

**VERA LÚCIA PEGORINI ROCHA**

**ANATOMIA E HISTOQUÍMICA FOLIAR DE SEIS  
ESPÉCIES DE *Xylopia* (Annonaceae) DO SUL DA  
AMAZÔNIA**

**Dissertação de Mestrado**

**Alta Floresta-MT**

**2021**

	VERA LUCIA PEGORINI RCHA	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2021



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E  
AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS  
AMAZÔNICOS**



**VERA LÚCIA PEGORINI ROCHA**

**ANATOMIA E HISTOQUÍMICA FOLIAR DE SEIS  
ESPÉCIES DE *Xylopia* (Annonaceae) DO SUL DA  
AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientadora: Profa. Dra. Ivone Vieira da Silva

**ALTA FLORESTA-MT**

**2021**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

### CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

R672a Rocha, Vera Lúcia Pegorini.

Anatomia e histoquímica foliar de seis espécies de *Xylopia* (Annonaceae) do Sul da Amazônia / Vera Lúcia Pegorini Rocha. – Alta Floresta, 2021.  
86 f. ; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim).

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021.

Orientadora: Dra. Ivone Vieira da Silva.

1. Adaptação - Ambiental. 2. Anatomia - Ecológica. 3. Annonaceae.  
I. Silva, I. V. da, Dra. II. Título.

CDU 582.677.5

Ficha catalográfica confeccionada pelo bibliotecário Luiz Kenji Umeno Alencar – CRB1 2037.



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO CANDIDATO VERA LUCIA PEGORINI ROCHA, DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS DA FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO DO CAMPUS DE ALTA FLORESTA – UNEMAT.

Aos 30 dias do mês de março de 2021, às 14:00 horas, no Campus da Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, sob a Presidência da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivone Vieira da Silva em Sessão Pública reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação da candidata Vera Lucia Pegorini Rocha, do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, visando a obtenção do título de Mestre, constituída pelos Professores: Dr.<sup>a</sup> Ivone Vieira da Silva (Orientadora), Dr.<sup>a</sup> Juliana Garlet e Dr.<sup>a</sup> Adriana Tiemi Nakamura (participação por vídeo conferência). Iniciados os trabalhos, a Presidência deu conhecimento aos Membros da Comissão e a Candidata das Normas que regem a Defesa de Dissertação e definiu-se a Ordem a ser seguida pelos Examinadores para Arguição. A seguir o candidato passou a Defesa da sua Dissertação: "ANATOMIA E HISTOQUÍMICA FOLIAR DE SEIS ESPÉCIES DE Xylopia (Annonaceae) DO SUL DA AMAZÔNIA". Encerrada a Defesa procedeu-se o julgamento, sendo a Candidata considerada aprovada. Nada mais havendo a tratar lavrou-se a presente Ata, que vai assinada pelos Membros da Comissão Examinadora. Alta Floresta-MT, aos 30 dias do mês de janeiro de 2021.

**Prof.ª Dr.ª Ivone Vieira da Silva**

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

**Prof. Dr. Juliana Garlet**

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

**Prof. Dr. Andreia Barcelos Passos Lima Gontijo**

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

(participação por vídeo conferência)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta dissertação a minha família com muito amor e carinho, ao meu marido Florício Rocha Filho e as minhas filhas Camila Pegorini Rocha e Virgilia Aparecida Pegorini Rocha e aos meus genros, Cleverson Ferri, Ivan Moreno. À minha Mãe Joana Schmidt Pegorini e meu pai Gildo Luiz Pegorini (*in memorian*).

À minha sogra Virgilia Candido Rocha e ao meu sogro Florício Rocha Neto (*in memorian*).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me abençoado com saúde, paz de espírito, sabedoria e discernimento e muita dedicação nesta jornada de pós-graduação. Ao meu marido Florício, pelo companheirismo, incentivo, colaboração, apoio e compreensão durante todo o período. As minhas filhas Camila e Virgília pelo companheirismo, dedicação, incentivo, apoio, colaboração, conselhos e paciência em todos os momentos da minha vida, em especial a Virgília que me acompanhou em todos os momentos; nos desaminos, sofrimentos e dúvidas, sempre me encorajando. Ela é um ANJO que Deus me mandou de presente. Vocês são o sentido de minha vida.

Agradeço com louvor à Universidade do Estado de Mato Grosso por ofertar cursos superiores e de pós-graduação de qualidade, contribuindo com meu crescimento profissional e social. Com um carinho especial e admiração a Professora e orientadora Dra. Ivone Vieira da Silva, coordenadora do LAAV (Laboratório de Anatomia Vegetal/AF), muito obrigada pela oportunidade de poder participar do seu laboratório, compreendendo minhas dificuldades, me direcionando no processo de pesquisa, contribuindo para o meu crescimento de conhecimentos. Sou grata por fazer parte da minha vida acadêmica, é muito gratificante trabalhar com a senhora.

À minha amiga Angélica O. Muller, pela paciência na hora do desespero, ela foi a peça chave quando tive que mudar a minha pesquisa, me auxiliou no levantamento das espécies da pesquisa, foi fundamental nessa etapa e durante todo o tempo, com muita paciência e companheirismo sempre com conselhos de organização de vida.

As minhas melhores amigas Rosimara Barboza Bispo e Rosimeire Barboza Bispo os anjos que apareceram na minha vida, incentivo e o companheirismo de todos os momentos desde que nos encontramos, vocês foram o diferencial no meu crescimento acadêmico, sou muito grata.

Com muito carinho, agradeço ao Professor Dr. Norberto Gomes Ribeiro Júnior pela sua paciência, colaboração e contribuição na estatística e também em todos os momentos durante toda a pós-graduação. Professor que é um exemplo de sucesso!

Aos meus amigos: Prof. Marcos José Pessoa e o Marcelo Zortea pela coleta de duas espécies da pesquisa localizada na Pista do cabeça, muito obrigada!

Durante todo esse período compartilhei parceria e conhecimento com muitos alunos que formam a família científica do laboratório em especial a Cleonete que me auxiliou com o funcionamento e técnicas do laboratório e os cortes anatômicos quando iniciei como voluntária. Obrigada aos amigos Eliakin, Odair, Carol, Marcos, Ricardo Eduardo, Bruna, Leandro Fagner, Andréia F., Angélica, Rosângela, Priscila, Andreia A., Karla, Jaqueline, Maísa, Jéssica, Igor, Jaidle, William, Lucas, Geovanna, enfim, todos colaboraram muito comigo.

Agradeço também ao Wesley Jonatar que, apesar de não nos conhecermos pessoalmente, contribuiu imensamente para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, em especial ao Diego e a turma de 2019.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Obrigada a todos vocês por me auxiliarem chegar ao final dessa batalha como uma vencedora. Muita GRATIDÃO!

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	8
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>RESUMO GERAL</b> .....	xii
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	14
<b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	18
<b>3. CAPÍTULOS</b> .....	20
<b>3.1 Comparação anatômica e histoquímica foliar de seis espécies do gênero <i>Xylopia</i> (Annonaceae) ocorrente no sul da Amazônia</b> .....	20
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	23
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
2.1 Área de estudo.....	25
2.2 Coleta e identificação das amostras.....	26



2.3	Caracterização Anatômica .....	27
2.4	Obtenção e análise dos dados histoquímicos .....	27
2.5	Registro das imagens e análise dos resultados .....	28
3.	RESULTADOS.....	29
3.1	Descrição anatômica.....	29
3.2	Características anatômicas.....	35
3.3	Análise histoquímica .....	38
4.	DISCUSSÃO .....	49
5.	CONCLUSÃO .....	55
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
	<b>3.2 Estratégias anatômicas foliares de <i>Xylopia amazonica</i> R.E. Fries (Annonaceae) ocorrente em comunidades de floresta estacional perenifólia no sul da Amazônia. ....</b>	<b>61</b>
1.	INTRODUÇÃO .....	65
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
2.1	Área de estudo.....	67
2.2	Coleta e identificação das amostras.....	68
2.3	Análise anatômica .....	68
2.4	Registro das imagens e análise dos resultados .....	69
2.5	Coleta dos dados climáticos .....	70
2.6	Análise estatística.....	70
3.	RESULTADOS.....	71
4.	DISCUSSÃO .....	76
5.	CONCLUSÃO .....	79
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

TABELA 1. Testes histoquímicos utilizados na caracterização da folha de <i>Xylopia amazonica</i> , <i>Xylopia aromatica</i> , <i>Xylopia benthamii</i> , <i>Xylopia frutescens</i> , <i>Xylopia neglecta</i> e <i>Xylopia sericea</i> .....	27
---	----

TABELA 2. Caracteres anatômicos presentes em <i>X. amazonica</i> , <i>X. aromatica</i> , <i>X. benthamii</i> , <i>X. frutescens</i> , <i>X. neglecta</i> e <i>X. sericea</i> .....	34
--	----

TABELA 3: Resultado dos testes histoquímicos realizados nas folhas de <i>Xylopi</i> <i>amazonica</i> , <i>Xylopi</i> <i>aromatica</i> , <i>Xylopi</i> <i>benthamii</i> , <i>Xylopi</i> <i>frutescens</i> , <i>Xylopi</i> <i>neglecta</i> e <i>Xylopi</i> <i>sericea</i> .....	37
---	----

## CAPÍTULO 2

TABELA 1. Lista dos atributos anatômicos analisados em <i>Xylopi</i> <i>amazonica</i> ocorrente no sul da Amazônia.....	68
---	----

TABELA 2. Comparação de médias e variabilidade intraespecífica de amostras foliares de <i>Xylopi</i> <i>amazônica</i> provenientes de cinco áreas de vegetação nativa no sul da Amazônia. Letras diferentes nas linhas representam diferença estatística entre os locais para o atributo pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ). <sup>ns</sup> Sem diferença estatística entre as amostras.....	73
--	----

TABELA 3: Matriz de correlação de Pearson para os atributos anatômico-foliares de <i>Xylopi</i> <i>amazonica</i> e variáveis climáticas provenientes de cinco áreas de vegetação nativa no sul da Amazônia. Veja a Tabela 1 para legendas dos atributos funcionais.....	75
---	----

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- FIGURA 1: Localização dos sítios de coleta em vegetação nativa no sul da Amazônia e Transição Amazônia-Cerrado..... 24
- FIGURA 2: Superfície foliar adaxial de *X. amazonica* (A), *X. aromatica* (B), *X. benthamii* (C), *X. frutescens* (D), *X. neglecta* (E) e *X. sericea* (F). Superfície foliar abaxial de *X. amazonica* (G), *X. aromatica* (H), *X. benthamii* (I), *X. frutescens* (J), *X. neglecta* (K) e *X. sericea* (L).....29
- FIGURA 3: Lâmina foliar de *X. amazonica* (A, B e C), *X. aromatica* (D, E e F), *X. benthamii* (G, H e I), *X. frutescens* (J, K e L), *X. neglecta* (M, N e O) e *X. sericea* (P, Q e R).....31
- FIGURA 4: Secções transversais da nervura central de *X. amazonica* (A, B e C), *X. aromatica* (D, E e F), *X. benthamii* (G, H e I), *X. frutescens* (J, K e L), *X. neglecta* (M, N e O) e *X. sericea* (P, Q e R). .....33
- FIGURA 5: Dendrograma construído a partir de 38 caracteres anatômicos foliares com espécies de *Xylopi*a (Annonaceae) ocorrentes no sul da Amazônia.....36
- FIGURA 6: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopi*a *amazonica*. Evidências de amido (A), lipídios totais (B), taninos (C), compostos fenólicos (D), alcaloides (E), mucilagens (F) e esteroides (G e H).....39
- FIGURA 7: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopi*a *aromatica*. Evidências de amido (A e B), lipídios totais (C), óleos essenciais (D e E), taninos (F e G), compostos fenólicos (H), alcaloides (I), mucilagens (J), esteroides (K) e lactonas sesquiterpênicas (L).....41
- FIGURA 8: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopi*a *benthamii*. Evidências de amido (A e B), lipídios totais (C), óleos essenciais (D e E), taninos (F), compostos fenólicos (G e H), alcaloides (I e J), mucilagens (K) e lactonas sesquiterpênicas (L).....42
- FIGURA 9: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopi*a *frutescens*. Evidências de amido (A), lipídios totais (B), óleos essenciais (C e D), taninos (E e F), compostos fenólicos (G), alcaloides (H), mucilagens (I), esteroides (J), terpenóides (K) e lactonas sesquiterpênicas (L).....44
- FIGURA 10: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopi*a *neglecta*. Evidências de amido (A e B), lipídios totais (C e D), óleos essenciais (E e F), taninos (G), compostos fenólicos (H), alcaloides (I), esteróides (J), terpenóides (K) e lactonas sesquiterpênicas (L).....46

FIGURA 11: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopia sericea*. Evidências de amido (A), lipídios totais (B), óleos essenciais (C), taninos (D), compostos fenólicos (E), alcaloides (F), mucilagens (G), esteroides (H), terpenóides (I e J) e lactonas sesquiterpênicas (K e L).....48

## CAPÍTULO 2

FIGURA 1: Secções anatômicas de *Xylopia amazonica*. Epiderme adaxial (A); Epiderme abaxial (B); Mesofilo (C, D E e F); Nervura central (G e H).....72

FIGURA 2: Atributos anatômicos de *Xylopia amazonica* provenientes de cinco áreas de vegetação nativa no sul da Amazônia com médias diferentes entre si.....74

## RESUMO GERAL

Por possuir uma das diversidades biológicas mais ricas do planeta, o Brasil apresenta um vasto potencial para pesquisas com vegetais que substanciam metabólitos secundários. As espécies nativas do gênero *Xylopi*a L. produzem uma variedade de metabólitos secundários e tem sido investigadas como fonte potencial de compostos que apresentam várias propriedades biológicas. Os metabólitos secundários não estão diretamente relacionados com o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas assumem características funcionais que as permitem responder a estímulos ambientais; da mesma maneira que possíveis modificações na anatomia das espécies podem exercer funções que sugerem certo grau adaptativo. Nesse sentido, esse estudo teve como principal objetivo investigar espécies de *Xylopi*a ocorrentes em diferentes áreas no sul da Amazônia mato-grossense, buscando caracterizar e comparar anatômica e histoquimicamente seis espécies do gênero, além disso, investigamos possíveis características adaptativas de *Xylopi*a *amazonica* em diferentes comunidades vegetais da região. Para a realização do estudo utilizamos folhas de espécies arbóreas do gênero *Xylopi*a, as quais foram submetidas a metodologias usuais para pesquisas anatômicas e histoquímicas. A pesquisa foi organizada em dois capítulos, o primeiro trata da descrição e comparação anatômica e histoquímica das espécies: *Xylopi*a *amazonica*, *X. arom*atica, *X. benthamii*, *X. frutescens*, *X. neglecta* e *X. sericea*. As espécies possuem características anatômicas compartilhadas, como estômatos paracíticos, células epidérmicas de paredes retas a sinuosas, cutícula delgada, câmaras subestomáticas volumosas e presença de idioblastos. Os testes histoquímicos também revelaram semelhança entre as espécies, uma vez que dos dez testes realizados, cinco reagiram positivamente para todas as espécies. Os compostos presentes nas espécies, desempenham funções ecológicas relacionadas a adaptações ao ambiente, como redução da transpiração, armazenamento de água, defesa contra herbivoria e ação antifúngica. Apesar da grande quantidade de características compartilhadas, foi possível separá-las em grupos, onde as espécies *X. frutescens* e *X. sericea* são as mais semelhantes entre as seis. Os resultados obtidos são capazes de auxiliar em estudos taxonômicos na circunstância em que sugerem maior parentesco entre as espécies *X. frutescens* e *X. sericea* e *X.*

*amazonica* e *X. aromatica*. O segundo capítulo revelou que quatro atributos anatômicos possuem diferença entre os sítios estudados, sendo eles, tamanho estomático, espessura do feixe da nervura central, espessura do parênquima paliçádico e espessura da asa foliar, dessa maneira, a precipitação média anual e o índice de sazonalidade também influenciaram na variação desses tecidos, exceto a espessura da asa foliar. Apesar de alguns atributos não possuírem variação entre os sítios e não estarem relacionados com as variáveis ambientais, apresentaram maior valor de variabilidade intraespecífica, como é o caso de espessura da epiderme adaxial e abaxial, densidade estomática e espessura do parênquima lacunoso. Esse estudo mostra que *X. amazonica* apresenta diferença nos atributos anatômicos entre os diferentes sítios e que essas diferenças estão intimamente ligadas a fatores ambientais, mais especialmente a precipitação média anual.

**Palavras-chave:** Adaptação, Comparação, Mato Grosso, metabólitos secundários, plasticidade.

### GENERAL ABSTRACT

Because it has one of the richest biological diversity on the planet, Brazil has a vast potential for research with vegetables that substantiate secondary metabolites. Native species of the genus *Xylopi* L. produce a variety of secondary metabolites and have been investigated as a potential source of compounds that have several biological properties. Secondary metabolites are not directly related to plant growth and development, but assume functional characteristics that allow them to respond to environmental stimuli; in the same way that possible changes in the anatomy of species can perform functions that suggest a certain adaptive degree. In this sense, this study had as main objective to investigate *Xylopi* species occurring in different areas in the southern Amazon region of Mato Grosso, seeking to characterize and compare anatomically and histochemically six species of the genus. In addition, we investigated possible adaptive characteristics of *Xylopi amazonica* in different communities. vegetables from the region. To carry out the study, we used leaves of tree species of the genus *Xylopi*, which were subjected to the usual methodologies for

anatomical and histochemical research. The research was organized in two chapters, the first deals with the description and anatomical and histochemical comparison of the species: *Xylopia amazonica*, *X. aromatica*, *X. benthamii*, *X. frutescens*, *X. neglecta* and *X. sericea*. The species have shared anatomical characteristics, such as paracitic stomata, epidermal cells with straight to sinuous walls, thin cuticle, bulky sub-stomatal chambers and the presence of idioblasts. Histochemical tests also revealed similarities between species, since of the ten tests performed, five reacted positively for all species. The compounds present in the species, perform ecological functions related to adaptations to the environment, such as reduced sweating, water storage, defense against herbivory and antifungal action. Despite the large number of shared characteristics, it was possible to separate them into groups, where the species *X. frutescens* and *X. sericea* are the most similar among the six. The results obtained are able to assist in taxonomic studies in the circumstance in which they suggest greater kinship between the species *X. frutescens* and *X. sericea* and *X. amazonica* and *X. aromatica*. The second chapter revealed that four anatomical attributes differ between the studied sites, namely, stomatal size, central rib bundle thickness, palisade parenchyma thickness and leaf wing thickness, thus, the mean annual precipitation and the seasonality index also influenced the variation of these tissues, except the thickness of the leaf wing. Although some attributes do not vary between sites and are not related to environmental variables, they showed a higher value of intraspecific variability, as is the case of thickness of the adaxial and abaxial epidermis, stomatal density and thickness of the lacunous parenchyma. This study shows that *X. amazonica* has a difference in the anatomical attributes between the different sites and that these differences are closely linked to environmental factors, more especially the average annual precipitation.

**Keywords:** Adaptation, Comparison, Mato Grosso, secondary metabolites, plasticity.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil ocupa quase metade da América do Sul e é o país com a maior biodiversidade do mundo, abrigando mais de 20% do total de espécies do

planeta (BRASIL, 2020). É formado por diversos biomas, sendo suas florestas responsáveis pela manutenção do ecossistema e conseqüentemente manutenção da vida (DE SOUSA & BASTOS, 2020). Os diferentes biomas são conseqüência de variações climáticas características de cada região, formando distintas zonas biogeográficas (BRASIL, 2020). No Mato Grosso, a vegetação auxilia na constituição dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, onde as florestas dominam a porção amazônica e adentram o Cerrado e o Pantanal (BORGES et al., 2014).

Das mais distintas famílias que formam a vegetação dos biomas Amazônia e Cerrado, a família Annonaceae Juss. é representada por 135 gêneros e aproximadamente 2.500 espécies distribuídos principalmente em regiões tropicais e subtropicais (STEVENS, 2020). Está dividida em quatro subfamílias, composta por Ambavioideae, Anaxagoreoideae, Annonoideae e Malmeoideae (LOPES & MELLO-SILVA, 2014). No Neotrópico, a família está representada por 40 gêneros e 950 espécies, dos quais 31 gêneros e 387 espécies ocorrem no Brasil (LOBÃO et al., 2021). Essa relevante importância também é presente no estado de Mato Grosso, onde a família está entre as dez mais representativas com 15 gêneros e 69 espécies registradas (BORGES et al., 2014).

Dos 15 gêneros de Annonaceae que ocorrem no estado de Mato Grosso, o gênero *Xylopia* L. possui cerca de 34 espécies distribuídas principalmente nos biomas Amazônia e Cerrado (PONTES & JOHNSON, 2021). Este gênero produz uma variedade de metabólitos incluindo alcaloides, amidas e terpenoides e tem sido investigado como fonte potencial de compostos que apresentam uma ampla variedade de propriedades biológicas (SILVA et al., 2015).

As plantas utilizam o metabolismo primário para funções vitais, como respiração e fotossíntese (PERES, 2017), sendo que o metabolismo secundário está diretamente envolvido na produção de metabólitos responsáveis pela adaptação e sobrevivência e na capacidade de interações entre organismos e o seu meio ambiente (PILON et al., 2020). Os metabólitos secundários não estão diretamente relacionados com o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas assumem características funcionais e atuam como sinais químicos que as permitirão responder aos estímulos ambientais (CARRERÁ et al., 2016).



