Botanische Centralblätter* 29:303-356.
- Cavalcante, P.B. 1983. Revisão taxonômica do gênero *Simaba* Aubl. (Simaroubaceae) na América do Sul. *Publicações Avulsas do Museu Paraense Emílio Goeldi* 37:1-85.
- Clair-Maczulajty, D.C. & Bory, G. 1983. Les nectaires extrafloraux pedicelles chez l'*Ailanthus glandulosa*. *Canadian Journal of Botany*. 61:683-691.
- Clayton, J.W., Fernando, E.S., Soltis, P.S. & Soltis, D.E. 2007. Molecular phylogeny of the Tree-of-Heaven family (Simaroubaceae) based on chloroplast and nuclear markers. *International Journal of Plant Sciences* 168(9):1325-1339.
- Clayton, J.W. 2011. Simaroubaceae. In: Kubitzki, K. (ed.) *The families and genera of vascular plants. Vol. X. Flowering plants. Eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae*. Springer. Berlin. p. 408-423.
- Cronquist, A. 1944. Studies in the Simaroubaceae. III. The genus *Simaba*. *Lloydia* 7(1):81-92.
- Endress, P.K., Jenny, M. & Fallen, M.E. 1983. Convergent elaboration of apocarpous gynoecia in higher advanced dicotyledons (Sapindales, Malvales, Gentianales). *Nordic Journal of Botany* 3:293-300.
- Engler, A. 1874. Simarubaceae. In: Martius, C.P.F. & Eichler, A.G. (eds.) Vol. 12. *Flora brasiliensis*. Frid. Fleischer. Leipzig. p. 197-248.
- Engler, A. 1931. Simaroubaceae. In: Engler, A. & Prantl, K. (eds.) ed. 2. 19a. *Die natürlichen Pflanzenfamilien*. Engelmann. Leipzig. p. 359–405.
- Erdtman, G. 1952. *Pollen morphology and plant taxonomy*. Almqvist & Wiskell. Stockholm.
- Erdtman, G. 1986. *Pollen morphology and plant taxonomy: angiosperms*. Bill Archive. Leiden.
- Fernando, E.S. & Quinn, C.J. 1992. Pericarp anatomy and systematic of the Simaroubaceae *sensu lato*. *Australian Journal of Botany* 40:263-289.
- Fernando, E.S., Gadek, P.A. & Quinn, C.J. 1995. Simaroubaceae, an artificial construct: evidence from *rbcL* sequence variation. *American Journal of Botany* 82:92-103.

- Fernando, E.S. & Quinn, C.J. 1995. Picramniaceae, a new family, and a recircumscription of Simaroubaceae. *Taxon* 44 (2):177-181.
- Feuillet, C. 1983. Études sur les Simaroubaceae. II. Un *Simaba* nouveau de Guyane française dans la section *Floribundae* Engl.: *S. morettii*. *Candollea* 38(2):745-750.
- Francheschinelli, E.V. & Yamamoto, K. 1993. Taxonomic use of leaf anatomical characters in the genus *Simarouba* Aubl. (Simaroubaceae). *Flora*. 188:117-124.
- Franceschinelli, E.V.; Yamamoto, K.; Shepherd, G. J. 1999a. Distinctions among three *Simarouba* species. *Systematic Botany* 23(4):479-488.
- Franceschinelli, E.V. & Yamamoto, K. 1999b. *Simaba docencis*, a new Brazilian species of Simaroubaceae. *Novon* 9(3):345-348.
- Franceschinelli, E.V. & Thomas, W. 2000. *Simaba guianensis* subs. *huberi*, a new Venezuelan taxon of Simaroubaceae. *Brittonia*. 52(4):311-314.
- Gadek, P.A., Fernando E.S., Quinn, C.J., Hoot, S.B., Terrazas, T., Sheahan, M C. & Chase, M.W. 1996. Sapindales: molecular delimitation and infraordinal groups. *American Journal of Botany* 83(6):802-811.
- Heimsch, C. 1942. Comparative anatomy of the secondary xylem in the Gruinales and Terebinthales of Wettstein with reference to taxonomic grouping. *Lilloa* 8:83-199.
- Hilditch, T.P. & Williams, P.N. 1964. *The chemical constituent of natural facts*, ed. 4. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Judd, W.S., Campbell, C.S., Kellog, E.A; Stevens, P. F., Donoghue, M. J. 2008. *Plant Systematics. A phylogenetic approach*. Ed. 3. Sinauer Associates. Sunderland.
- Kubitzki, K. & Gottlieb, O. 1984. Micromolecular patterns and the evolution and major classification of angiosperms. *Taxon*. 33:375–391.
- Kubitzki, K. 2011. Introduction to Sapindales. In: Kubitzki, K. (ed.) *The families and genera of vascular plants. Flowering plants. Eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae*. Springer Verlag. Berlin. p. 1–3.
- Macedo, C.G., Potiguara, R.C.V. & Neto, O.R. 2005. Anatomia foliar de *Quassia amara* L. (Simaroubaceae), uma espécie medicinal e inseticida. *Boletim do Museu Prof. Emílio Goeldi, série ciências naturais*. 1(1):9-18.
- Metcalfe, C.R. & Chalk, L. 1950. *Anatomy of the dicotyledons*. 2 vols. Clarendon Press. Oxford.
- Moncada, M. & Machado, S. 1987. Los granos de polen de Simarubaceae. *Acta Botanica Cubensis* 45:1-7.
- Muellner, A.N., Vassiliades, D.D. & Renner, S.S. 2007. Placing Biebersteiniaceae, a herbaceous clade of Sapindales, in a temporal and geographic context. *Plant Systematics and Evolution* 266:233-252.
- Nooteboon, H.P. 1962. Generic delimitation in Simaroubaceae tribus Simaroubeae and a conspectus of the genus *Quassia* L. *Blumea* 11:509-528.
- Pirani, J.R. 1987a. Simaroubaceae. In Spichiger, R. (ed.) *Flora del Paraguay*. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville Genève. Missouri Botanical Garden. Saint Louis.