Apesar da produção dos compostos ser determinada por características genéticas, fatores abióticos podem modificar o metabolismo secundário vegetal, interferindo na sua produção (SOBRINHO et al., 2009). O conhecimento da ampla variedade e o principal papel dos metabólitos secundários nos leva ao entendimento da interação de milhares de anos da planta com o ambiente (PERES, 2017).

A produção de metabólitos também está associada com a hipótese de disponibilidade de recursos, que prevê que as plantas investirão mais em defesa quando o custo de substituição de tecidos for alto (FINE et al., 2006). Portanto, em ambientes inamistosos, haverá um maior investimento em mecanismos de defesa física e química ao longo do tempo evolutivo (MALDONADO et al., 2017). Desse modo, é possível afirmar que assim como a produção de metabólitos secundários está ligada a fatores abióticos proporcionando a manutenção das espécies; modificações na anatomia das plantas também assumem características funcionais (MALDONADO et al., 2017). Sendo assim, o estudo anatômico proporciona compreensão da maneira como os órgãos vegetativos podem ser usados para esclarecer dados taxonômicos e ainda auxiliar na delimitação de gêneros (DOS SANTOS & NETO, 2017).

Há tempos, estudos anatômicos foliares têm cumprido papel importante no conhecimento da ecologia de espécies vegetais. Alterações foliares têm sido estudadas como guias ambientais, sendo que os dados anatômicos também podem mostrar os padrões de diversidade encontrados num determinado ecossistema e seu potencial adaptativo, além de ser uma prática consolidada para a taxonomia (FERREIRA DE LIMA, 2015).

Baseado nesse contexto, esse estudo teve como objetivo principal estudar seis espécies do gênero *Xylopi*a ocorrentes em diferentes áreas no sul da Amazônia mato-grossense. Para isso, dividimos o trabalho em dois capítulos que objetivaram:

- Capítulo I: Caracterizar e comparar anatômica e histoquimicamente seis espécies do gênero *Xylopi*a (Anonaceae) ocorrentes na transição Amazônia/Cerrado, procurando investigar traços funcionais e a existência de metabólitos secundários a fim de relacioná-los com adaptações ambientais e contribuir com a taxonomia do grupo.

- Capítulo II: Investigar possíveis características adaptativas de *Xylopia amazonica* que ocorrem em diferentes comunidades arbóreas.

Nossas hipóteses foram de que as espécies possuem características anatômicas e compostos secundários que evidenciem plasticidade fenotípica resultando em adaptações. Acreditávamos ainda, que as espécies possuíam padrões anatômicos relacionados com o ambiente a que estão inseridas.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, H. B. N., SILVEIRA, E. A., VENDRAMIN, L. N. **Flora arbórea de Mato Grosso: tipologias vegetais e suas espécies**. Cuiabá, Mato Grosso: Entrelinhas, 2014.

BRASIL. Biodiversidade Brasileira. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade>>. Acesso em 8 janeiro 2020.

CARRERÁ, J. C.; RODRIGUES, E. A.; PEREIRA, L. S.; BATISTA, A. C. G.; SILVA, M. F. & ILKIU-BORGES, F. Histoquímica do xilema secundário de *Genipa americana* L. (RUBIACEAE). In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. 2016.

DE SOUSA, C. T. C., & BASTOS, A. T. Queimadas no Brasil e o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. **Revista Intraciência**, 13 p. 2020.

DOS SANTOS, V. C. & NETO, M. J. A CONTRIBUIÇÃO DA ANATOMIA CAULINAR E FOLIAR PARA A TAXONOMIA DE *Melochia spicata* (L.) Fryxell, (Malvaceae). **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 5, n. 2, p. 57-69, 2017.

FERREIRA DE LIMA, R. A., GASTALDELLO RANDO, J. & DUARTE BARRETO, K, Composição e diversidade no Cerrado do leste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, 2015.

FINE, P. V., MILLER, Z. J., MESONES, I., IRAZUZTA, S., APPEL, H. M., STEVENS, M. H. H., ... & COLEY, P. D. The growth–defense trade-off and habitat specialization by plants in Amazonian forests. **Ecology**, v. 87, n. sp7, p. S150-S162, 2006.

LOBÃO, A.Q.; LOPES, J.C.; ERKENS, R.H.J.; MENDES-SILVA, I.; PONTES PIRES, A.F.; SILVA, L.V.; OLIVEIRA, M.L.B.; JOHNSON, D.; MELLO-SILVA, R. *Annonaceae in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB110219>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

LOPES, J. D. C., & MELLO-SILVA, R. Diversity and characterization of Annonaceae from Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. SPE1, p. 125-131, 2014.

MALDONADO, C., BARNES, C.J, CORNET, C., HOLMFRED, E., HANSEN, S.H, PERSSON, C., ...& RNNSTED, N. A filogenia prediz a quantidade de alcalóides antimaláricos dentro da icónica casca de *Cinchona amarela* (Rubiaceae: *Cinchona calisaya*). **Fronteiras na Ciência das Plantas**, v. 8, p. 391, 2017.

PERES, L. E. P. Metabolismo secundário das plantas. 2017. Disponível em:<<http://www.oleos essenciais.org/metabolismo-secundario-das-plantas/>>. Acesso em 10 jan. 2021.

PILON, A. C., SELEGATO, D. M., FERNANDES, R. P., BUENO, P. C., PINHO, D. R., CARNEVALE NETO, F., ... & LOPES, N. P. PLANT METABOLOMICS: METHODS AND CHALLENGES. **Química Nova**, v. 43, n. 3, p. 329-354, 2020.

PONTES PIRES, A.F.; JOHNSON, D. *Xylopia* in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB110555>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

SILVA, L. E., REIS, R. A., MOURA, E. A., AMARAL, W., & SOUSA JR, P. T. Plantas do gênero *Xylopia*: composição química e potencial farmacológico. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 814-826, 2015.

SOBRINHO, T. J. S.; CARDOSO, K. C. M.; GOMES, T. L. B.; ALBUQUERQUE, U. P. & AMORIM, E. L. Análise da pluviosidade e do efeito de borda sobre os teores de flavonóides em *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud, Fabaceae. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 19, n. 3, p. 740-745, 2009.

STEVENS, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017 [and more or less continuously updated since]." will do. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb>. Acesso em fev. 2021.

### **3. CAPÍTULOS**

#### **3.1 Comparação anatômica e histoquímica foliar de espécies de *Xylopia* (Annonaceae) do sul da Amazônia**

## Resumo

Dos diversos gêneros de Anonaceae, *Xylopia* é o terceiro mais rico e amplamente distribuído nas regiões tropicais. As variações anatômicas, dentro e entre espécies, assim como a produção de metabólitos secundários, refletem estratégias adaptativas das espécies associadas a diversos processos ecológicos importantes dos ecossistemas. O objetivo deste estudo foi caracterizar e comparar anatômica e histoquimicamente seis espécies do gênero *Xylopia* ocorrentes na transição Amazônia/Cerrado, procurando investigar traços funcionais e a existência de metabólitos secundários a fim de relacioná-los com adaptações ambientais a fim de contribuir com a taxonomia do grupo. Foram estudadas as espécies *Xylopia amazonica*, *Xylopia aromatica*, *Xylopia benthamii*, *Xylopia frutescens*, *Xylopia neglecta* e *Xylopia sericea*. Utilizamos folhas de espécies arbóreas do gênero *Xylopia*, as quais foram submetidas a metodologias usuais para pesquisas anatômicas e histoquímicas. De posse dos resultados, realizamos um agrupamento para verificar a similaridade entre as espécies. A partir dos resultados, observamos a formação de quatro grupos, sendo as espécies *Xylopia frutescens* e *X. sericea* as mais similares. Todas as espécies apresentam os seguintes caracteres anatômicos e histoquímicos: estômato paracítico, tricomas na face abaxial, câmara subestomática volumosa, feixe do tipo colateral, bainha esclerenquimática, amido, lipídios totais, taninos, compostos fenólicos e alcaloides foram evidenciados em todas as espécies. Os resultados obtidos são capazes de auxiliar em estudos taxonômicos na circunstância em que sugerem maior parentesco entre as espécies *X. frutescens* e *X. sericea*, e *X. amazonica* e *X. aromatica*.

**Palavras-chave:** Adaptação, compostos secundários, anatomia ecológica.

## **Abstract**

Of the several genera of Anonaceae, *Xylopia* is the third richest and widely distributed in tropical regions. Anatomical variations, within and between species, as well as the production of secondary metabolites, reflect species adaptive strategies associated with several important ecological processes of ecosystems. The aim of this study was to characterize and compare anatomically and histochemically six species of the genus *Xylopia* occurring in the Amazon / Cerrado transition, seeking to investigate functional traits and the existence of secondary metabolites in order to relate them to environmental adaptations in order to contribute to the taxonomy of the group. The species *Xylopia amazonica*, *Xylopia aromatica*, *Xylopia benthamii*, *Xylopia frutescens*, *Xylopia neglecta* and *Xylopia sericea* were studied. We used leaves of tree species of the genus *Xylopia*, which were subjected to usual methodologies for anatomical and histochemical research. In possession of the results, we carried out a grouping to verify the similarity between species. From the results, we observed the formation of four groups, the species *Xylopia frutescens* and *X. sericea* being the most similar. All species have the following anatomical and histochemical characteristics: paracitic stoma, trichomes on the abaxial face, bulky substomatic chamber, collateral type bundle, sclerenchymal sheath, starch, total lipids, tannins, phenolic compounds and alkaloids were found in all species. The results obtained are able to assist in taxonomic studies in the circumstance in which they suggest greater kinship between the species *X. frutescens* and *X. sericea*, and *X. amazonica* and *X. aromatica*.

**Keywords:** Adaptation, secondary compounds, ecological anatomy, secretory channels.

## 1. INTRODUÇÃO

Por possuir uma rica biodiversidade, o Brasil apresenta um vasto potencial para pesquisas com vegetais que substanciam metabólitos secundários, entre esses, se encontra o gênero *Xylopia* L. , pertencente à Annonaceae (SILVA et al., 2015). A família apresenta distribuição pantropical com centro de diversidade Neotropical, nas regiões Amazônica e nas Guianas. Seus representantes podem ser reconhecidos pelo porte geralmente arbustivo ou arbóreo (BAZANTE et al., 2020). Sendo a maior família de *Magnoliales*, e uma das mais ricas em número de espécies entre as angiospermas (LOBÃO et al., 2018), Annonaceae é formada por 110 gêneros e 2.430 espécies (STEVENS, 2021).

Dentre os diversos gêneros da família, *Xylopia* é o terceiro mais rico no país, com 33 táxons (15 endêmicos), e o único amplamente distribuído nas regiões tropicais (BAZANTE et al., 2020), com ocorrências confirmadas nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (PONTES PIRES & JOHNSON, 2021), destaca-se aqui 27 espécies de *Xylopia* ocorrentes no domínio fitogeográfico da Amazônia e seis no domínio Cerrado.

Em linhas gerais, mesmo após o aumento do conhecimento das floras tropicais, pouco se sabe sobre Annonaceae do ponto de vista taxonômico, a maioria dos gêneros que ocorrem no Brasil já foram revistos, e outros estão em processo de revisão, como *Annona* e *Xylopia* (LOBÃO et al., 2018). Recentemente uma nova classificação para Annonaceae foi proposta (CHATROU et al., 2012), apesar disso, é necessário investigar detalhadamente sua delimitação taxonômica (LOBÃO et al., 2018).

A anatomia tem sido uma ferramenta útil para auxiliar a taxonomia e tem sido usada com sucesso desde o século 19 (SOLEREDER & SCOTT, 1908; METCALFE & CHALK, 1979). A importância da anatomia como uma ferramenta adicional para a taxonomia é evidente até mesmo para indicar tendências evolutivas e relações filogenéticas entre táxons (METCALFE & CHALK, 1979).

Embora as espécies analisadas neste estudo, estejam presentes em diversos tipos de ecossistemas e distribuídas ao longo do Brasil, e algumas com a anatomia bem documentada (*Xylopia aromatica* (Lam.) Mart.– SIMIONI et al., 2018; FERREIRA et al., 2015; *Xylopia benthamii* R.E.Fr. – ALMEIDA et al., 2009), caracteres importantes para a manutenção da espécie, como cutícula



espessa e o número de camadas do mesofilo, são plásticos, podendo diferir entre populações de espécies que colonizam locais com diferentes condições ambientais (FERREIRA et al., 2015).

A anatomia ecológica pode ser uma abordagem útil para compreender as mudanças estruturais e entender os processos de colonização e sobrevivência de espécies, apontando adaptações relacionadas ao ambiente, pois o conhecimento da estrutura interna assim como a produção de metabólitos secundários da planta indica e explica sua adaptação a determinado ambiente (ZINI et al., 2016; DARDENGO et al., 2017).

Com o objetivo de caracterizar e comparar anatômica e histoquimicamente seis espécies do gênero *Xylopia* (Anonaceae) ocorrentes na transição Amazônia/Cerrado, procuramos investigar traços funcionais e a existência de metabólitos secundários a fim de relacioná-los com adaptações ambientais e contribuir com a taxonomia do grupo, buscando responder às seguintes perguntas:

- I. Existem diferenças nos caracteres anatômicos e compostos secundários das espécies estudadas ocorrentes na transição Amazônia/Cerrado?
- II. Caracteres anatômicos e histoquímicos foliares podem contribuir para a taxonomia das espécies estudadas?

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

Realizamos o estudo a partir de amostras de comunidades de vegetação natural localizadas na região sul da Amazônia. Avaliamos espécies arbóreas do gênero *Xylopia* provenientes de quatro sítios de floresta; três deles integram estudos de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) Cerrado-Amazônia e, assim como outros sítios, passam por remediações para mensuração da dinâmica de comunidades vegetais a cada dois ou três anos. O quarto sítio foi inventariado recentemente por Barradas (2020) e deve ser integrado ao PELD Cerrado-Amazônia futuramente (Figura 1).

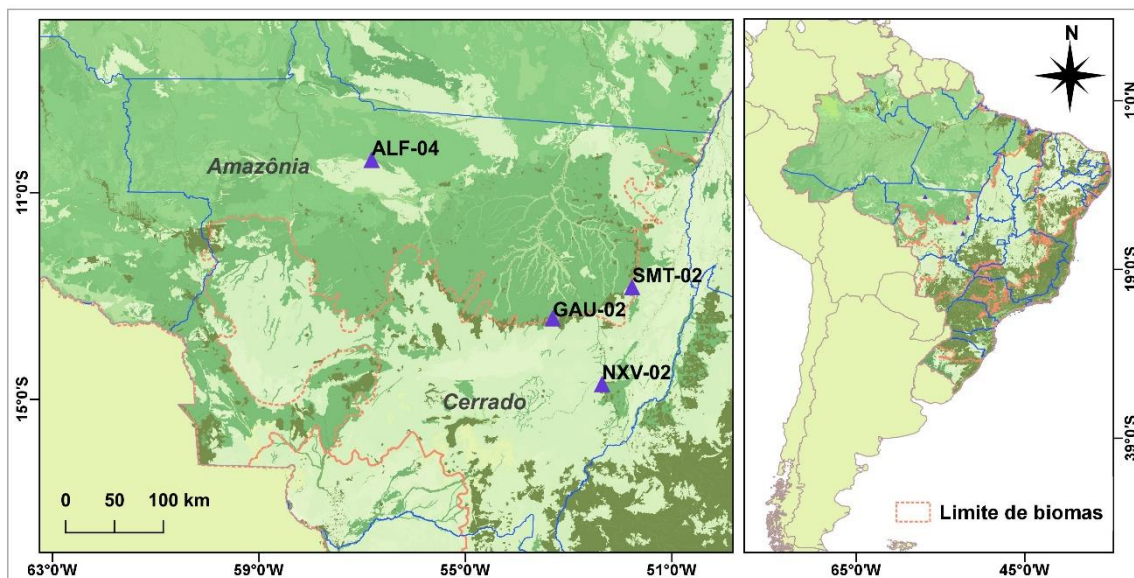


Figura 1: Localização dos sítios de coleta em vegetação nativa no sul da Amazônia e Transição Amazônia-Cerrado. As diferenças de tonalidade representam as vegetações registradas no mapeamento de biomas originais do projeto RADAMBRASIL-IBGE (IBGE, 1982). A delimitação dos biomas da Amazônia e do Cerrado são superadas por faixas de vegetação de transição. O mapa foi gerado no QGIS v.3.14 com mapas de fundo do banco de dados do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (<https://www.mma.gov.br/>). Fonte: Ribeiro-Júnior, 2020.

GAU-02 é um dos sítios estudados, sendo situado no município de Gaúcha do Norte - Estado de Mato Grosso, caracterizado como Floresta Estacional Perenifólia onde foi possível encontrar a espécie *Xylopia amazonica* R.E. Fries.

NXV-02 é um sítio inserido no município de Nova Xavantina - Estado de Mato Grosso, sendo uma região de transição entre o bioma cerrado e a floresta amazônica, com predominância de vegetação de cerrado *sensu stricto* que está em contato com extensas áreas de matas e manchas de cerradão (MARIMON JUNIOR & HARIDASAN, 2005). Esta localidade serviu para coleta da espécie *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart.

Localizada no município de Ribeirão Cascalheira, Estado de Mato Grosso, o sítio de coleta denominado SMT-02 é formado predominantemente por floresta primária, sem sinais evidentes de ação humana e está dentro de uma reserva legal de área privada. Neste cenário, foi possível realizarmos a coleta de *Xylopia frutescens* Aubl e *Xylopia sericea* A.St-Hil.

Coletamos *Xylopia benthamii* R. E. Fries e *Xylopia neglecta* (Kuntze) R.E.Fr. em uma área florestal pertencente à Fazenda Hiroshima, denominado sítio ALF-04. O local de coleta está no entorno de uma zona de contato de Floresta Ombrófila Aberta com enclaves de Cerrado em afloramentos rochosos na Serra dos Caiabis, na Amazônia Meridional (IBGE, 2012).

## 2.2 Coleta e identificação das amostras

Durante campanhas de remediação nos sítios GAU-02, NXV-02 e SMT-02 nos anos de 2017 e 2018 coletamos folhas plenamente expandidas que não apresentavam danos causados por herbívoros ou patógenos. As coletas ocorreram na base da copa de três indivíduos/espécie/comunidade a uma altura de 10 a 12 metros. Dessa maneira, também coletamos as amostras no sítio ALF-04.

Acondicionamos as folhas para conservação e transporte seguindo métodos usuais de herborização (FIDALGO & BONONI, 1984). Processamos parte do material no laboratório de Biologia Vegetal do campus da Universidade do Estado de Mato Grosso em Alta Floresta/MT, outra parte (material testemunha) comparamos às amostras registradas no Herbário da UNEMAT, campus de Nova Xavantina- MT e Herbário da Amazônia Meridional, Campus de Alta Floresta- MT, para confirmarmos sua identificação.

### 2.3 Caracterização Anatômica

Para as análises anatômicas das espécies *X. amazonica*, *X. aromatica*, *X. frutescens* e *X. sericea* fez-se necessário reidratarmos as amostras foliares com glicerina e água quente (90 °C) em proporção de 1:10, conforme Smith & Smith (1942). Colocamos as amostras nessa mistura e deixamos resfriar naturalmente e descansar por 12 horas, posteriormente estocamos em álcool etílico a 70% (JOHANSEN, 1940).

Para o estudo anatômico das espécies *X. benthamii* e *X. neglecta* fixamos o material foliar em FAA<sub>50</sub> (formaldeído, ácido acético glacial e etanol 50% 5:5:90, v/v) por 48 horas e, posteriormente, estocamos em álcool etílico a 70% (JOHANSEN, 1940).

Após o material coletado estar apto para os procedimentos anatômicos, realizamos secções transversais delgadas à mão livre na região mediana da folha com o auxílio de lâmina de aço. Clarificamos as secções em hipoclorito sódico a 2%, com posterior lavagem tripla em água destilada e, em seguida coramos com azul de Astra e fucsina básica (ROESER, 1962). Após esse processo, confeccionamos lâminas histológicas permanentes (KAISER, 1880).

Realizamos a análise da epiderme foliar a partir da dissociação epidérmica pelo método de Jeffrey (KRAUS & ARDUIM, 1997) com adaptações, onde armazenamos porções foliares nas dimensões de 1 cm<sup>2</sup> em microtubos com peróxido de hidrogênio (volume 30) e ácido acético glacial na proporção de 1:1; acondicionados em estufa a 65° C por, no mínimo, 24 horas. Após esse período, lavamos as amostras em água destilada e, posteriormente, separamos as superfícies epidérmicas com auxílio de um pincel. Ambas as faces da epiderme, coradas com fucsina básica (ROESER, 1962) proporcionaram a montagem das lâminas histológicas.

### 2.4 Obtenção e análise dos dados histoquímicos

Para o estudo histoquímico utilizamos duas folhas expandidas e sem danos na área foliar de cada espécie. Para identificarmos onde e quais metabólitos secundários estão presentes nas espécies analisadas, realizamos cortes histológicos da folha à mão livre com o auxílio de lâmina de aço.

Os metabólitos analisados e os testes histoquímicos a que as espécies foram submetidas podem ser visualizados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Testes histoquímicos utilizados na caracterização foliar de espécies de *Xylopi*a.

<b>Grupo metabólico</b>	<b>Cor da Reação</b>	<b>Reagentes</b>	<b>Referência</b>
<b>Amido</b>	Preto	Lugol	Johansen (1940)
<b>Lipídio total</b>	Vermelho	Sudan IV	Pearce (1980)
<b>Óleo essencial</b>	Azul	Nadi	David & Cardè (1964)
<b>Tanino</b>	Vermelho	Vanilina clorídrica	Mace & Howell (1974)
<b>Composto fenólico</b>	Preto	Cloreto férrico III	Johansen (1940)
<b>Alcaloide</b>	Castanho avermelhado	Dragendorff	Svendsen & Verpoorte (1983)
<b>Mucilagem</b>	Preto	Ácido tânico	Pizzolato & Lillie (1973)
<b>Esteroides</b>	Vermelho	Tricloreto de antimônio	Hardman & Sofowora (1972)
<b>Terpenoide</b>	Vermelho alaranjado	2-4-dinitrofenilhidrazina	Ganter & Jollés (1970)
<b>Lactona sesquiterpênica</b>	Vermelho	Ácido sulfúrico	Geissman & Griffin (1971)

## 2.5 Registro das imagens e análise dos resultados

Obtivemos as ilustrações da anatomia e dos testes histoquímicos por meio do capturador de imagens, acoplado ao fotomicroscópio Leica ICC50, com o auxílio do programa Leica LAS E.Z. 1.7.0.

De posse dos dados anatômicos, organizamos uma matriz de presença (1) e ausência (0) com 27 caracteres anatômicos das espécies e 10 testes histoquímicos realizados (Tabela 2). Com o programa R (R Core Team, 2019), realizamos uma análise de agrupamento hierárquico para verificar a similaridade entre as espécies de *Xylopi*a avaliadas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Descrição anatômica

Na superfície foliar adaxial das espécies de *Xylopia* analisadas ocorrem tanto células epidérmicas de contorno de paredes retas como sinuosas. *X. aromatica* (Fig. 2B), *X. frutescens* (Fig. 2D) e *X. sericea* (Fig. 2F), possuem células com contorno de paredes retas, enquanto *X. amazonica* (Fig. 2A), *X. benthamii* (Fig. 2C) e *X. neglecta* (Fig. 2E) possuem células com contorno de paredes levemente sinuosas. Já a superfície foliar abaxial das seis espécies estudadas são compostas por células epidérmicas com contorno de paredes somente retas (Figs. 2G -2L).

A disposição dos estômatos também sofreu variações entre as espécies, uma vez que *X. amazonica*, *X. aromatica*, *X. frutescens* e *X. sericea* são hipoestomáticas (Figs. 2A - 2D e 2F, respectivamente) enquanto *X. benthamii* e *X. neglecta* são anfiestomáticas (Figs. 2C e 2E, respectivamente). No entanto, todas as espécies possuem estômatos do tipo paracítico (Figs. 2G-2L) e as câmaras subestomáticas são volumosas. Dentre as características encontradas nas células epidérmicas adaxiais de *X. benthamii* e *X. neglecta* vale ressaltarmos a presença de sílica (Figs. 2C e 2E, respectivamente).

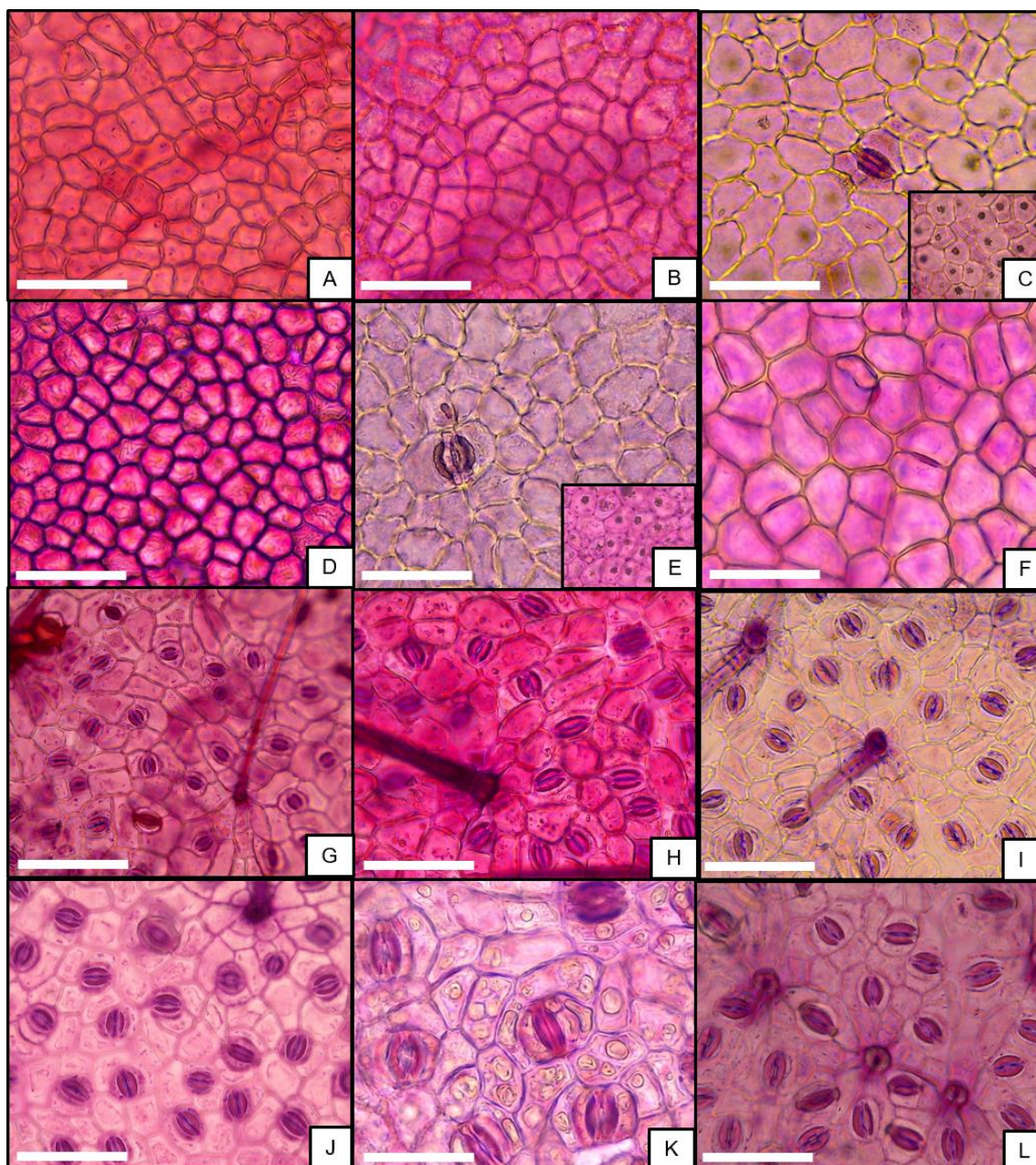


Figura 2: Superfície foliar adaxial de *X. amazonica* (A), *X. aromatica* (B), *X. benthamii* (C), *X. frutescens* (D), *X. neglecta* (E) e *X. sericea* (F). Superfície foliar abaxial de *X. amazonica* (G), *X. aromatica* (H), *X. benthamii* (I), *X. frutescens* (J), *X. neglecta* (K) e *X. sericea* (L). Barras = 100  $\mu$ m.

Todas as espécies analisadas possuem cutículas delgadas, ocupando uma proporção de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  em relação ao tamanho da célula epidérmica (Fig. 3A, 3E, 3H, 3J, 3M e 3P).

As espécies *X. amazonica*, *X. aromatica*, *X. frutescens* e *X. sericea* possuem epiderme uniestratificada, com células de formato ovalado a retangular alongadas periclinalmente em ambas as faces (Figs. 3A, 3E, 3K e 3P, respectivamente). Além disso, *X. aromatica* possui duas camadas de hipoderme

(Fig. 3D – 3F). Ao passo que, *X. benthamii* e *X. neglecta* possuem epiderme biestratificada, com células de formato ovalado alongadas periclinalmente (Figs. 3G – I e 3M – O, respectivamente). É importante ressaltarmos a presença de oxalato de cálcio do tipo drusa nas células epidérmicas de *X. benthamii* e *X. frutescens* (Fig. 3I e 3L, respectivamente).

As espécies *X. aromatica* e *X. benthamii* possuem tricomas tectores bisseriados e unisseriados (Figs. 3F e 3H, respectivamente/seta) enquanto em *X. neglecta* não evidenciamos nenhum tipo de tricoma na região do mesofilo.

O mesofilo das seis espécies possui configuração dorsiventral, com parênquima paliçádico variando de uma a três camadas, sendo que, *X. benthamii* possui apenas uma camada (Fig. 3G) e as demais espécies variam de uma a três (Figs. 3C, 3D, 3L, 3N e 3R).

O parênquima lacunoso das espécies é formado por células arranjadas frouxamente em uma distribuição irregular, no entanto, em *X. amazonica*, *X. aromatica* e *X. neglecta* ocupa cerca de  $\frac{1}{3}$  do mesofilo (Figs. 3C, 3F e 3M, respectivamente), enquanto para as espécies *X. benthamii*, *X. frutescens* e *X. sericea*, o parênquima lacunoso chega a ocupar metade do mesofilo (Figs. 3H, 3K e 3P, respectivamente).

Ainda na região do mesofilo, notamos idioblastos (Figs. 3B, 3D, 3F, 3G e 3L) e feixes vasculares do tipo colateral com um cordão de bainha esclerenquimática, cuja extensão atinge ambas as faces epidérmicas (Figs. 3A – 3R), exceto em *X. neglecta* (Figs. 3M e 3N).



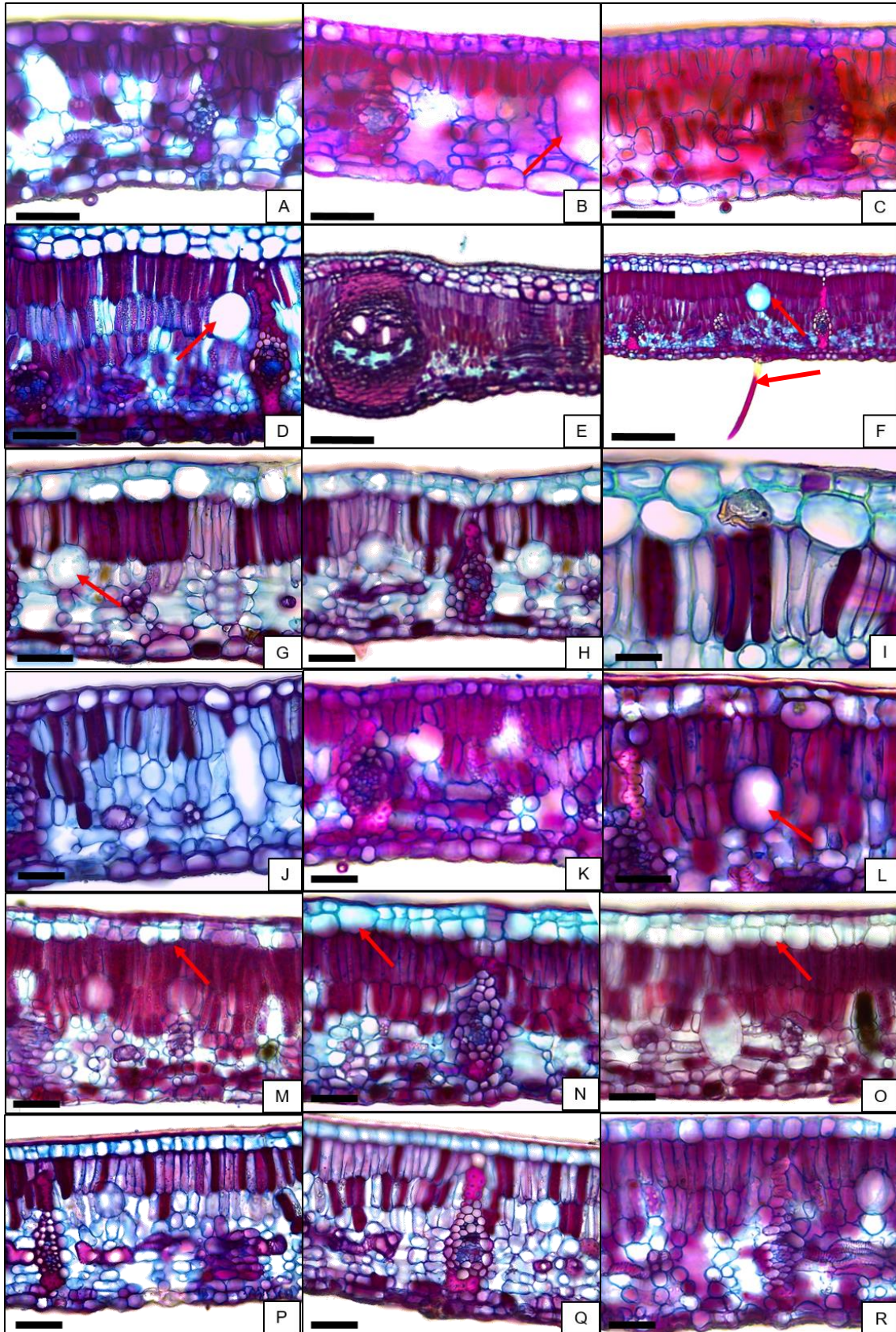


Figura 3: Lâmina foliar de *X. amazonica* (A, B e C), *X. aromatica* (D, E e F), *X. benthamii* (G, H e I), *X. frutescens* (J, K e L), *X. neglecta* (M, N e O) e *X. sericea* (P, Q e R). Barras = 50  $\mu$ m.

A nervura central das espécies possui formato ovalado com proeminência na face abaxial (Figs. 4A, 4D, 4G, 4J, 4M e 4P), sendo essa proeminência mais evidente em *X. benthamii* (Fig. 4G). Notamos que *X. benthamii* e *X. sericea* possuem epiderme biestratificada (Figs. 4H e 4Q), contrariando o que comumente foi evidenciado para as demais espécies que possuem epiderme uniestratificada.

Subsequente as células epidérmicas, notamos uma camada de colênquima anelar em ambas as faces em todas as espécies (Figs. 4A – 4Q). O parênquima de preenchimento da região da nervura central possui vários calibres, estando presentes em maior quantidade voltados para a face abaxial, com presença de idioblastos (Figs. 4C, 4F, 4I, 4O/seta). As fibras esclerenquimáticas lignificadas estão presentes em várias camadas circundando o feixe vascular de todas as espécies analisadas. O feixe central é do tipo arco - fechado e possui configuração colateral (Figs. 4A, 4D, 4G, 4J, 4M e 4P).

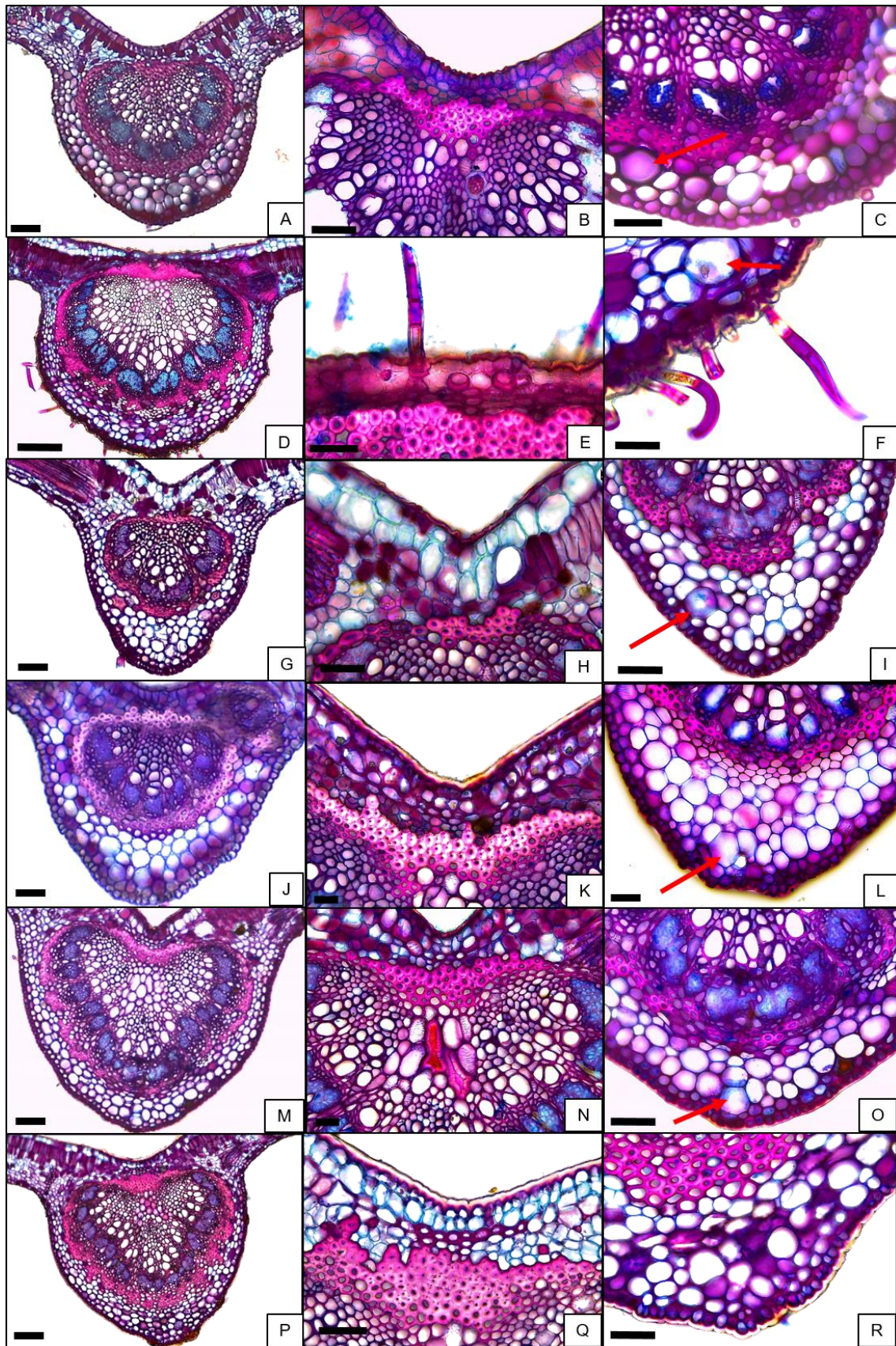


Figura 4: Secções transversais da nervura central de *X. amazonica* (A, B e C), *X. aromatica* (D, E e F), *X. benthamii* (G, H e I), *X. frutescens* (J, K e L), *X.*

*neglecta* (M, N e O) e *X. sericea* (P, Q e R). Barras = 50 µm. Setas indicam idioblastos.

### 3.2 Características anatômicas

Dentre os caracteres anatômicos observados (Tabela 2), a maioria deles estiveram presentes em todas as espécies analisadas, exceto cutícula espessa, células epidérmicas adaxiais de paredes sinuosas, presença de sílica, epiderme biestratificada, hipoderme e drusas.

**Tabela 2.** Caracteres anatômicos presentes em *Xylopia amazonica*, *X. aromatica*, *X. benthamii*, *X. frutescens*, *X. neglecta* e *X. sericea*.

			<i>X. amazonica</i>	<i>X. aromatica</i>	<i>X. benthamii</i>	<i>X. frutescens</i>	<i>X. neglecta</i>	<i>X. sericea</i>
Dissociação - Vista Frontal	Epiderme adaxial	Paredes retas	0	1	0	1	0	1
		Paredes sinuosas	1	0	1	0	1	0
		Estômatos paracíticos	0	0	1	0	1	0
		Sílica	0	0	1	0	1	0
	Epiderme abaxial	Paredes retas	1	1	1	1	1	1
		Paredes sinuosas	0	0	0	0	0	0
	Folha	Hipoestomática	1	1	0	1	0	1
		Anfiestomática	0	0	1	0	1	0
Vista transversal	Cutícula	Delgada	1	1	1	1	0	0
		Espessa	0	0	0	0	1	1
	Tricomas	Tectores	0	1	1	0	0	0
		Glandulares	1	0	0	1	0	1
		Face abaxial	1	1	1	1	0	1
	Epiderme	Uniestratificada	1	1	0	1	0	1
		Biestratificada	0	0	1	0	1	0
	Mesofilo	Hipoderme	0	1	0	0	0	0
		Parênquima paliçádico 1 camada	0	0	1	0	0	0
		Parênquima paliçádico + de 1 camada	1	1	0	1	1	1
		1/3 do mesofilo	1	1	0	0	1	0
		50% do mesofilo	0	0	1	1	0	1

		Câmara subestomática volumosa	1	1	1	1	1	1
		Feixe vascular colateral	1	1	1	1	1	1
		Bainha esclerenquimática	1	1	1	1	1	1
		Idioblastos	1	1	1	1	1	1
		Drusas	0	0	1	1	0	0
<b>Nervura central</b>	Colênquima	Anelar	1	1	1	1	1	1
	Feixe vascular	Colateral	1	1	1	1	1	1
<b>Histoquímica</b>	Metabólitos	Amido	1	1	1	1	1	1
		Lipídios totais	1	1	1	1	1	1
		Óleo essencial	0	1	1	1	1	1
		Taninos	1	1	1	1	1	1
		Compostos fenólicos	1	1	1	1	1	1
		Alcaloides	1	1	1	1	1	1
		Mucilagem	1	1	1	1	0	1
		Esteroides	1	1	0	1	1	1
		Terpenoides	0	0	0	1	1	1
Lactonas sesquiterpênicas	0	1	1	1	1	1		

(1) Presença (0) Ausência.

Através da associação dos caracteres anatômicos presentes nas espécies, foi possível agrupá-las através das semelhanças encontradas em suas características. A análise de agrupamento sugere a formação de quatro grupos (Figura 5), onde é possível observarmos que as espécies *X. frutescens* e *X. sericea* são as mais similares, seguidas de *X. amazonica* e *X. aromatica*.