- Pirani, J.R. 1987b. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Simaroubaceae. *Boletim de Botânica da USP*. 9:219-226.
- Pirani, J.R. & Tomas, W.W. 2013. Simaroubaceae In: R.C. Forzza et al. (orgs.) *Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Acesso em 11.02.2015.
- Pirani, J.R. & Thomas, W.W. 2015. Simaroubaceae. In: Jorgensen, P., Nee, M. & Bech. S. (eds.) *Catálogo de las plantas vasculares de Bolivia*. Missouri Botanical Garden Press. Saint-Louis. p. 1199-1200.
- Ramp E. 1988. *Struktur, Funktion und systematische Bedeutung des Gynoeciums bei den Rutaceae und Simaroubaceae*. Doctoral Dissertation, University of Zurich.
- Saraiva, R.C.G., Barreto, A.S., Siani, A.C., Ferreira, J.L.P., Araujo, R.B., Nunomura, S.M. & Pohlit, A.M. 2002. Anatomia foliar e caulinar de *Picrolemma sprucei* Hook (Simaroubaceae). *Acta Amazonica*. 33(2)213-220.
- Simão, S.M., Barreiros, E.L., Silva, M.F G.F. & Gottlieb, O.R. 1991. Chemogeographical evolution of quassinoids in Simaroubaceae. *Phytochemistry* 30:853-865.
- Simpson, M.G. 2010. *Plant systematics*. Ed. 2. Elsevier. Amsterdam.
- Smith, N., Mori, S.A., Henderson, A., Stevenson, D.W. & Heald, S.V. (eds.) 2004. *Flowering plants of the Neotropics*. Princeton University Press. Princeton.
- Stevens, P.F. 2015. Angiosperm Phylogeny Website. Acesso em 20/01/2015.
- Thomas, W.W. 1984. A new species of *Simaba* (Simaroubaceae) from Pará, Brazil, with a key to species North of the Amazon River. *Brittonia* 36(3):244-247.
- Thomas, W.W. 1985. The *Simaba guianensis* complex in Northern South America. *Acta Amazonica* 15:71-79.
- Thomas, W.W. 1990. The American genera of Simaroubaceae and their distribution. *Acta Botanica Brasilica* 4(1):11-18.
- Tobe, H. 2011. Embryological evidence supports the transfer of *Leitneria floridana* to the family Simaroubaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 98(2): 277-293.
- Webber, I.E. 1936. Systematic anatomy of the woods of Simaroubaceae. *American Journal of Botany* 23:577-587.

Considerações finais



Neste trabalho realizamos análise estrutural foliar e floral de alguns membros do gênero *Simaba* (Simaroubaceae), buscando levantar dados para subsidiar a taxonomia e possibilitar análises evolutivas para o grupo. Visamos contribuir para o entendimento mais abrangente e características foliares e florais do gênero. Com a análise dos dados já disponíveis para o gênero e documentação da anatomia foliolar de mais da metade das espécies, troxemos características inéditas, como o padrão de venação dos folíolos que, embora não tenha apresentado variações infragenéricas, ainda não havia sido estudado; a caracterização dos nectários extraflorais presentes nos ápices dos folíolos e a descoberta de nectários extraflorais nas margens laminares e base foliolares; a congruência do tipo de esclereides presentes nas seções e a ausência de feixes vasculares acessórios na nervura central de todos os membros estudados da *S. sect. Tenuiflorae*. A análise da estrutura foliolar dos representantes de *Simaba* evidenciou caracteres que podem ser muito significativos para a taxonomia.

Os resultados obtidos na análise da morfologia e anatomia floral de duas espécies de *S. sect. Floribundae* e *S. sect. Grandiflorae*, seções cuja circunscrição é mais controvertida, mostraram alguns dados estruturais inéditos, uma vez que existem poucos sobre os representantes de Simaroubaceae e nenhum registro sobre espécies de *Simaba*. As flores de Simaroubaceae são relatadas na literatura como portadoras de uma considerável diversidade morfológica, podendo ser reflexo de um grupo de evolução recente. Neste trabalho, descrevemos e esquematizamos as seções longitudinais e transversais das flores de quatro espécies do gênero, encontrando como resultados principais: variação do merisma em diferentes flores de uma mesma inflorescência; variações da sexualidade floral relacionadas com a esterilidade de órgãos (condição existente para outros membros da família, mas inédita em Simaroubaceae) e a conação do androceu nas espécies de *S. sect. Grandiflorae*, que constituem características descritas aqui pela primeira vez no gênero, algumas delas controversas com o pouco existente na literatura. Estes resultados abrem muitas possibilidades de estudos futuros, que são necessários para investigação mais aprofundada destes caracteres visando ao entendimento da biologia e evolução do grupo.