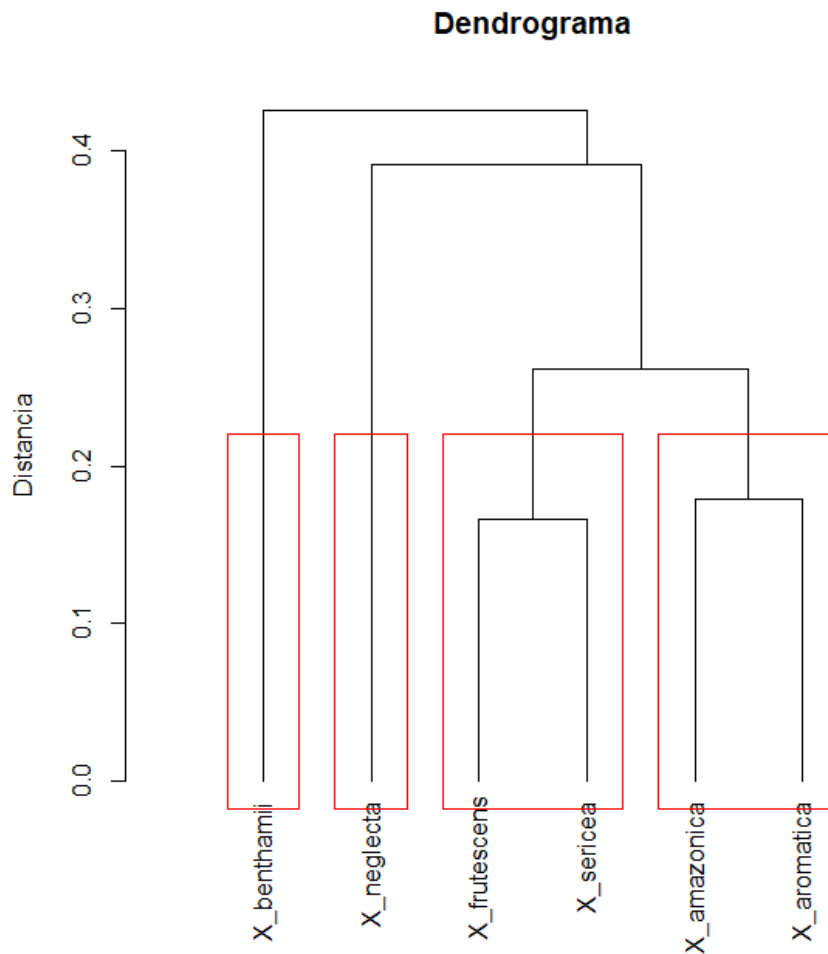


Figura 5: Dendrograma de similaridade construído a partir de 38 caracteres anatômicos foliares com espécies de *Xylopiia* (Annonaceae) ocorrentes no sul da Amazônia.

O agrupamento das espécies pode ser explicado pelo compartilhamento de características como parênquima lacunoso ocupando cerca de 50% do mesofilo, como é o caso de *X. frutescens* e *X. sericea*. Já o fato de *X. benthamii* não ter sido agrupada com outra (as) espécie (s) pode estar associado a presença de apenas 1 camada de parênquima paliçádico.

### 3.3 Análise histoquímica

Apresentamos os resultados dos testes histoquímicos realizados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado dos testes histoquímicos realizados nas folhas de espécies de *Xylopia*.

Metabólito secundário	Reativo/ Teste	Espécies					
		X. <i>amazonica</i>	X. <i>aromatica</i>	X. <i>benthamii</i>	X. <i>frutescens</i>	X. <i>neglecta</i>	X. <i>sericea</i>
<b>Amido</b>	Lugol	+	+	+	+	+	+
<b>Lipídios Totais</b>	Sudan IV	+	+	+	+	+	+
<b>Óleos essenciais</b>	Nadi	-	+	+	+	+	+
<b>Taninos</b>	Vanilina clorídrica	+	+	+	+	+	+
<b>Compostos Fenólicos</b>	Cloreto de Ferro III	+	+	+	+	+	+
<b>Alcaloides</b>	Dragendorff	+	+	+	+	+	+
<b>Mucilagens</b>	Ácido tânico	+	+	+	+	-	+
<b>Esteroides</b>	Tricloreto de Antimônio	+	+	-	+	+	+
<b>Terpenoides</b>	2,4 Dinitrofenilhidrazina	-	-	-	+	+	+
<b>Lactonas Sesquiterpênicas</b>	Ácido Sulfúrico	-	+	+	+	+	+

(+): Reação positiva; (-): Reação negativa.

Através dos testes histoquímicos realizados em *Xylopia amazonica* observamos: presença de amido no tecido do parênquima fundamental, voltado para a face abaxial da nervura central (Fig. 6A); lipídios totais na face abaxial da nervura central (Fig. 6B); taninos no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 6C); compostos fenólicos da face abaxial da nervura ventral e no floema (Fig. 6D); alcaloides no parênquima fundamental da face abaxial da nervura central (Fig. 6E); mucilagens na epiderme no parênquima de fundamental e no floema (Fig. 6F) e terpenoides no floema (Figs. 6G e 6H).



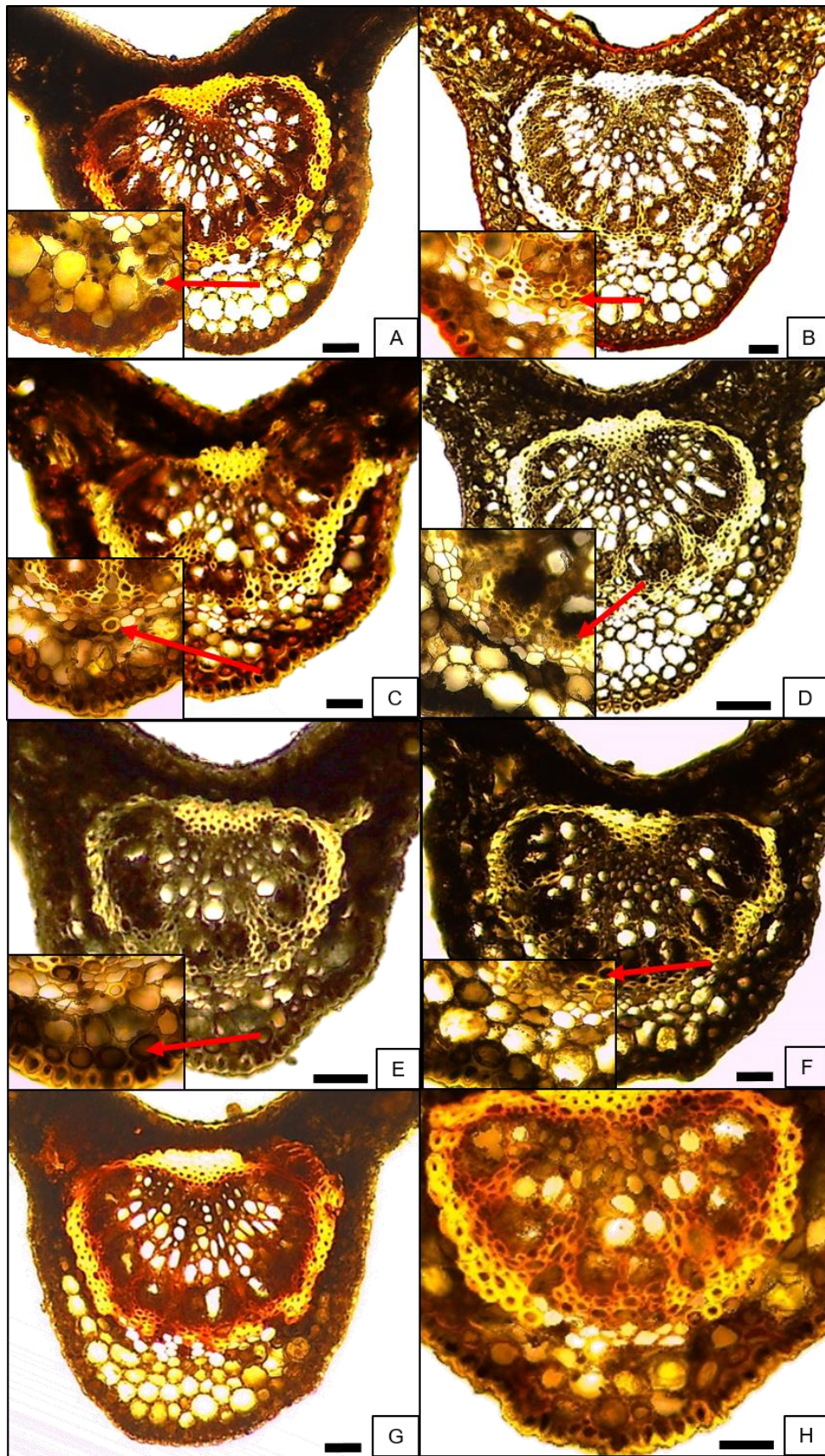


Figura 6: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopia amazonica*. Evidências de amido (A), lipídios totais (B), taninos (C), compostos fenólicos (D), alcaloides (E), mucilagens (F) e esteroides (G e H). Barras = 50  $\mu$ m.

Evidenciamos, nos testes histoquímicos realizados em *Xylopia aromatica* a presença de amido no tecido do parênquima fundamental, voltada para a face abaxial da nervura central (Fig. 7A), no parênquima paliçádico e lacunoso (Fig. 7B). Observamos lipídios totais na face abaxial da nervura central (Fig. 7C), óleos essenciais, além de evidenciados na epiderme da nervura central em ambas as faces (Fig. 7D), também comprovamos na epiderme e hipoderme da face adaxial (Fig. 7E). Taninos estão presentes no parênquima fundamental em ambas as faces da nervura central (Fig. 7F), assim como nos tricomas tectores da face adaxial da nervura central (Fig. 7G). Evidenciamos compostos fenólicos na epiderme da face abaxial da nervura central (Fig. 7H); alcaloides no parênquima fundamental da face abaxial da nervura central (Fig. 7I); mucilagens na epiderme e no parênquima fundamental da face abaxial da nervura central (Fig. 7J); esteroides no parênquima de preenchimento e nas fibras esclerenquimáticas na face abaxial da nervura central (Fig. 7K), e lactonas sesquiterpênicas na epiderme e parênquima preenchimento na face abaxial da nervura central (Fig. 7L).

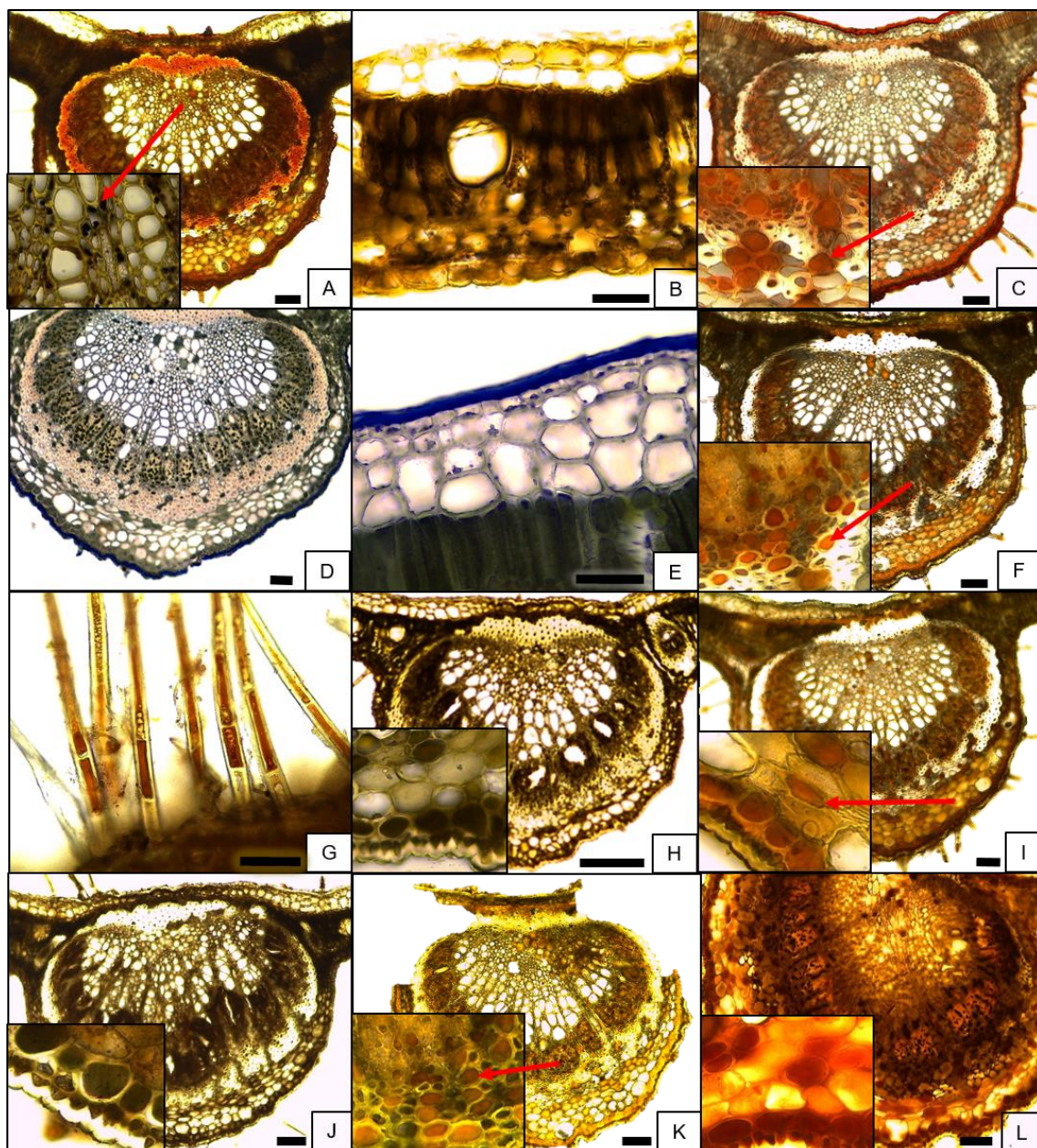


Figura 7: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopiya aromatica*. Evidências de amido (A e B), lipídios totais (C), óleos essenciais (D e E), taninos (F e G), compostos fenólicos (H), alcaloides (I), mucilagens (J), esteroides (K) e lactonas sesquiterpênicas (L). Barras = A, C, D, F, I, J e K: 100 µm. B, E e H: 50 µm. G = 200 µm.

Após submetemos amostras de *Xylopiya benthamii* aos testes histoquímicos, observamos a presença de amido no tecido do parênquima fundamental, face abaxial da nervura central (Fig. 8A) e no parênquima paliçádico e lacunoso (Fig. 8B). Detectamos lipídios totais na face abaxial da nervura central (Fig. 8C); óleos essenciais no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 8D), na epiderme e no parênquima lacunoso (Fig. 8E). Taninos foram detectados no parênquima fundamental e nas fibras (8E). Taninos foram detectados no parênquima fundamental e nas fibras

esclerenquimáticas na face abaxial da nervura central (Fig. 8F); compostos fenólicos no parênquima fundamental da face adaxial da nervura central (Fig. 8G) e no parênquima lacunoso (Fig. 8H). Evidenciamos alcaloides nas células parenquimáticas na nervura central (Fig. 8I), bem como no parênquima lacunoso (Fig. 8J); mucilagens na epiderme no parênquima de fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 8K); e lactonas sesquiterpênicas na epiderme e parênquima preenchimento na face abaxial da nervura central (Fig. 8L).

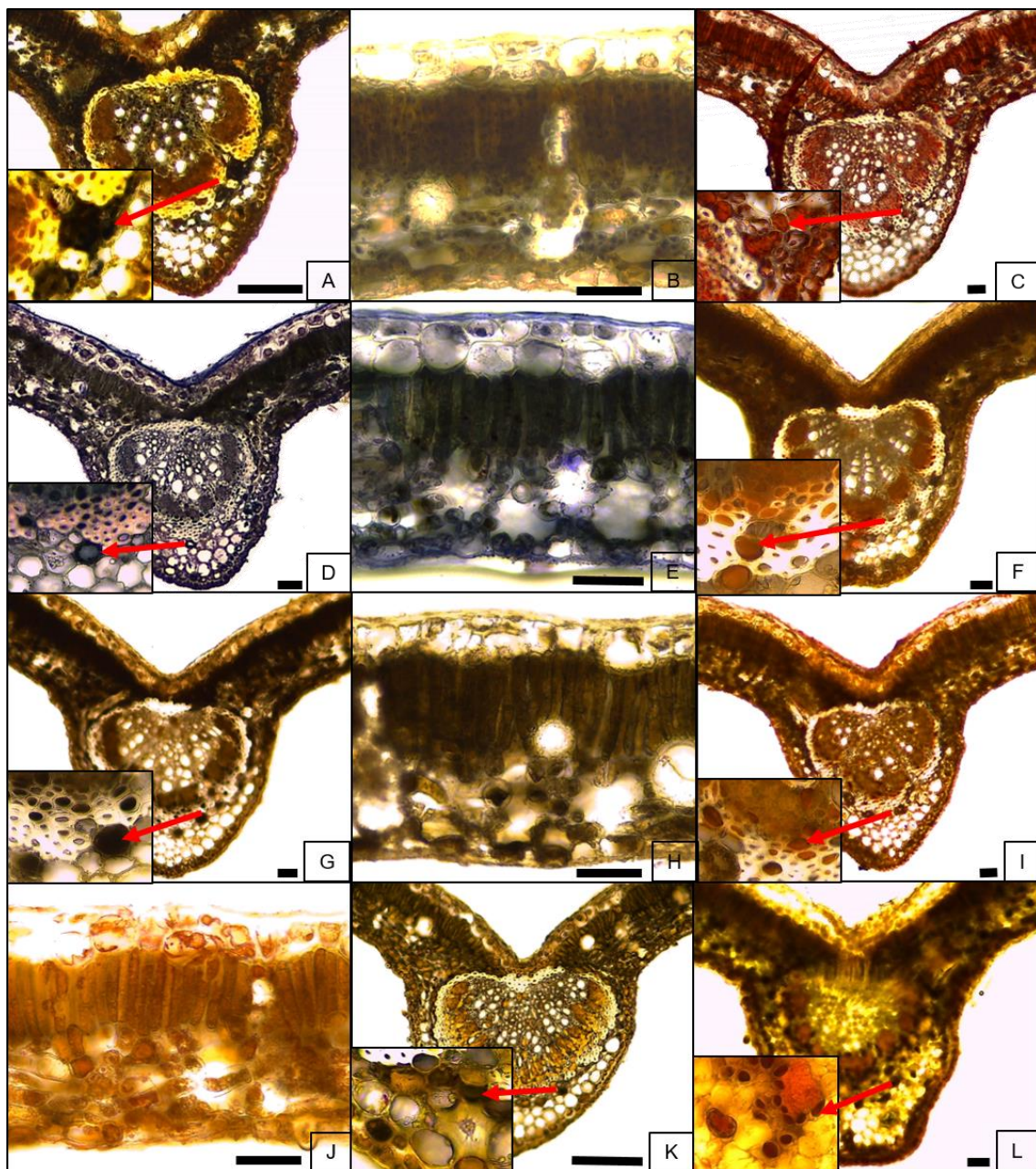


Figura 8: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopia benthamii*. Evidências de amido (A e B), lipídios totais (C), óleos essenciais (D e E), taninos

(F), compostos fenólicos (G e H), alcaloides (I e J), mucilagens (K) e lactonas sesquiterpênicas (L). Barras = 50 µm.

Os metabólitos que encontramos em *Xylopiia frutescens* foram amido no tecido do xilema (Fig. 9A); lipídios totais na epiderme abaxial e nas fibras esclerenquimáticas (Fig. 9B); óleos essenciais na epiderme e nas fibras esclerenquimáticas na face abaxial da nervura central (Fig. 9C) e em ambas as faces da epiderme e também no parênquima lacunoso do mesofilo (Fig. 9D). Taninos foram detectados no parênquima fundamental na face abaxial na nervura central (Fig. 9E), tal como no parênquima lacunoso (Fig. 9F); compostos fenólicos no parênquima fundamental da face adaxial da nervura central (Fig. 9G); alcaloides nas fibras esclerenquimáticas da face abaxial da nervura central (Fig. 9H); mucilagens no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 9I); esteroides nas fibras esclerenquimáticas na face abaxial da nervura central (Fig. 9J); terpenoides no xilema (Fig. 9K) e lactonas sesquiterpênicas no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 9L).

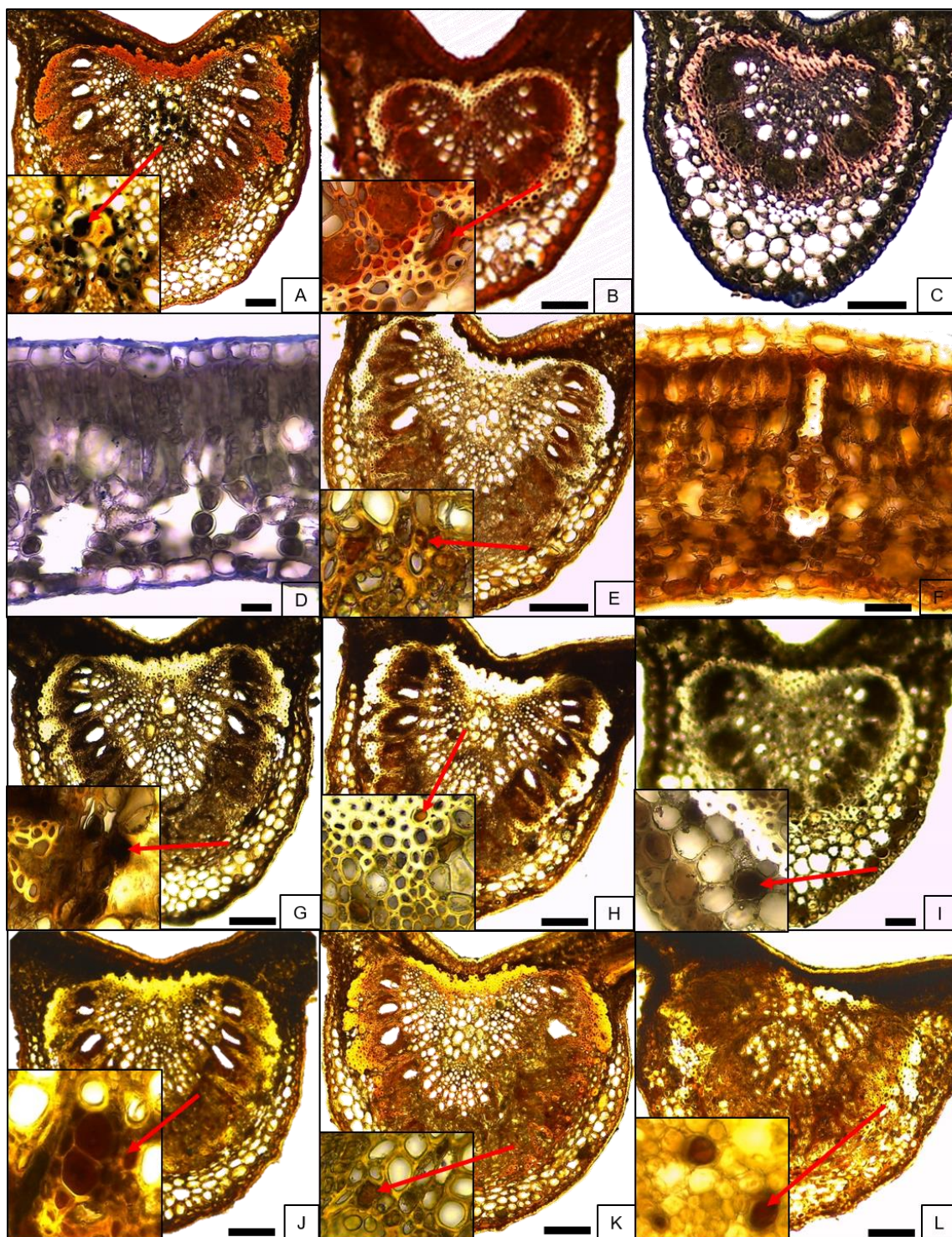


Figura 9: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopiya frutescens*. Evidências de amido (A), lipídios totais (B), óleos essenciais (C e D), taninos (E e F), compostos fenólicos (G), alcaloides (H), mucilagens (I), esteroides (J), terpenóides (K) e lactonas sesquiterpênicas (L). Barras = 100 µm.

Os testes histoquímicos que reagiram positivamente em *Xylopiya neglecta*, confirmaram a presença de amido no tecido do xilema (Fig. 10A e 10 B); lipídios

totais no parênquima fundamental da face abaxial da nervura central (Fig. 10C), tal qual no parênquima paliçádico do mesofilo (Fig. 10D).

Detectamos óleos essenciais na epiderme e nas fibras esclerenquimáticas na face abaxial da nervura central (Fig. 10E), bem como na epiderme do mesofilo em ambas as faces e no parênquima lacunoso (Fig. 10F); taninos no canal secretor no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 10G); compostos fenólicos no parênquima fundamental da face adaxial na nervura central (Fig. 10H); alcaloides nas fibras esclerenquimáticas da face abaxial da nervura central (Fig. 10I); esteroides no parênquima de preenchimento da nervura central (Fig. 10J); terpenoides no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 10K); e lactonas sesquiterpênicas no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 10L).

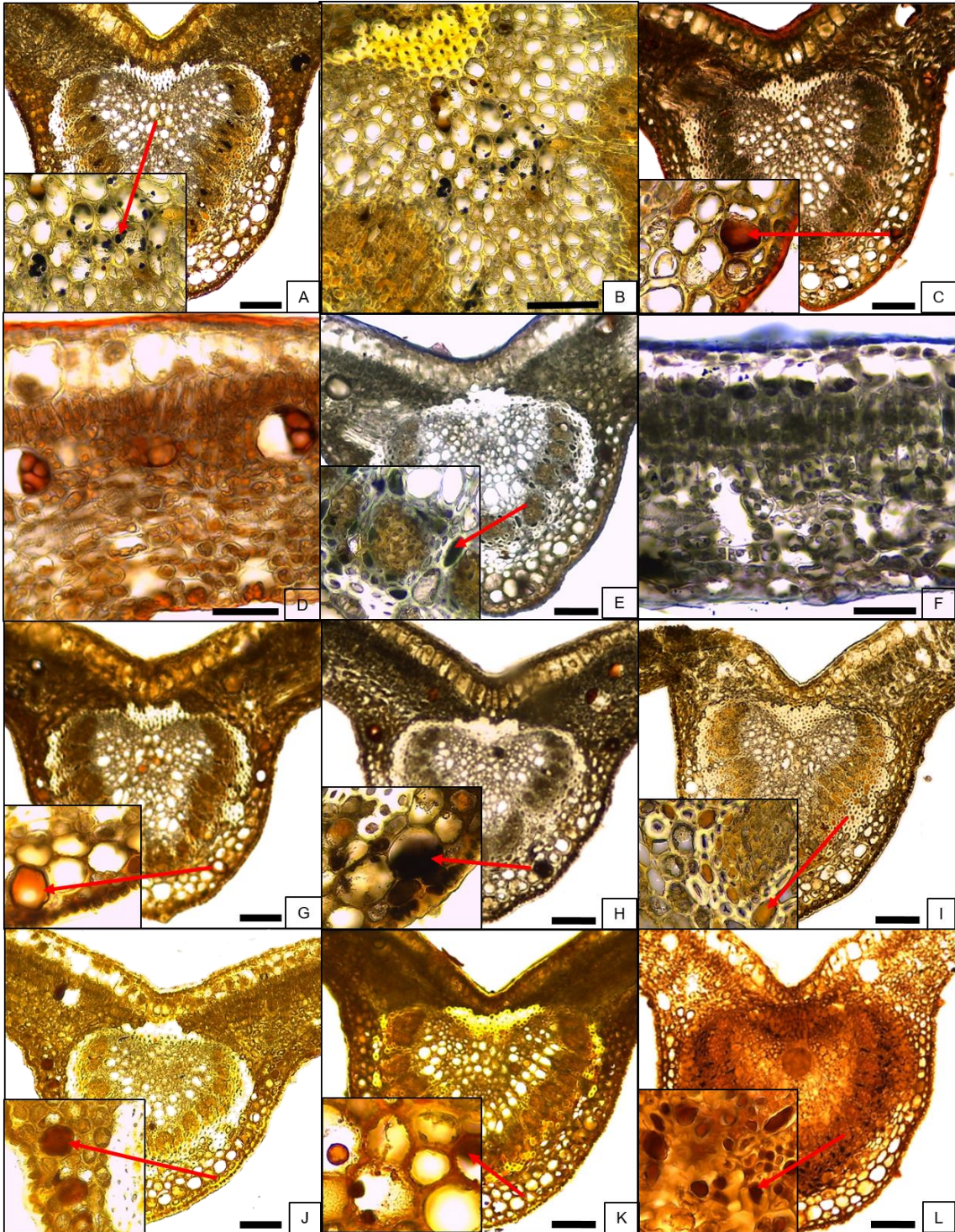


Figura 10: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopia neglecta*. Evidências de amido (A e B), lipídios totais (C e D), óleos essenciais (E e F), taninos (G), compostos fenólicos (H), alcaloides (I), esteróides (J), terpenóides (K) e lactonas sesquiterpênicas (L). Barras: A, C, E, G, H, I, J, K e L= 100  $\mu$ m. D e F= 50  $\mu$ m.



Após submetermos a *Xylopiá sericea* a testes histoquímicos foi possível observarmos a presença de alguns compostos, como: amido no tecido do parênquima adaxial no feixe vascular (Fig. 11A); lipídios totais no parênquima e nas fibras esclerenquimáticas da face abaxial da nervura central (Fig. 11B); óleos essenciais em ambas as faces da epiderme e no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 11C); taninos no parênquima fundamental na face abaxial nervura central (Fig. 11D); compostos fenólicos na epiderme e no parênquima fundamental da face adaxial da nervura central (Fig. 11E); alcaloides no parênquima fundamental da face adaxial da nervura central (Fig. 11F); mucilagens no parênquima fundamental (FIG. 11G); esteroides no parênquima fundamental da face abaxial da nervura central (Fig. 11H); terpenoides no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Fig. 11I) e também no parênquima paliçádico e parênquima lacunoso do mesofilo (Fig. 11J); e lactonas sesquiterpênicas no parênquima fundamental na face abaxial da nervura central (Figs. 11K e 11L).

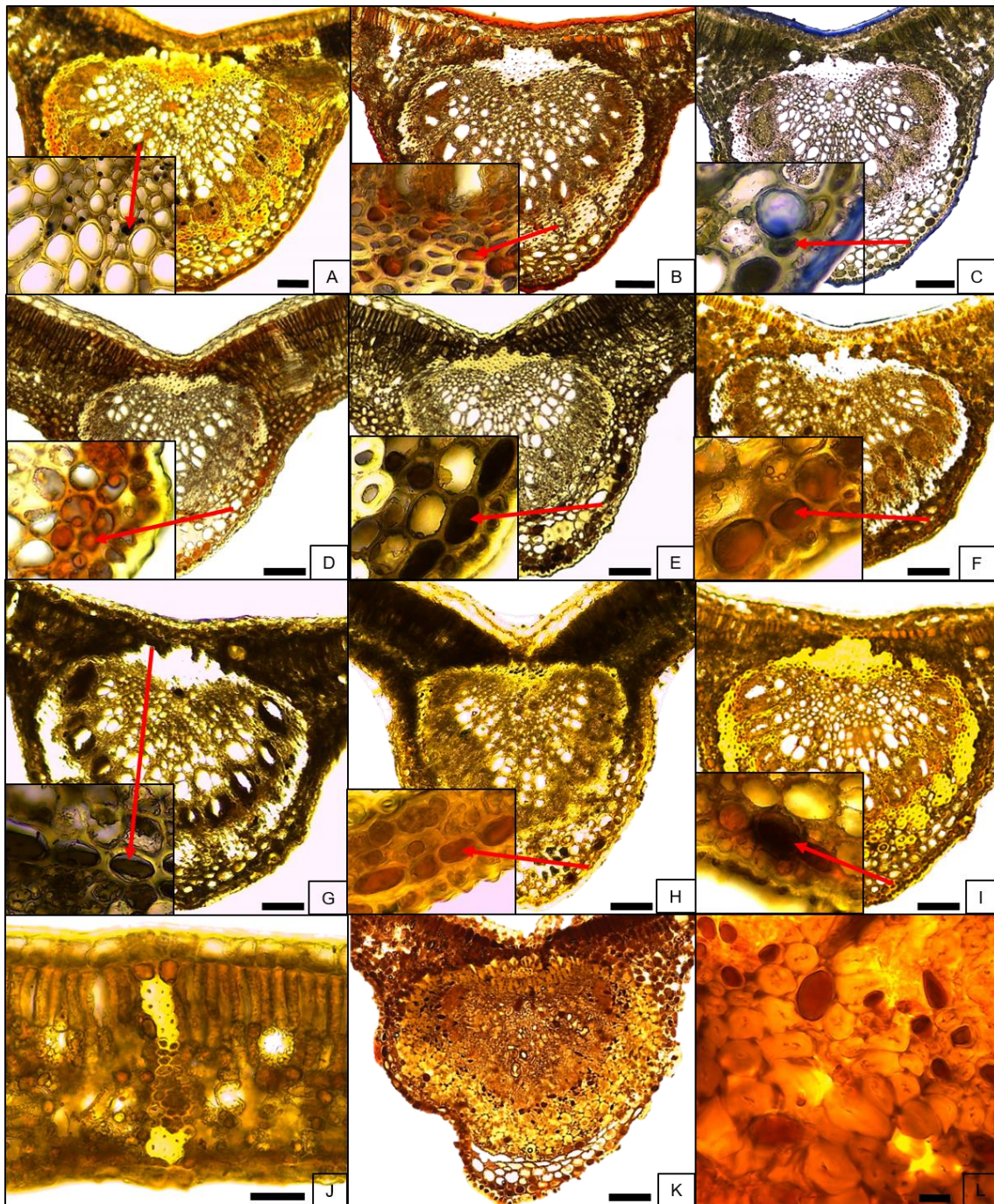


Figura 11: Resultado dos testes histoquímicos positivos em *Xylopia sericea*. Evidências de amido (A), lipídios totais (B), óleos essenciais (C), taninos (D), compostos fenólicos (E), alcaloides (F), mucilagens (G), esteroides (H), terpenóides (I e J) e lactonas sesquiterpênicas (K e L). Barras = 100 µm.

#### 4. DISCUSSÃO

De modo geral, observamos que as espécies apresentam muitos caracteres anatômicos e metabólitos secundários compartilhados. Dentre essas

semelhanças estão presentes caracteres anatômicos como: células epidérmicas de paredes retas, estômatos do tipo paracítico, cutícula delgada, câmara subestomática volumosa, bainha esclerenquimática. As semelhanças nos metabólitos secundários são ainda mais evidentes, sendo comumente encontrados compostos como: amido, lipídios totais, taninos, compostos fenólicos e alcaloides.

As espécies *X. aromatica*, *X. frutescens* e *X. sericea* possuem células com contorno de paredes retas, essa semelhança entre as espécies, torna possível agrupá-las, formando um terceiro grupo. Solereder & Scott (1908) citam que a sinuosidade das paredes anticlinais é um caráter taxonômico importante na separação das espécies de Annonaceae. Entretanto trabalhos mais recentes apontam que a sinuosidade da parede das células epidérmicas está diretamente ligada à exposição das plantas ao sol ou a sombra (PASSOS & MENDONÇA, 2006). A sinuosidade da parede anticlinal está especialmente relacionada com o ambiente em que a folha se desenvolve, as paredes das células epidérmicas apresentam-se mais espessas; retas nas folhas a pleno sol e sinuosas nas folhas de sub-bosque, mostrando que as condições de ambiente como radiação solar influenciam o crescimento e o desenvolvimento dos tecidos vegetais (SANTIAGO et al., 2001). Dessa forma, esse caractere deve ser utilizado com parcimônia para a taxonomia.

Comumente, as folhas das espécies analisadas foram caracterizadas como hipoestomáticas. Essas formam o padrão mais comum de distribuição de estômatos para plantas terrestres, o que representa uma proteção contra as condições microambientais, tais como a temperatura mais elevada na face adaxial (devido à incidência solar mais direcionada) e o grau de umidade (que na face abaxial é maior quando comparada com a face adaxial) (BOEGER & WISNIEWSKI, 2003). O estômato tipo paracítico, encontrado para todas as espécies é reportado por Metcalfe & Chalk (1979 e Almeida et al. (2009) como comum à família.

Entre as características encontradas nas células epidérmicas de *X. benthamii* e *X. neglecta*, acreditamos que a presença de sílica atua na limitação de perda de água e na defesa dos tecidos internos contra a invasão de hifas, como exposto por Sheue et al. (2020).

Nas espécies estudadas observamos cutícula com espessura acima de  $\frac{1}{4}$  em relação ao tamanho das células epidérmicas. A cutícula é uma estrutura hidrofóbica responsável pela redução da transpiração cuticular e pela lixiviação de nutrientes (ARIANO & SILVA, 2016). Também protege a folha do vento e da invasão de fungos; torna-se mais espessa à medida que a intensidade da luz ambiente aumenta, conforme observado por Bieras & Sajo (2009) em seus estudos anatômicos com espécies de cerrado.

Constatamos a presença de hipoderme em apenas uma das seis espécies estudadas, o que com certeza contribui para a identificação da espécie. Essa característica lhe confere certo grau adaptativo, uma vez que está relacionada com a reserva de água nos tecidos, contribuindo para restringir a transpiração, desempenhando vantagem relevante entre as demais espécies (BIERAS & SAJO, 2009; ARIANO & SILVA, 2016).

É nítida a presença de cristais de oxalato de cálcio, especialmente sob a forma de drusas, essa é uma característica comumente encontrada na epiderme foliar de diversas espécies de Annonaceae (METCALFE; CHALK, 1950). Estes cristais podem exercer diferentes funções, que em geral estão relacionadas à proteção contra herbivoria e regulação dos níveis de cálcio ou oxalato no metabolismo da planta (GAMA et al., 2015).

A evidência de tricomas em todas as espécies, exceto em *X. neglecta*, demonstra que essas estruturas são importantes para adaptação a ambientes xéricos uma vez que eles mantêm uma atmosfera saturada em vapor de água ao redor da folha (LARCHER, 2000; SIMIONI et al., 2018). Além disso, por formar uma barreira semelhante a um tecido felpudo, também podem influenciar, indiretamente, na conservação de água das plantas por meio da regulação da temperatura e reflexo da radiação solar que atinge as folhas (LARCHER, 2000).

Mesofilo com configuração dorsiventral foi descrito para todas as espécies analisadas, essa característica também foi evidenciada por Almeida et al. (2009) e Simioni et al. (2018) ao estudarem espécies de Annonaceae, levando a conclusão de que é uma característica comum a família. Como visto, o parênquima paliçádico em *X. benthamii* é formado por apenas uma camada, contrapondo o que Almeida et al. (2009) encontraram para a mesma espécie, até três camadas de células desse tecido. Acredita-se que o número de camadas de mesofilo pode variar e até diferir entre populações da mesma espécie que

ocorrem em locais com diferentes condições ambientais (SIMIONI et al., 2018). A estrutura e organização da lâmina foliar afeta os processos de regulação e a magnitude dos fluxos foliares de água e CO<sub>2</sub> (FERREIRA et al., 2015).

Para as demais espécies estudadas, o parênquima paliçádico é estruturado em até três camadas sendo que o desenvolvimento desse tecido é comum em plantas que vivem em condições hídricas satisfatórias, como as espécies lenhosas do cerrado (BIERAS & SAJO, 2009). Um parênquima paliçádico desenvolvido é importante no caso de folhas de sol, como as de plantas lenhosas do cerrado, pois distribui luz de maneira uniforme para todas as camadas deste órgão (VOGELMANN, 1993).

É notória a presença de feixes vasculares na lâmina foliar. O mesmo resultado foi encontrado por Almeida et. al (2009) ao estudar *X. benthamii* e *X. nitida* que constataram a presença de feixes vasculares colaterais e cavidades secretoras por todo o mesofilo. Para todas as espécies, os feixes apresentam um cordão de bainha esclerenquimática; essa mesma característica também foi encontrada em *X. nitida* por Almeida et al. (2009). Células esclerificadas no mesofilo e ao redor do sistema vascular são comuns nas folhas do cerrado, conforme observado para plantas xerófitas, tais células impedem o colapso do mesofilo quando a folha perde água (FAHN & CUTLER, 1992; BIERAS & SAJO, 2009). Essa estrutura tem sido relacionada ao transporte de água, resistência mecânica, como também a uma maior eficiência fotossintética na utilização da energia luminosa pelas plantas (FERREIRA et al., 2015).

Para a região da nervura central das espécies em questão, foi evidenciado por Almeida et al. (2009) em um estudo com *Xylopia*, adjacente à epiderme adaxial, células colenquimáticas variando de uma a três camadas, com espessamento anelar. O colênquima, na nervura central, comumente está relacionado ao tamanho da folha ou com ambientes com grande ocorrência de vento; tendo em vista que o esse tecido proporciona sustentação às estruturas assim como as fibras (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO GUERREIRO, 2006).

A nervura central das espécies estudadas apresenta o sistema vascular formado por feixes colaterais, os quais são envolvidos por uma bainha esclerenquimática descontínua. Essa mesma organização do sistema vascular também foi observada por Almeida et al. (2009) para *X. benthamii* e *X. nitida*.

Justo et al. (2005) encontraram tecido vascular envolvido por bainha esclerenquimática contínua em *X. brasiliensis*. Folhas com numerosas fibras e paredes mais espessas nos pólos do floema são comumente encontradas no Cerrado (BIERAS & SAJO, 2009) e são consideradas características xeromórficas (RUDALL, 1986).

O gênero *Xylopia* é comumente conhecido por produzir uma grande variedade de metabólitos secundários (SILVA et al., 2015), fato comprovado com a realização dos testes histoquímicos no presente estudo, pois dos diversos testes em que as espécies analisadas foram submetidas, todos testaram positivo em, pelo menos, três delas. Dessa maneira, é correto afirmarmos a presença unânime de amido, lipídios totais, taninos, compostos fenólicos e alcaloides. No geral, estes compostos estão associados com a proteção do indivíduo em relação ao meio ambiente, seja pelo armazenamento de energia à capacidade de reter água (CAVALCANTE et al., 2018).

Item comum nos vegetais, o amido atua principalmente como reserva energética na planta, e também é importante fonte de energia para os demais níveis da cadeia alimentar nos ecossistemas, por isso é classificado como um composto vital para os vegetais (AMARAL et al., 2007), assim como os lipídios totais. Lipídios são metabólitos secundários sintetizados por plantas sob condições de estresse ambiental, exercendo função de defesa contra ambientes inamistosos, aumentando a possibilidade de sobrevivência, além disso, são fundamentais na manutenção de processos químicos vitais de crescimento e reprodução (MUMTAZ et al., 2020), diferentemente dos óleos essenciais.

A produção de óleos essenciais está diretamente relacionada com as funções ecológicas da planta, tais como proteção contra predadores e atração de polinizadores (EVERT & EICHORN, 2006); além disso, os óleos essenciais podem ser utilizados no controle de fitopatógenos (DINIZ et al., 2008). Além disso, óleos essenciais conferem certo grau de proteção às plantas, assim como a presença de taninos também está relacionada ao sistema de defesa como também de interações simbióticas com formigas, por exemplo (FRANCINO, 2006). De acordo com Larcher (2000) vários compostos secundários são relevantes para a proteção contra herbívoros e parasitas nas folhas, inclusive taninos.

As plantas sintetizam grande variedade de compostos fenólicos vinculados com funções primárias (fotossíntese, crescimento e desenvolvimento) e secundárias (atração de polinizadores e defesa (DE OLIVEIRA ALCANTARA et al., 2018). Cavidades secretoras, bem como idioblastos contendo cristais e compostos fenólicos são frequentes nas espécies do cerrado; plantas que crescem em solos pobres, como os do cerrado, geralmente desviam as formas biossintéticas de produzir compostos de defesa, como os compostos fenólicos, devido ao alto custo para repor o material perdido pela ação dos herbívoros (BIERAS & SAJO, 2009).

Um estudo investigativo realizado com 30 gêneros de Annonaceae, revelou 30 espécies produtoras de alcaloides (RODRIGUES, 2016). Um grande número de componentes químicos tem sido isolado do gênero *Xylopi*a, dentre eles alcaloides com atividade antifúngica (SILVA et al., 2009).

A maioria dos compostos desempenham papel de proteção ou auxílio à fisiologia da planta, assim como as mucilagens. Mucilagens são substâncias que podem desempenhar diferentes funções nas plantas, entre elas, a proteção de estruturas ou órgãos em desenvolvimento, reserva de carboidratos, redução da transpiração, proteção contra radiação dispersando ou refletindo a luz incidente (FAHN, 1979; MARTINI et al., 2003). O parênquima que produz mucilagem como encontrado nas espécies analisadas, possui papel relevante no armazenamento de água (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO GUERREIRO, 2006).

Os terpenos abrangem uma ampla variedade de substâncias de origem vegetal, que apresentam grande importância ecológica como defensores de plantas em resposta a herbívora ou fatores de estresse (BARBOSA & VEGA, 2017). Além disso, afirma-se, que as flores podem emitir terpenoides para atrair insetos polinizadores e até mesmo atrair ácaros benéficos, que se alimentam de insetos herbívoros (ZWENGER & BASU, 2008).

Os diversos compostos descritos para as espécies aqui analisadas são relatados também para outros gêneros da família, como é o caso da evidência de lactonas sesquiterpênicas em *Annona muricata* e *Annona squamosa* relatado por Figueiredo (2019).

## 5. CONCLUSÃO

Ao analisarmos todas as características anatômicas presentes nas espécies, foi possível observarmos muitas semelhanças entre elas, pois todas possuem estômatos do tipo paracítico, células epidérmicas abaxiais de paredes retas, tricomas presentes apenas na face abaxial, câmara subestomática volumosa, feixe do tipo colateral, bainha esclerenquimática.

Também observamos tal semelhança nos resultados da histoquímica, uma vez que dos dez testes realizados, não reagiram positivamente três em *X. amazonica*, dois em *X. benthamii* e um em *X. aromatica* e *X. neglecta*. Apesar dessa semelhança notória, ainda foi possível separá-las devido às características não compartilhadas, como é o caso de *X. benthamii* e *X. neglecta*. Os resultados obtidos favorecem o entendimento da adaptabilidade das espécies, uma vez que os compostos produzidos estão intimamente relacionados a fatores ambientais, além disso, os dados são capazes de auxiliar em estudos taxonômicos na circunstância em que sugerem maior parentesco entre as espécies *X. frutescens* e *X. sericea* e *X. amazonica* e *X. aromatica*.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E. F., POTIGUARA, R. C. D. V. & LINS, A. L. F. D. A. Anatomia foliar de espécies de *Xylopia* L. (Annonaceae) ocorrentes no Parque Ecológico de Gunma, Santa Bárbara, estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Naturais**, v. 4, n. 2, p. 175-194. 2009.
- AMARAL, L. I. V. D., GASPAR, M., COSTA, P. M. F., AIDAR, M. P. M. & BUCKERIDGE, M. S. A new rapid and sensitive enzymatic method for extraction and quantification of starch in plant material. **Hoehnea**, v. 34, n. 4, p. 425-431, 2007.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. & CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. Ed. Viçosa: ed. UFV, 438p. 2006.
- ARIANO, A. P. R. & SILVA, I. V. D. Anatomia foliar de *Qualea parviflora* (Vochysiaceae) em três fitofisionomias do Estado Mato Grosso, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 2, p. 119-126, 2016. doi: 10.1590/1809-4392201504173.
- BARBOSA, L. T. C. & VEGA, M. R. G. Diterpenos do Gênero *Xylopia*. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 4, 2017.
- BARRADAS A. C. Ciclagem de Nutrientes e Estoques de Carbono em Floresta Ombrófila na Amazônia Meridional. 2020. 119 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta –MT, 2020.
- BAZANTE, M. L., MELO, A., & ALVES, M. Flora of the Usina São José, Igarassu, Pernambuco: Annonaceae. **Rodriguésia**, v. 71, p. 2-13, 2020. doi: 10.1590/2175-7860202071074.-
- BIERAS, A. C. & SAJO, DAS G. M. Leaf structure of the cerrado (Brazilian savanna) woody plants. **Trees**, v. 23, n. 3, p. 451-471, 2009.
- BOEGER, M. R. T. & WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 26, n. 1, p. 61-72, 2003. doi: 10.1590/S0100-84042003000100007.
- CAVALCANTE, A. D., CARDOSO, G. A., DE OLIVEIRA, F. L., BEARZOTI, E., OKUMA, A. A., DUARTE, L. P. & VIEIRA-FILHO, S. A. Influence of environmental factors and cultural methods on the content of N, N-dimethyltryptamine in *Psychotria viridis* (Rubiaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 6, p. 1245-1255, 2018. doi: 10.21577/0103-5053.20170221.
- CHATROU, L. W., PIRIE, M. D., ERKENS, R. H., COUVREUR, T. L., NEUBIG, K. M., ABBOTT, J. R., ... & CHASE, M. W. A new subfamilial and tribal classification of the pantropical flowering plant family Annonaceae informed by molecular phylogenetics. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 169, n. 1, p. 5-40, 2012.

DARDENGO, J. D. F. E., ROSSI, A. A. B., SILVA, I. V. D., PESSOA, M. J. G. & SILVA, C. J. D. Analysis of the luminosity on the anatomical aspects of *Theobroma speciosum* WILLD. EX SPRENG. (MALVACEAE) leaves. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 843-851, 2017. doi: 10.5902/1980509828634.

DAVID, R. & CARDÉ, R. J. P. Coloration différentielle des inclusions lipidiques et terpéniques des pseudophylles du Pin maritime au moyen du réactif nadi. Paris: Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. **Serie Iii-Sciences de la vie-life Sciences**, v. 258, p. 1338-1340. 1964.

DE OLIVEIRA ALCANTARA, F. D., DA SILVA, T. I., MACIEL, T. C. M., MARCO, C. A., & DA SILVA, F. B. Teor e fitoquímica de óleo essencial de manjeriço em diferentes horários de colheita. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1-6, 2018.

DINIZ, S. P. S. S., COELHO, J. S., ROSA, G. S., SPECIAN, V., OLIVEIRA, R. C. & OLIVEIRA, R. R. Bioatividade do óleo essencial de *Mentha arvensis* L. no controle de fungos fitopatogénos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 10, n. 4, p. 9-11, 2008.

EVERT, R. F. & EICHORN, S. E. **Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, And Tissue of The Plant Body: Their Structure, Function, And Development**, John Wiley & Sons, 3ª edição, 624 p. 2006.

FAHN, A. **Secretory tissues in plants**. London, Academic Press, 1979.

Fahn A. & Cutler DF. **Xerophytes**. G. Borntraeger. 1992.

FERREIRA DE LIMA, R. A., GASTALDELLO RANDO, J. & DUARTE BARRETO, K, Composição e diversidade no Cerrado do leste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, 2015.

FIDALGO, O. & BONONI, V. L. R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. Manual 4. Instituto de Botânica, São Paulo, 1984. 62p.

FIGUEIREDO, F. F. Constituintes químicos e avaliação da atividade biológica de *Xylopia frutescens* Aubl. (Anonaceae). 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em Produtos Naturais e Sintéticos Bioativos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa –PB, 2019.

FRANCINO, D. M. T. Anatomia foliar de espécies de *Chamaecrista* Moench. (Leguminosae/Caesalpinioideae) ocorrentes em campo rupestre. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

GAMA, T. D. S. S., GARCIA, T. B., DE VILHENA POTIGUARA, R. C. & DE AGUIAR DIAS, A. C. A. **Anatomia foliar de *Guatteria scandens* Ducke (Annonaceae)**. 1ª ed., Publisher: MPEG. 2015.

GANTER, P. & JOLLÉS, G. **Histologie normale et pathologique**. Paris: Gauthier. 1970.

GEISSMAN, T. A. & GRIFFIN, T.S. Sesquiterpen lactones: Acid-catalized color reactions as an in structure determination. **Phytochemistry**, [S.I], 10, p. 2475-2485, 1971.

HARDMAN, R. & SOFOWORA, E. A. Antimony trichloride as test reagents for steroids, especially diosgenin and yamogenin, in plant tissues. **Stain Technology**, v. 47, p. 205-208, 1972.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. IBGE, n. 1, 2ª ed., 2012.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. MacGraw-Hill Book Company, New York. 1940.

JUSTO, C. F., SOARES, Â. M., GAVILANES, M. L. & CASTRO, E. M. D. Plasticidade anatômica das folhas de *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 112-123, 2005. doi: 10.1590/S0102-33062005000100011.

KAISER, E. Verfahren zur Herstellung einer tadellosen Glycerin-Gelatine. **Botanisch zentralb.** p. 25-26. 1880.

KRAUS, J. E. & ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Universidade Rural, 1997.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal** (Tradução: Carlos H. Pedro), Ed. Rima, São Paulo, 531p, 2000.

LOBÃO, A. Q., DE CARVALHO LOPES, J., & DE MELLO-SILVA, R. Check-list das Annonaceae do estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v. 73, p. 123-126, 2018.

MACE, M. E. & HOWELL, C. R. Histochemistry and identification of condensed tannin precursor in root of cotton seedlings. **Canadian Journal of Botany**, v. 52, p. 2423-2426. 1974.

MARIMON JUNIOR, B. H., & HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Bot. Bras.** v.19, n.4, p. 913-926, 2005. doi: 10.1590/S0102-33062005000400026.

MARTINI, M. H. & LENCI, C. G.; TAVARES, D. Q. Mucilage pockets in cotiledon tissue of *Theobroma speciosum*. **Acta Microscopica**, v. 1, n. 1, p. 65-9, 2003.

METCALFE, C. R. & CHALK, L. **Anatomy of Dicotyledons**. Oxford University Press: Oxford, 790 p. 1979.

MUMTAZ, F., ZUBAIR, M., KHAN, F., & NIAZ, K. Analysis of plants lipids. In: Recent Advances in Natural Products Analysis. **Elsevier**, p. 677-705, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-816455-6.00022-6.

PASSOS, M. A. B. & MENDONÇA, M. S. D. Epiderme dos segmentos foliares de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em três fases de desenvolvimento. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 431-436, 2006. doi: 10.1590/S0044-59672006000400005.

PEARCE, J. A. & GALE, G. H. Geochemical evidence for the genesis and eruptive **Ecological Survey Department**, p. 261-272. 1980.

PIZZOLATO, T.D. & LILLIE, R.D. Mayer's tannic acid-ferric chloride stain for mucins. **The Journal of Histochemistry and Cytochemistry**, v. 21, p. 56-64. 1973.

PONTES PIRES, A.F.; JOHNSON, D. **Xylopia** in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB110555>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

R Core TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing Ratter, J.A., Bridgewater, S., Atkinson, R., Ribeiro, J.F., 1996. Analysis of the floristic composition of the brazilian cerrado vegetation II: Comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh J. Bot.* 53, 153–180. 2019

RIBEIRO-JÚNIOR, N. G. 2020. Anatomia de espécies arbóreas do Sul da Amazônia como predição e impactos das mudanças ambientais. 150 f. Tese/Doutorado – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Doutorado) Ecologia e Conservação – Nova Xavantina.

RODRIGUES, C. M. S. C. **Estudo fitoquímico e avaliação da atividade biológica de *Annona leptopetala* (R.E.F.Fr.) H. Rainer.** 2016. 209 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina- PE, 2016.

ROESER, K. R. Die Nadel der Schwarzkiefer Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. **Mikrokosmos**, v. 61, p. 33-36, 1962.

RUDALL, P. Taxonomic significance of leaf anatomy in Australasian Iridaceae. **Nordic Journal of Botany**, v. 6, n. 3, p. 277-289, 1986.

SANTIAGO, E. J. A., PINTO, J. E. B. P., CASTRO, E. M., LAMEIRA, O. A., da CONCEIÇÃO, H. E. O. & GAVILANES, M. L. Aspectos da anatomia foliar da pimenta-longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) sob diferentes condições de luminosidade. **Ciênc. agrotec.**, v.25, n.5, p.1035-1042. 2001.

SHEUE, C. R., LIU, J. W., LIU, H. Y., KUO-HUANG, L. L., CHESSON, P., CHEN, J., ... & KIEW, R. Silica bodies of *Selaginella erythropus*: Detection, morphology and development. **Flora**, v. 264, p. 151558, 2020. doi: 10.1016/j.flora.2020.151558.

SILVA, L. E., REIS, R. A., MOURA, E. A., AMARAL, W. & SOUSA J.R. P. T. Plantas do gênero *Xylopia*: composição química e potencial farmacológico. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 814-826, 2015. doi: 10.1590/1983-084X/14\_076.

SILVA, M. S. D., TAVARES, J. F., QUEIROGA, K. F., AGRA, M. D. F., BARBOSA FILHO, J. M., ALMEIDA, J. R. G. D. S. & SILVA, S. A. S. D. Alcaloides e outros constituintes de *Xylopiá langsdorffiana* (Annonaceae). **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1566-1570, 2009. doi: 10.1590/S0100-40422009000600040.

SIMIONI, P. F., PESSOA, M. J. G., CARDOSO, M. A., CABRAL, F. F., TEIXEIRA, S. O. & DA SILVA, I. V. Leaf Anatomy of *Xylopiá aromática* (Lam.) Mart. (Annonaceae) occurring in a rocky savannah in the Brazilian Amazonian. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 40, p. e 37334-e37334, 2018. doi: 10.4025/actascibiolsci.v40i1.37334.

SMITH, F. H. & SMITH, E. C. Anatomy of the inferior ovary of *Darbya*. **American Journal of Botany**, p. 464-471, 1942.

SOLEREDER, H. & SCOTT, D. H. Dukinfield Henry. **Systematic anatomy of the dicotyledons: a handbook for laboratories of pure and applied botany**. Clarendon Press, 1908.

STEVENS, P. F. (2001 onwards). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017 [and more or less continuously updated since]." will do. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb>. Acesso em fev. 2021.

SVENDSEN, B. A. & VERPOORTE, R. Cromatografia de alcaloides, parte A: cromatografia em camada fina. Amsterdã, Oxford, Tóquio: Elsevier. 1983.

VOGELMANN, T. C. Plant tissue optics. **Annual Review of Plant Biology**, v. 44, n. 1, p. 231-251, 1993.

ZINI, A. S.; MARTINS, S.; TODERKE, M. L. & TEMPONI, L. G. Anatomia foliar de Rubiaceae ocorrentes em fragmento florestal urbano de Mata Atlântica, PR, Brasil. **Hoehnea**, v. 43, p. 173-182, 2016. doi:10.1590/2236-8906-59/2015.

ZWENGER, S. & BASU, C. Plant terpenoids: applications and future potentials. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, v. 3, n. 1, p. 1, 2008.

**3.2 Estratégias anatômicas foliares de *Xylopia amazonica* R.E. Fries (Annonaceae) ocorrente em comunidades de floresta estacional perenifolia no sul da Amazônia.**

## RESUMO

A interação entre os componentes bióticos e abióticos existentes no Brasil resulta em diferentes ambientes e, conseqüentemente, inúmeros tipos de vegetação. No estado do Mato Grosso, predominantemente encontra-se áreas de floresta, dentre as quais, a Floresta Estacional Perenifólia, possui uma vegetação constituída por espécies essencialmente amazônicas, das quais, podemos citar as que formam a família Annonaceae, que é representada por 15 gêneros no Estado de Mato Grosso, entre eles podemos citar *Xylopia* L. que contempla 34 espécies. A espécie *Xylopia amazonica* é de origem Amazônica, sendo encontrada na região Amazônica da Venezuela, Suriname e Brasil. Para entender os mecanismos de adaptação morfológica e anatômica das espécies vegetais, a anatomia ecológica tem sido uma ótima ferramenta, buscando evidenciar os padrões de diversidade encontrados num determinado ecossistema e seu potencial adaptativo relacionando-os a fatores ambientais. Nesse sentido, ressaltamos a importância de investigar pela primeira vez possíveis estratégias adaptativas da espécie *Xylopia amazonica* R.E. Fries em diferentes comunidades arbóreas. Para isso, realizamos coletas em cinco sítios de Floresta Estacional que integram estudos de Pesquisa Ecológica de Longa Duração Cerrado-Amazônia. Utilizamos três indivíduos/espécie/comunidade onde coletamos folhas plenamente expandidas que não apresentavam danos causados por herbívoros ou patógenos, sendo acondicionadas para conservação e transporte seguindo métodos usuais de herborização. Após o material vegetal estar apto para análise, seguimos com técnicas usuais em anatomia vegetal além de realizarmos análises estatísticas para identificar a correlação entre dos atributos anatômicos e variáveis climáticas. A análise anatômica de *Xylopia amazonica* mostrou que, seus atributos anatômicos foliares não sofreram variações nos diferentes sítios de coleta. De modo geral, a espécie possui epiderme uniestratificada, mesofilo dorsiventral e feixe vascular colateral. Quando relacionamos os atributos anatômicos com as variáveis ambientais, é possível observar que dos nove atributos analisados estatisticamente, quatro responderam de forma positiva, ou seja, possuem relação com a variável preditora, sendo eles, tamanho estomático, espessura do feixe da nervura central, espessura do parênquima paliçádico e espessura da

asa foliar. Dessa maneira, a precipitação média anual e o índice de sazonalidade também influenciaram na variação desses tecidos, exceto a espessura da asa foliar. Apesar de alguns atributos não possuírem variação entre os sítios e não estarem relacionados com as variáveis ambientais, apresentaram maior valor de variabilidade intraespecífica, como é o caso de espessura da epiderme adaxial e abaxial, densidade estomática e espessura do parênquima lacunoso. Esse estudo mostra que *X. amazonica* apresenta diferença nos atributos anatômicos entre os diferentes sítios e que essas diferenças estão intimamente ligadas a fatores ambientais, mais especialmente a precipitação média anual.

**Palavras-chave:** Adaptação ambiental, atributos anatômicos, anatomia ecológica, variáveis ambientais.

## **ABSTRACT**

The interaction between biotic and abiotic components in Brazil results in different environments and, consequently, innumerable types of vegetation. In the state of Mato Grosso, there are predominantly forest areas, among which, the Perenifolia Seasonal Forest, has a vegetation consisting of essentially Amazonian species, of which, we can mention those that form the Annonaceae family, which is represented by 15 genera in the State of Mato Grosso, among them we can mention *Xylopia* L., which includes 34 species. The species *Xylopia amazonica* is of Amazonian origin, being found in the Amazon region of Venezuela, Suriname and Brazil. To understand the mechanisms of morphological and anatomical adaptation of plant species, ecological anatomy has been a great tool, seeking to highlight the patterns of diversity found in a given ecosystem and its adaptive potential by relating them to environmental factors. In this sense, we emphasize the importance of investigating for the first time possible adaptive strategies of the species *Xylopia amazonica* R.E. Fries in different tree communities. For this, we carried out collections in five sites of Seasonal Forest that integrate studies of Ecological Research of Long Duration Cerrado-Amazonia. We used three individuals / species / community where we collected fully expanded leaves that did not present damage caused by herbivores or pathogens, being packaged for conservation and transportation following the



usual methods of herborization. After the plant material is ready for analysis, we continue with usual techniques in plant anatomy in addition to conducting statistical analyzes to identify the correlation between anatomical attributes and climatic variables. The anatomical analysis of *Xylopia amazonica* showed that, its leaf anatomical attributes did not suffer variations in the different collection sites. In general, the species has uni-stratified epidermis, dorsiventral mesophyll and collateral vascular bundle. When we relate the anatomical attributes with the environmental variables, it is possible to observe that of the nine attributes analyzed statistically, four responded in a positive way, that is, they are related to the predictor variable, namely, stomatic size, central rib bundle thickness, thickness palisade parenchyma and leaf wing thickness. Thus, the average annual precipitation and the seasonality index also influenced the variation of these tissues, except the thickness of the leaf wing. Although some attributes do not vary between sites and are not related to environmental variables, they showed a higher value of intraspecific variability, as is the case of thickness of the adaxial and abaxial epidermis, stomatal density and thickness of the lacunous parenchyma. This study shows that *X. amazonica* presents a difference in the anatomical attributes between the different sites and that these differences are closely linked to environmental factors, more especially the average annual precipitation.

**Keywords:** Anatomical adaptation, anatomical attributes, ecological anatomy, environmental variables.

## 1. INTRODUÇÃO

A grande biodiversidade existente no Brasil se dá graças a interação entre os componentes bióticos (vegetação e animais) e abióticos (clima, rocha, relevo e solo) resultando, em diferentes ambientes e, conseqüentemente, inúmeras fisionomias vegetacionais ou tipos de vegetação (IBGE, 2019).

O conjunto florestal brasileiro é constituído por seis biomas (Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pantanal e o Pampa) com suas respectivas especificidades e ocupa 61% do território nacional (VILELA et al., 2019). Em comum, esses biomas oferecem benefícios à riqueza da União, tais como produtos florestais madeireiros e não madeireiros, conservação dos solos, dos recursos hídricos e da biodiversidade, estabilidade climática, além da preservação de valores culturais locais ou regionais (SBF, 2010).

No estado do Mato Grosso, predominantemente encontra-se áreas de floresta, (IBGE, 2019) no entanto, na região sul do estado, conforme vão se formando regiões de tensão ecológica, as florestas vão tomando características xeromórficas pelo fato de se aproximarem do clima estacional do Cerrado, por isso, são denominadas de florestas secas, estacionais ou semidecíduais (TEIXEIRA et al., 2019). A Floresta Estacional Perenifólia é caracterizada pela dominância de espécies perenes ou sempre verdes. A vegetação dessa floresta é constituída por espécies essencialmente amazônicas que revelam maior porte arbóreo e ausência ou baixa decidualidade durante o período de estiagem (IVANAUSKAS et al., 2008). Esse tipo florestal é bastante descontínuo e sempre situado entre dois climas, um úmido e outro semiárido (IBGE, 2019).

A presença de uma determinada espécie em um local pode ser favorecida por adaptações às condições ambientais e recursos disponíveis, para os quais a espécie tem uma gama de tolerâncias e exigências. Se assim for, as áreas que compartilham condições ambientais similares devem compartilhar mais espécies do que áreas com ambientes diferentes (MORANDI et al., 2016).

A formação da vegetação e organização da maneira como as espécies ocorrem é intimamente ligada a disponibilidade de água (FORTUNEL et al., 2020), assim, a capacidade adaptativa de aspectos morfológicos, anatômicos e fisiológicos que surgem com certo grau de regularidade permite que as plantas apresentem uma grande vantagem ecológica (CUTLER et al., 2011).

Dentre as espécies ocorrentes em Floresta Estacional Perenifólia, encontram-se as da família Annonaceae, que é representada por 15 gêneros dentro do Estado de Mato Grosso, dos quais podemos citar *Xylopia* L. que contempla 34 espécies no Estado (PONTES PIRES & JOHNSON, 2021).

A espécie *Xylopia amazonica* R.E. Fries é de origem Amazônica e é representada por árvores de pequeno e médio porte, sendo encontrada na região Amazônica da Venezuela, Suriname e Brasil, popularmente é conhecida por envirataia-sarassará, envirataia vermelha, envira-sarassará ou envira/envireira vermelha (SANTOS, 2017).

No estado de Mato Grosso (Brasil) a espécie *Xylopia amazonica* é bem ocorrente em áreas de floresta estacional perenifólia que apresenta características diferenciadas. Procuramos assim, neste trabalho estudar a anatomia ecológica da espécie pois colabora no entendimento de mecanismos de adaptação morfológica e anatômica das espécies vegetais, buscando mostrar os padrões de diversidade encontrados num determinado ecossistema e seu potencial adaptativo relacionando-os a fatores ambientais (CUTTER, 1978; FERREIRA DE LIMA et al., 2015).

Ainda são escassos estudos anatômicos sobre determinadas espécies do gênero, por isso, ressaltamos a importância de investigar pela primeira vez possíveis características adaptativas da espécie *Xylopia amazonica* em diferentes comunidades arbóreas, buscando respostas para as seguintes perguntas:

- Existem diferenças anatômicas foliares entre indivíduos de *X. amazonica* em diferentes comunidades arbóreas de floresta estacional?
- Havendo diferenças, elas podem ser consideradas estratégias adaptativas relacionadas a fatores abióticos? Quais?

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A partir de amostras de comunidades de vegetação natural localizadas na região sul da Amazônia realizamos o estudo com *Xylopia amazonica* provenientes de cinco sítios de Floresta Estacional, que integram estudos de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) Cerrado-Amazônia.

Todos os sítios estão localizados no estado de Mato Grosso e contemplam uma região com sazonalidade bem definida sendo uma estação chuvosa (novembro a abril) e outra de estiagem (maio a setembro) com precipitação média anual de 2.232 mm e temperatura média anual de 26-27°C (ALVARES et al., 2013). As siglas de cada área (código da parcela) são as mesmas adotadas na plataforma *Forest Plots.net*. Os dados de temperatura e precipitação foram extraídos da base de dados *World Clim*.

Situado no município de Gaúcha do Norte - Estado de Mato Grosso (MT), o sítio GAU-02, localizado na Fazenda Araunã, é caracterizado como Floresta Estacional Perenifólia. A área de coleta possui temperatura média anual de 24,1 °C e 1.701 mm de precipitação média anual.

O município de Ribeirão Cascalheira, MT, contempla o sítio FLO-01, localizado na Fazenda Floresta, possui médias anuais de temperatura e precipitação de 25,5 °C e 1.613 mm respectivamente, com fitofisionomia de Floresta Estacional Perenifólia.

O sítio denominado POA-01 está estabelecido no município de Porto Alegre do Norte, MT, na Fazenda Figueira Branca. Este sítio é formado por Floresta Estacional Semidecidual com temperatura média anual de 26,1 °C e precipitação média anual de 1.772 mm.

No município de Querência, MT, os sítios TAN-02 e TAN-04 estão localizados na Fazenda Tanguro e sua fitofisionomia é de Floresta Estacional Perenifólia. As áreas possuem média anual de temperatura e precipitação de 24,9 e 1.644, respectivamente.

## 2.2 Coleta e identificação das amostras

Para o estudo, coletamos folhas plenamente expandidas que não apresentavam danos causados por herbívoros ou patógenos. As coletas ocorreram na base da copa de três indivíduos/espécie/comunidade a uma altura de 10 a 12 metros. As folhas foram acondicionadas para conservação e transporte seguindo métodos usuais de herborização (FIDALGO & BONONI, 1984).

Parte do material foi processado no laboratório de Biologia Vegetal do campus da Universidade do Estado de Mato Grosso em Alta Floresta/MT. Outra parte (material testemunha) foi comparado com amostras registradas nos Herbário da UNEMAT, campus de Nova Xavantina- MT e Herbário da Amazônia Meridional, campus de Alta Floresta- MT, para confirmação da identificação.

## 2.3 Análise anatômica

Para as análises anatômicas fez-se necessário a reidratação das amostras foliares com glicerina e água quente em proporção de 1:10, conforme Smith & Smith (1942), onde as amostras foram embebidas em água a 90 °C e glicerina em béquer, deixando resfriar naturalmente e descansar por 12 horas, posteriormente estocado em álcool etílico a 70% (JOHANSEN, 1940).

Posteriormente a reidratação das amostras, seguimos com procedimentos usuais em estudos anatômicos. Realizamos secções transversais delgadas à mão livre na região mediana da folha com o auxílio de lâmina de aço. Clarificamos as secções em hipoclorito sódico a 2% e seguidamente realizamos tripla lavagem em água destilada. Após procedimento de clarificação, as secções foram coradas com azul de Astra e fucsina básica (ROESER, 1962). Ao fim desse processo, foi possível confeccionar lâminas histológicas permanentes (KAISER, 1880).

A análise da epiderme foliar foi realizada a partir da dissociação epidérmica pelo método de Jeffrey (KRAUS & ARDUIM, 1997) - com adaptações; armazenamos porções foliares nas dimensões de 1 cm<sup>2</sup> em microtubos com peróxido de hidrogênio (volume 30) e ácido acético glacial na proporção de 1:1, e mantivemos acondicionados em estufa a 65° C por, no mínimo, 24 horas. Após esse período, lavamos as amostras em água destilada e, posteriormente,

separamos as superfícies epidérmicas com auxílio de um pincel. Ambas as faces da epiderme foram coradas com fucsina básica (ROESER, 1962) e assim seguimos com a montagem das lâminas histológicas.

#### 2.4 Registro das imagens e análise dos resultados

Para ilustração dos caracteres anatômicos, utilizamos um capturador de imagens acoplado ao fotomicroscópio Leica ICC50 com o auxílio do programa Leica LAS E.Z. 1.7.0.

Nas fotomicrografias analisamos doze atributos anatômicos quantitativos de *X. amazonica* com o auxílio do programa Anati Quant 2<sup>®</sup> UFV (AGUIAR et al., 2007). As variáveis analisadas estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Lista dos atributos anatômicos analisados em *Xylopia amazonica* ocorrente no sul da Amazônia.

Acrônimo	Unidade	Definição
CUT	µm	Espessura cutícula
CASUB		Câmara subestomática
TRIC		Presença de tricomas
EPAD	µm	Espessura da epiderme adaxial
EPAB	µm	Espessura da epiderme abaxial
TEST	µm	Tamanho estomático (polar)
DEST	estômatos / mm <sup>2</sup>	Densidade estomática
FNC	µm	Espessura do Feixe vascular NC
PALI	µm	Espessura do Parênquima paliçádico
LACU	µm	Espessura do Parênquima lacunoso
ASAF	µm	Espessura da asa foliar
PP/PL	%	Proporção entre parênquimas da asa foliar

Obtivemos as medidas anatômicas em seis cortes para cada indivíduo amostrado.

## 2.5 Coleta dos dados climáticos

Utilizamos dados climáticos do intervalo de uma década (2006-2015) para as variáveis ambientais precipitação média anual (Pluvi, mm ano<sup>-1</sup>); Índice de Sazonalidade (IS); Déficit Hídrico Climatológico Máximo (MCWD) e evapotranspiração média do período seco (EVPS, mm mês<sup>-1</sup>) considerando como meses de estiagem: junho-setembro; meses chuvosos: novembro-março. Os dados são provenientes da base de dados Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) – 3B43 disponíveis em [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM\\_3B43\\_7/summary](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/summary) e MODIS Global Evapotranspiration Project – MOD16, disponíveis em <http://ntsg.umd.edu/>. Os cálculos de IS e MCWD foram realizados e disponibilizados por Ribeiro-Júnior (2020).

Posteriormente, calculamos o IS a partir das médias de cada período (seco e chuvoso) por ano, dividida a média do período chuvoso pela média do período seco, conforme a fórmula a seguir. De posse do IS anual, calculamos a média de sazonalidade de cada localidade para a década.

$$IS = \frac{\sum_{nov.:mar} \bar{m}}{\sum_{jun.:set} \bar{m}}$$

Para o MCWD seguimos o padrão da literatura ao considerar a demanda evaporativa mensal para florestas tropicais de 100 milímetros m<sup>-2</sup> (ARAGÃO et al., 2007), esse valor foi adotado para todos os meses em que as leituras de satélite forneceram valores inferiores. Calculamos então o déficit hídrico mensal (CWD) através da expressão:

$$CWD_{mensal} = Pluvi_{mensal} - EVP_{mensal}$$

Posteriormente, filtramos o valor mais negativo para o ano (MCWD), seguido do cálculo da média para a década para cada localidade. Sempre que a precipitação mensal sobre a localidade no mês é superior a 100 mm, seu déficit hídrico é definido como zero.

## 2.6 Análise estatística

Em uma planilha de dados no Microsoft Excel® incluímos nas colunas os atributos funcionais anatômicos e as variáveis ambientais (independentes); e nas

linhas cada unidade amostral (folha/indivíduo). Calculamos então a expressão da variabilidade intraespecífica (VI) conforme proposto por Ribeiro-Júnior (2020) por variável anatômica, assim como a diferença entre a mediana do valor máximo entre as cinco áreas e a mediana do valor mínimo entre as cinco áreas dividido pela mediana do valor máximo entre as cinco áreas. O VI é uma adaptação do Índice de Plasticidade Fenotípica de Valladares et al. (2000) e seu valor varia de 0 a 1 (valores  $\geq 0,5$  são considerados plásticos). Para VI adotamos como limiar de  $VI \geq 0,35$  como moderado e  $VI \geq 0,50$  como alto.

Utilizando o ambiente R (The R Development Core Team, 2019) convertemos os valores das características quantitativas para uma mesma variação de unidade (entre 0 e 1) para a sequência das análises. Devido ao conjunto de dados violar pressupostos de normalidade e homocedasticidade para os resíduos da MANOVA (Análise multivariada da variância), usamos um modelo linear generalizado (GLM) com família gaussiana agrupando os atributos anatômicos como variáveis de resposta e o local de origem das amostras como variável preditora. A partir do resultado do GLM, aplicamos testes univariados considerando cada atributo foliar com testes de Kruskal-Wallis seguidos de comparações de pares entre grupos com correções para testes múltiplos através da função *pairwise.wilcox.test* do pacote stats (The R Development Core Team, 2019).

Construímos ainda uma matriz de correlação de Pearson entre as variáveis usando a função *cor* do pacote stats e identificamos a significância estatística das correlações moderadas e fortes com a função *cor\_test* do pacote rstatix (KASSAMBARA, 2020). O objetivo desta análise foi identificar possíveis correlações entre as variações dos atributos anatômicos e variáveis climáticas de disponibilidade hídrica e evapotranspiração. As análises estão disponíveis em material suplementar.

### 3. RESULTADOS

Através das análises anatômicas de *Xylopia amazonica* mostramos que seus atributos anatômicos foliares sofrem variações dos caracteres anatômicos nos diferentes sítios de coleta. Observamos que em vista frontal, a espécie possui células de paredes levemente sinuosas e é hipoestomática, sendo os



estômatos do tipo paracíticos situados no mesmo nível das demais células epidérmicas (Figs. 1A e 1B).

Em secção transversal, a epiderme possui uma configuração uniestratificada, com cutícula e paredes delgadas (Fig. 1C) e presença de tricomas glandulares unisseriados (Fig. 1D - seta). As células da epiderme de ambas as faces possuem formatos que variam de ovalado a quadrangular, alongadas periclinamente em ambas as faces (Fig. 1C).

O mesofilo dorsiventral apresenta-se com três camadas de parênquima paliçádico irregular (Fig. 1D) e quatro camadas de parênquima lacunoso (Fig. 1C), dispostas aleatoriamente com a presença de vários idioblastos (Fig. 1E e 1F).

Os feixes vasculares, que estão presentes ao longo de todo o mesofilo, são do tipo colaterais e possuem um cordão de bainha esclerenquimática, cuja extensão atinge ambas as faces epidérmicas (Fig. 1D).

A região da nervura central apresenta células de parênquima de preenchimento de vários calibres, estando presentes em maior quantidade na face abaxial (cerca de seis camadas) (Fig. 1G), assim como a presença de idioblastos (Fig. 1H). O feixe vascular do tipo colateral em formato de arco-fechado é circundado por várias camadas de fibras esclerenquimáticas (Fig. 1G).

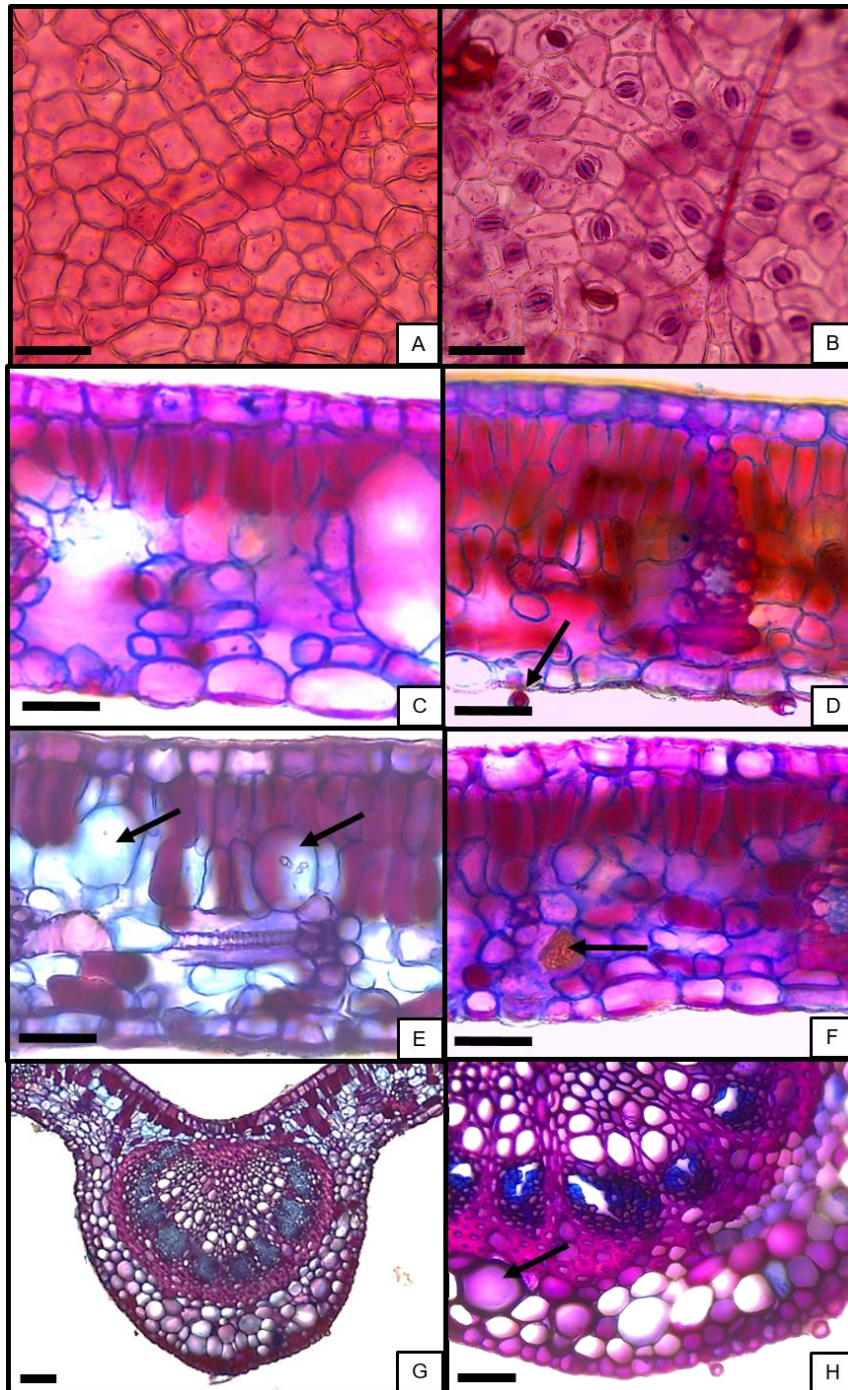


Figura 1: Secções anatômicas de *Xylopia amazonica*. Epiderme face adaxial (A); Epiderme face abaxial (B); Mesofilo (C, D E e F); Nervura central (G e H). Barras: A, B, C e D= 100  $\mu$ m; E, F, G e H= 50  $\mu$ m.

Quando relacionamos os atributos anatômicos com as variáveis ambientais, é possível observar que dos nove atributos analisados estatisticamente, quatro responderam de forma positiva, ou seja, possuem relação com a variável preditora (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comparação de médias e variabilidade intraespecífica de amostras foliares de *Xylopia amazonica* provenientes de cinco áreas de vegetação nativa no sul da Amazônia.

<b>LOCAL</b>	<b>TAN-04</b>	<b>TAN-02</b>	<b>GAU-02</b>	<b>FLO-01</b>	<b>POA-01</b>	<b>VI</b>
<b>EPAD (<math>\mu\text{m}</math>)<sup>ns</sup></b>	12,36	14,25	12,74	14,28	14,53	<b>0,32</b>
<b>EPAB (<math>\mu\text{m}</math>)<sup>ns</sup></b>	12,48	14,90	12,31	12,09	11,44	<b>0,35</b>
<b>TEST (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	17,03 ab	19,94 ab	19,89 ab	20,78 a	15,26 b	<b>0,26</b>
<b>DEST (<math>\text{mm}^2</math>)<sup>ns</sup></b>	266,61	276,21	253,52	247,41	229,09	<b>0,30</b>
<b>FNC (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	285,70 ab	250,25 ab	248,9 b	302,31 a	260,22 b	<b>0,16</b>
<b>PALI (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	53,13 ab	57,06 a	45,84 ab	63,14 a	33,9 b	<b>0,22</b>
<b>LACU (<math>\mu\text{m}</math>)<sup>ns</sup></b>	51,99	53,92	63,11	58,92	63,34	<b>0,38</b>
<b>ASAF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	125,45 b	142,88 a	139,62 a	122,15 b	124,77 b	<b>0,16</b>
<b>PP/PL (%)<sup>ns</sup></b>	50,82	51,56	42,68	51,75	35,19	<b>0,25</b>

Letras diferentes nas linhas representam diferença estatística entre os locais para o atributo pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p \leq 0,05$ ). Ns: Sem diferença estatística entre as amostras. EPAD: Espessura da epiderme adaxial; EPAB: Espessura da epiderme abaxial; TEST: Tamanho estomático; DEST: Densidade estomática; FNC: espessura feixe vascular NC; PALI: Espessura Parênquima paliçádico; LACU: Espessura Parênquima lacunoso; ASAF: Espessura da asa foliar e PP/PL: Proporção entre parênquimas da asa foliar.

Os atributos TEST, FNC, PALI e ASAF apresentaram médias diferentes das demais (FIG. 2), sendo que o tamanho estomático, diferiu apenas para as áreas FLO-01 e POA-01 (Fig. 2A e 2B). Já para tamanho do feixe da nervura central, os indivíduos de FLO-01 (Fig. 2C) apresentaram maior diferença das demais áreas, sendo que GAU-02 (Fig. 2D) e POA-01 não diferiram entre si

Assim como não obtiveram diferença entre si a espessura do parênquima paliçádico em TAN-02 (Fig. 2E) e FLO-01 (Fig. 2F) e espessura da asa foliar em TAN-02 e GAU-02 (Figs. 2 G 2H).

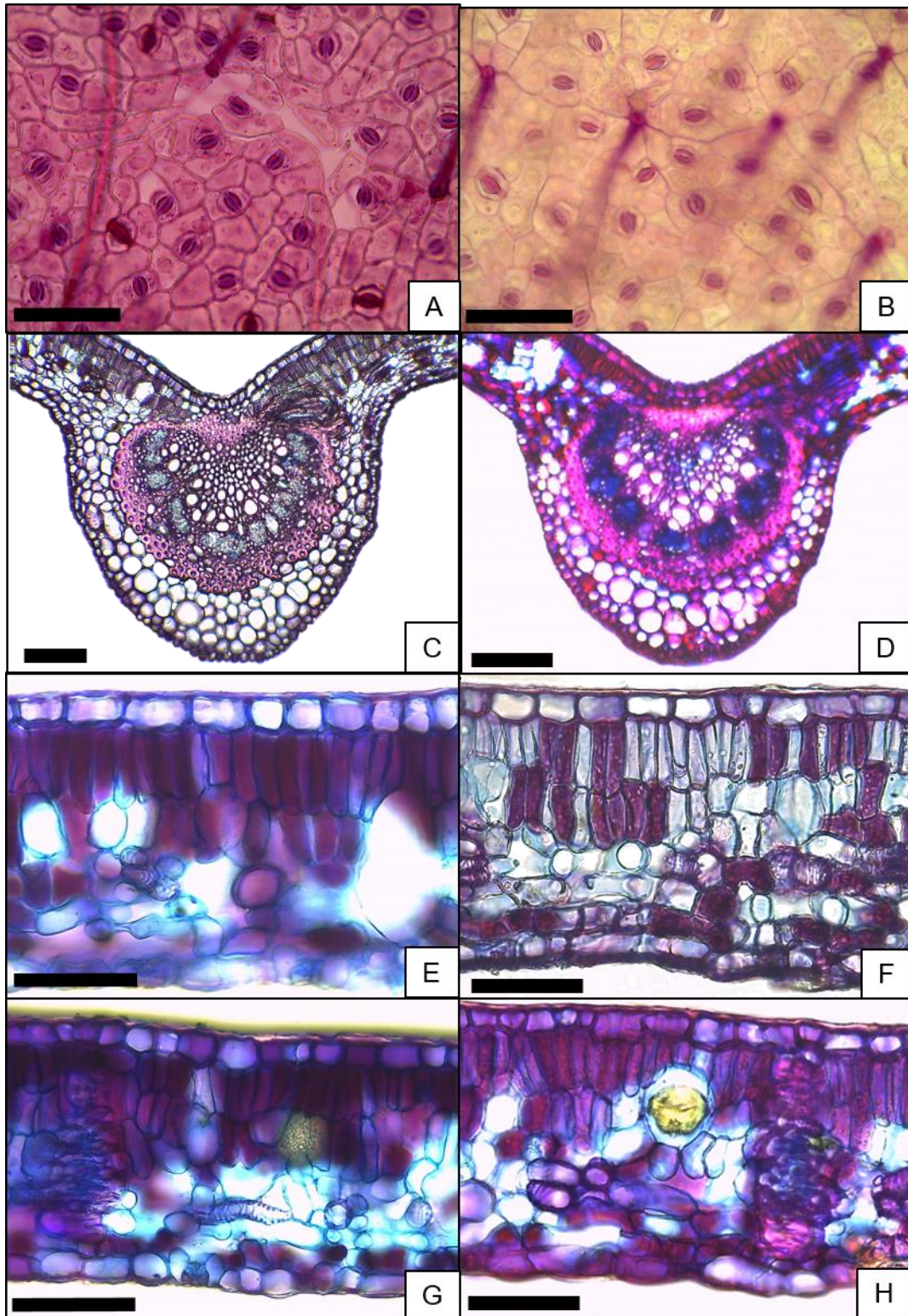


Figura 2: Atributos anatômicos de *Xylopia amazonica* provenientes de cinco áreas de vegetação nativa no sul da Amazônia com médias diferentes entre si

Apesar de alguns atributos não apresentarem diferenças entre as áreas, apresentaram maior índice da variabilidade intraespecífica, ou seja, estão

adaptadas ao meio, como é o caso de EPAD, EPAB, DEST e LACU que apresentam valores de VI acima de 0,30.

Através da matriz de correlação, conseguimos explicar alguns fenômenos adaptativos dos atributos funcionais (Tabela 3).

**Tabela 3.** Matriz de correlação de Pearson para os atributos anatômico-foliares de *Xylopia amazonica* e variáveis climáticas provenientes de cinco áreas de vegetação nativa no sul da Amazônia. Veja a Tabela 1 para legendas dos atributos funcionais.

<b>Atributos</b>	<b>Pluvi</b>	<b>IS</b>	<b>MCWD</b>	<b>EVPS</b>
<b>EPAD</b>	0,03	-0,18	-0,27	0,21
<b>EPAB</b>	-0,19	-0,19	0,02	0,01
<b>TEST</b>	<u>-0,65*</u>	0,15	0,44*	-0,36*
<b>DEST</b>	-0,19	0,02	0,10	-0,03
<b>FNC</b>	-0,25	<u>0,67*</u>	-0,13	0,28
<b>PALI</b>	<b>-0,71*</b>	0,47*	0,19	0,01
<b>LACU</b>	0,09	-0,13	0,08	-0,17
<b>ASAF</b>	-0,16	-0,49*	0,35	-0,40*
<b>PP/PL</b>	<u>-0,50*</u>	0,36*	0,11	0,06

Valores superiores a 0,7 ( $\pm$ ) indicam correlação forte; valores entre 0,4 e 0,7 ( $\pm$ ) indicam correlação moderada. \* Identifica correlações significativas no teste pareado ( $p \leq 0,05$ ). PLUVI: precipitação média anual; IS: Índice de sazonalidade; MCWD: Déficit hídrico climatológico máximo e EVPS: Evapotranspiração média do período seco.

Ao passo que aumenta a precipitação média anual, existe uma diminuição no tamanho estomático e proporção do tecido de parênquima paliçádico em relação ao parênquima lacunoso. Assim como, com maior índice de sazonalidade, há um aumento no tamanho do feixe vascular da nervura central.

#### 4. DISCUSSÃO

Apesar de alguns atributos funcionais não serem estatisticamente diferentes entre as áreas, notamos valores de plasticidade fenotípica

consideráveis (acima de 0,30), níveis relevantes de plasticidade fenotípica também foram encontrados em *Fagus sylvatica* L., *Picea excelsa* (Lam.) e *Populus nigra* L. ao longo de gradientes biogeográficos em estudos realizados em escala continental (BAUER et al., 1997; KANG et al., 2011; GUET et al., 2015).

A identidade das espécies fornece informações importantes para estudos ecológicos e evolutivos (CHELLI et al., 2019), existem claras evidências de que a espécie em estudo sofre modificações de seus atributos anatômicos. Características funcionais e estruturais, estão associadas aos fatores ambientais a que os indivíduos estão expostos (ESPOSITO-POLESI et al., 2011). Dessa maneira, a plasticidade fenotípica confere maior tolerância a ambientes instáveis e heterogêneos, onde as diferenças anatômicas entre as espécies têm influência na forma como elas respondem às mudanças nas condições ambientais, resultando no aumento da tolerância ambiental (GRATANI et al., 2020). Essa aptidão, associada a traços funcionais, é definida como qualquer característica morfologia ou anatômica hereditária, bioquímica, fisiológica ou fenológica mensurável a nível individual, afetando o crescimento, reprodução, uso de recursos e estabelecimento dos indivíduos (CHELLI et al., 2019).

Estudos recentes esclarecem diferenças nas características interespecíficas, auxiliando na compreensão de como os gradientes ambientais determinam as distribuições de espécies em sistemas tropicais (BARTLETT et al., 2016; URIARTE et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019).

Um grande desafio para incrementar as previsões de como espécies tropicais responderão as mudanças climáticas é o melhor entendimento de como múltiplos fatores revelam respostas anatômicas à disponibilidade de água e nutrientes (URIARTE et al., 2018; FORTUNEL et al., 2020).

Até o momento, não se sabe ao certo qual atributo, ou conjunto de atributos, conferem as plantas plasticidade fenotípica significativa (FALCÃO et al., 2015), no entanto, a metamorfose anatômica foliar constitui aspectos importantes na capacidade de estabelecimento das espécies expostas a diferentes condições de ambiente (ESPOSITO-POLESI et al., 2011). Analisando a irregularidade de precipitação ao longo do século passado, nota-se que houve um longo período de estiagem, que pode ter levado a mudanças na composição da floresta em nível de comunidade (AGUIRRE-GUTIÉRREZ et al., 2019).

A variação no tamanho e densidade dos estômatos pode surgir devido a fatores genéticos e/ou crescimento em diferentes condições ambientais (BERTOLINO et al., 2019). Neste estudo, um dos atributos anatômicos que levou a diferenciação entre os sítios foi a DEST (densidade estomática), sendo que tal atributo pode variar, inclusive dentro da mesma espécie, sob influência das condições ambientais, principalmente pela disponibilidade hídrica e temperatura, podendo ser maior em altas temperaturas e condições de déficit hídrico (LEMOS et al. 2018).

Identificamos variação no parênquima paliçádico e espessura da asa foliar para os indivíduos dos diferentes sítios. A modificação do paliçádico pode estar relacionada entre outros fatores, com a intensidade luminosa, onde o tecido torna-se mais espesso à medida que a exposição à luz é maior, acentuando o potencial fotossintético das folhas solares (LEMOS et al., 2018). A área foliar específica é um traço funcional chave que permite compreender os comportamentos ecofisiológicos das plantas, pois também influencia diretamente na capacidade fotossintética (FALCÃO et al., 2015). Assim como o feixe vascular, que desempenha importante função nos vegetais devido seu papel na troca de substâncias para realização da fotossíntese (GUDA et al., 2019).

A evidência de que um período prolongado de seca interfere no tamanho do feixe vascular da nervura central foi confirmada por Lemos et al. (2018) quando constataram que houve uma diferenciação do feixe vascular em relação à sazonalidade, apresentando maior espessura na estação seca, assim como evidenciado neste estudo nos diferentes sítios de coleta. Um dos atributos anatômicos mais importantes e que responde a condições de estresse é o sistema vascular, dessa maneira, há indícios de que a anatomia vascular é imprescindível na adaptabilidade, aumentando a resistência das plantas e sua capacidade de sobreviver (GUDA et al., 2019).

Além da sazonalidade afetar características anatômicas, essa variação ambiental tem afetado a fisiologia de algumas espécies e conseqüentemente influenciado os períodos de inflorescência sugerindo uma mudança em estratégias reprodutivas (CHELLI et al., 2019).

Notavelmente, é possível que florestas tropicais mais úmidas, ou seja, aquelas com menores déficits de água, podem ser mais sensíveis ou mais

resistente às mudanças climáticas do que a floresta tropical encontrada em ambientes mais secos (AGUIRRE-GUTIÉRREZ et al., 2019), fato que pode estar intimamente relacionado com a variação de tamanho estomático, espessura do parênquima paliçádico e proporção entre parênquima paliçádico e lacunoso encontrado nesse estudo, assim como a sazonalidade interferiu na espessura do feixe vascular da nervura central.

Inferimos que a maioria das variações entre os atributos anatômicos estão correlacionadas com a pluviosidade, sugerindo que a espécie responde rapidamente a pequenas mudanças no ambiente, assim como observado por Falcão et al. (2015) em *P. pyramidalis* mostrando grande plasticidade em resposta às mudanças nas condições ambientais em tempo e espaço, onde as diferenças mais marcantes, foram confirmadas que o principal filtro ambiental que limita o desempenho fotossintético e o crescimento dessa espécie é a disponibilidade de água.

## 5. CONCLUSÃO

Nosso conjunto de dados revela que os indivíduos de *X. amazonica* existentes em diferentes sítios não possuem diferenças entre si, no entanto, estatisticamente é possível notar variação na espessura de tecidos como parênquima paliçádico.

Analisando estatisticamente a anatomia foliar e relacionando a fatores abióticos, podemos inferir que a espécie responde rapidamente a pequenas mudanças no ambiente, tais como variações na precipitação média anual e sazonalidade, onde as diferenças mais marcantes são tamanho estomático, espessura de parênquima paliçádico e espessura do feixe da nervura central. Os atributos anatômicos com maior valor de variabilidade intraespecífica, sinalizam a existência de um filtro ambiental sobre a espécie em estudo.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, T. V., SANT'ANNA-SANTOS, B. F., AZEVEDO, A. A., & FERREIRA, R. S. ANATI QUANTI: software de análises quantitativas para estudos em anatomia vegetal. **Planta daninha**, v. 25, n. 4, p. 649-659, 2007. doi: 10.1590/S0100-83582007000400001.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J., OLIVERAS, I., RIFAI, S., FAUSET, S., ADU-BREDU, S., AFFUM-BAFFOE, K., ... & MALHI, Y. Drier tropical forests are susceptible to functional changes in response to a long-term drought. **Ecology Letters**, v. 22, n. 5, p. 855-865, 2019.
- ARAGÃO, L. E. O., MALHI, Y., ROMAN-CUESTA, R. M., SAATCHI, S., ANDERSON, L. O., & SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, 2007. doi: 10.1029/2006GL028946.
- BARTLETT, M. K., ZHANG, Y., YANG, J., KREIDLER, N., SUN, S. W., LIN, L., ... & SACK, L. Drought tolerance as a driver of tropical forest assembly: resolving spatial signatures for multiple processes. **Ecology**, v. 97, n. 2, p. 503-514, 2016.
- BERTOLINO, L. T., CAINE, R. S., & GRAY, J. E. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 225, 2019.
- BAUER, G., SCHULZE, E. D., & MUND, M. Nutrient contents and concentrations in relation to growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* along a European transect. **Tree Physiology**, v. 17, n. 12, p. 777-786, 1997.
- CHELLI, S., MARIGNANI, M., BARNI, E., PETRAGLIA, A., PUGLIELLI, G., WELLSTEIN, C., ... & CERABOLINI, B. E. Plant–environment interactions through a functional traits perspective: a review of Italian studies. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 153, n. 6, p. 853-869, 2019.
- CUTLER, D. F.; BOTHA, T. & STEVENSON, D. W. M. **Anatomia Vegetal: uma abordagem aplicada**. Artmed, 148-165 p. 2011.
- ESPOSITO-POLESI, N. P., RODRIGUES, R. R. & DE ALMEIDA, M. Anatomia ecológica da folha de *Eugenia glazioviana* Kiaersk (Myrtaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 255-263, 2011.
- FALCÃO, H. M., MEDEIROS, C. D., SILVA, B. L., SAMPAIO, E. V., ALMEIDA-CORTEZ, J. S. & SANTOS, M. G. Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical dry forest chronosequence: a study case with *Poincianella pyramidalis*. **Forest Ecology and Management**, v. 340, p. 62-69, 2015.

FERREIRA DE LIMA, R. A., GASTALDELLO RANDO, J. & DUARTE BARRETO, K, Composição e diversidade no Cerrado do leste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, 2015.

FIDALGO, O. & BONONI, V. L. R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. Manual 4. Instituto de Botânica, São Paulo, 1984. 62p.

FORTUNEL, C., STAHL, C., HEURET, P., NICOLINI, E. & BARALOTO, C. Disentangling the effects of environment and ontogeny on tree functional dimensions for congeneric species in tropical forests. **New Phytologist**, v. 226, n. 2, p. 385-395, 2020.

GRATANI, L., VASHEKA, O. & BIGARAN, F. Phenotypic plasticity of *Platanus acerifolia* (Platanaceae): morphological and anatomical trait variations in response to different pollution levels in Rome. **Modern Phytomorphology**, v. 14, p.55–63, 2020.

GUDA, M., TAHER, M. & ALMAYAH, B. Anatomical characteristics of vascular bundles associated with heat tolerance in *Phragmites australis*. **Fascicula Biologie**, v. 2, pp. 136-139. 2019.

GUET, J., FABBRINI, F., FICHOT, R., SABATTI, M., BASTIEN, C. & BRIGNOLAS, F. Genetic variation for leaf morphology, leaf structure and leaf carbon isotope discrimination in European populations of black poplar (*Populus nigra* L.). **Tree physiology**, v. 35, n. 8, p. 850-863, 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas**. Rio de Janeiro: IBGE - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 179p. 2019.

IVANAUSKAS, N. M., MONTEIRO, R., & RODRIGUES, R. R. Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 387-402, 2008. doi: 10.1590/S0044-59672008000300003.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. MacGraw-Hill Book Company, New York. 1940.

KAISER, E. Verfahren zur Herstellung einer tadellosen Glycerin-Gelatine. **Botanisch zentralb.** p. 25-26. 1880.

KANG, H., ZHUANG, H., WU, L., LIU, Q., SHEN, G., BERG, B., ... & LIU, C. Variation in leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in *Picea abies* across Europe: an analysis based on local observations. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 2, p. 195-202, 2011.

KASSAMBARA, A. Pipe-friendly framework for basic statistical tests. 2020.

KRAUS, J. E. & ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Universidade Rural, 1997.

LEMOS, V. D. O. T., LUCENA, E. M. P. D., BONILLA, O. H., EDSON-CHAVES, B., CASTRO, M. A. D. & SAMPAIO, V. D. S. Ecological anatomy of *Eugenia luschnathiana* (O. Berg) Klotzsch ex BD Jacks. (Myrtaceae) leaves in the Restinga region, state of Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4, 2018.

MORANDI, P. S., MARIMON, B. S., EISENLOHR, P. V., MARIMON-JUNIOR, B. H., OLIVEIRA-SANTOS, C., FELDPAUSCH, T. R., ... & PHILLIPS, O. L. Patterns of tree species composition at watershed-scale in the Amazon 'arc of deforestation': implications for conservation. **Environmental Conservation**, v. 43, n. 4, p. 317-326, 2016. doi: 10.1017/S0376892916000278.

OLIVEIRA, R. S., COSTA, F. R., VAN BAALEN, E., DE JONGE, A., BITTENCOURT, P. R., ALMANZA, Y., ... & POORTER, L. Embolism resistance drives the distribution of Amazonian rainforest tree species along hydro-topographic gradients. **New Phytologist**, v. 221, n. 3, p. 1457-1465, 2019.

PONTES PIRES, A.F.; JOHNSON, D. *Xylopi*a in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB110555>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

RIBEIRO-JÚNIOR, N. G. 2020. Anatomia de espécies arbóreas do Sul da Amazônia como predição e impactos das mudanças ambientais. 150 f. Tese/Doutorado – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Doutorado) Ecologia e Conservação – Nova Xavantina.

ROESER, K. R. Die Nadel der Schwarzkiefer Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. **Mikrokosmos**, v. 61, p. 33-36, 1962.

SANTOS, J. M. P. **Composição química e avaliação antimalárica in vitro de *Xylopi*a *amazonica* R. E. Fries (Annonaceae)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). 83 f. Universidade Federal do Amazonas. 2017. Manaus - AM.

SBF - Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010**. Brasília: SFB, 157 p. 2010.

SMITH, F. H. & SMITH, E. C. Anatomy of the inferior ovary of *Darbya*. **American Journal of Botany**, p. 464-471, 1942.

TEIXEIRA, N. D. A., MARIMON, B. S., ELIAS, F. & HUR MARIMON-JUNIOR, B. Padrões espaciais de samambaias em Floresta Estacional Perenifólia na transição Amazônia-Cerrado. **Rodriguésia**, v. 70, 8p. 2019. doi: 10.1590/2175-7860201970011.

THE R DEVELOPMENT CORE TEAM. A Language and Environment for Statistical Computing. 2019.

URIARTE, M., MUSCARELLA, R. & ZIMMERMAN, J. K. Environmental heterogeneity and biotic interactions mediate climate impacts on tropical forest regeneration. **Global change biology**, v. 24, n. 2, p. e692-e704, 2018.

VALLADARES, F., WRIGHT, S. J., LASSO, E., KITAJIMA, K., & PEARCY, R. W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. **Ecology**, v. 81, n. 7, p. 1925-1936, 2000. doi: 10.1890/0012-9658(2000)081[1925:PPRTLO]2.0.CO;2.

VILELA, E. F., CALLEGARO, G. M. & FERNANDES, G. W. **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios**. Rio de Janeiro: Vertente edições, 304p. 2019.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comparativo entre as espécies *Xylopia amazonica*, *X. aromatica*, *Xylopia benthamii*, *X. frutescens*, *X. neglecta* e *X. sericea* mostra uma série de semelhanças entre elas e tais semelhanças são atribuídas a caracteres comuns a família Annonaceae. Alguns atributos anatômicos como câmara subestomática volumosa, bainha esclerenquimáticas, idioblastos e compostos secundários como amido, lipídios totais, taninos, compostos fenólicos e alcaloides são revelados como um padrão para as espécies de *Xylopia* analisadas. O agrupamento de espécies com base em seus atributos favorece o entendimento de maior grau de parentesco, através do agrupamento notamos que *X. frutescens* e *X. sericea* são mais próximas entre si, assim como *X. amazonica* e *X. aromática*.

Ao associarmos os atributos anatômicos com as variáveis ambientais, notamos que a espécie *Xylopia amazonica* possui fácil adaptação em ambientes que sofrem algum tipo de estresse como, alta sazonalidade e variação da precipitação média anual. Essas variações correlacionadas com os atributos anatômicos mostram que além da espécie sofrer modificações nos atributos analisados em diferentes sítios. Percebemos também que a variabilidade intraespecífica fornece características plásticas favorecendo a manutenção da espécie através de um filtro ambiental.