

Atributos funcionais de quatro espécies lenhosas amostradas em cerrado, Goiás, Brasil

Ellyza Emylly Guimarães Mota¹, Sabrina do Couto de Miranda^{1*}, Waira Saravia Machida², Laryssa Barbosa de Souza Reis², João Pedro Barbosa de Souza Reis¹, Plauto Simão de Carvalho¹

¹ Universidade Estadual de Goiás

² Universidade Federal de Goiás

Original Article

*Corresponding author:
sabrina.couto@ueg.br

Received in:
09/06/2025

Accepted on:
22/04/2026

Published in:
25/08/2026

DOI:
<https://doi.org/10.34062/mzqkkg26>



RESUMO: O Cerrado é um dos principais biomas brasileiros e localiza-se, predominantemente, no Planalto Central. Este bioma apresenta grande diversidade de fitofisionomias, incluindo o cerrado. Os atributos funcionais das plantas são características diretamente ligadas à captação e ao uso eficiente de recursos, sendo relevantes para a bioprospecção e para o desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis. Este estudo objetivou caracterizar e analisar os atributos funcionais de quatro espécies lenhosas encontradas em cerrado, a saber: *Bowdichia virgilioides*, *Copaifera langsdorffii*, *Byrsonima pachyphylla* e *B. coccolobifolia*. Foram amostrados dez indivíduos por espécie, com a coleta de dados morfológicos e anatômicos de folhas e caules. Os resultados indicaram baixa variação intraespecífica para a maioria dos atributos analisados. Todas as espécies apresentaram características escleromórficas (cutícula espessa, elevada densidade estomática e presença de esclerênquima) típicas de ambientes com alta radiação e baixa disponibilidade hídrica. Algumas espécies apresentaram estruturas anatômicas específicas, como hipoderme e cristais de oxalato de cálcio, sugerindo diferentes estratégias ecológicas de defesa e de conservação hídrica. As evidências apontam para a adoção de estratégias mistas, combinando traços de espécies florestais e savânicas, o que é coerente com o caráter ecológico do cerrado que compartilha espécies com o cerrado sentido restrito. Os dados obtidos reforçam a importância de estudos funcionais para a conservação e manejo de ecossistemas nativos.

Palavras-chave: Estudo ecológico, Cerrado, Copaíba, Sucupira-preta, Murici, Murici-rosa

Functional attributes of four woody species sampled in cerrado

ABSTRACT: The Cerrado is one of Brazil's main biomes and is located predominantly on the Central Plateau. This biome has a great diversity of phytophysiognomies, including the cerrado. The functional attributes of plants are characteristics directly linked to the capture and efficient use of resources and are relevant to bioprospecting and the development of sustainable agricultural technologies. This study aimed to characterize and analyse the functional attributes of four woody species found in cerrado, namely: *Bowdichia virgilioides*, *Copaifera langsdorffii*, *Byrsonima pachyphylla* and *Byrsonima coccolobifolia*. Ten individuals per species were sampled, with morphological and anatomical data collected from leaves and stems. The results indicated low intraspecific variation for most of the attributes analyzed. All the species showed scleromorphic characteristics (thick cuticle, high stomata density and presence of sclerenchyma) typical of environments with high radiation and low water availability. Some species showed specific anatomical structures, such as hypodermis and calcium oxalate crystals, suggesting different ecological strategies for defense and water conservation. The evidence points to the adoption of mixed strategies, combining traits of forest and savannah species, which is consistent with the ecological character of the cerrado. The data obtained reinforce the importance of functional studies for conservation and management.

Keywords: Ecological studies. Cerrado. Copaíba. Sucupira-preta. Murici. Murici-rosa

Introdução

A conservação da biodiversidade é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentável na agricultura. Dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, destaca-se o ODS 2, “Fome zero e agricultura sustentável”, que inclui a meta de garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e práticas agrícolas resilientes que preservem os ecossistemas, aumentem a produtividade e melhorem a qualidade do solo até 2030 (ONU 2024).

Neste contexto, o estudo dos ecossistemas naturais e da biodiversidade é essencial para o alcance das metas de sustentabilidade. Atributos funcionais, definidos como características que influenciam o crescimento e o desenvolvimento dos organismos (Violle et al. 2007), têm implicações relevantes na bioprospecção e no desenvolvimento de tecnologias agrícolas. A compreensão desses atributos, como taxa de crescimento, eficiência no uso de nutrientes, adaptação hídrica e conversão fotossintética, contribui para o melhoramento genético e identificação de características desejáveis em culturas agrícolas (Reich 1992, 2014; Díaz et al. 2004).

O bioma Cerrado, localizado predominantemente no Planalto Central brasileiro, é formado por um mosaico de formações vegetacionais campestres, savânicas e florestais, incluindo dentre suas fitofisionomias o cerrado (Ribeiro e Walter 2008). O cerrado é uma formação florestal que apresenta predominância de espécies arbóreas e compartilha diversas espécies com o cerrado sentido restrito, formação savânica (Ribeiro e Walter 2008).

As estratégias ecológicas das plantas refletem táticas adotadas para aquisição de recursos e sobrevivência em diferentes ambientes (Reich 1992; Wen et al. 2023). Essas estratégias podem ser inferidas a partir da análise de atributos funcionais, os quais variam de acordo com as condições ambientais e a morfologia das espécies (Lavorel et al. 1997; Westoby et al. 2002; Cornelissen et al. 2003; Violle et al. 2007; Donovan et al. 2011).

Atributos foliares como área foliar, espessura, densidade, conteúdo de água e densidade estomática influenciam diretamente os processos ecológicos, como produtividade primária, decomposição e o fluxo de nutrientes e carbono (Reich 1992; Díaz et al. 2004). Características da madeira e da casca, como densidade e espessura, refletem estratégias de condução de seiva, resistência mecânica e proteção contra estresses ambientais (Westoby e Wright 2006; Swenson e Enquist 2007).

Dentre as espécies típicas do cerrado destacamos aqui *Bowdichia virgilioides* Kunth (Sucupira-preta), de madeira densa e com uso medicinal (Silva Júnior 2012; Dos Santos et al. 2014; Lorenzi 2016); *Copaifera langsdorffii* Desf. (Copaíba), de ampla distribuição e valorizada por seus usos fitoterápicos e cosméticos (Freitas e Oliveira 2002; Quemel et al. 2021); *Byrsonima pachyphylla* A.Juss. (Murici), com uso alimentar e medicinal (Cavalcante 2010; Meireles et al.

2023); e *Byrsonima coccolobifolia* Kunth (Murici-rosa), reconhecida por propriedades antioxidantes e seu potencial em recuperação ambiental (Brandão; Ferreira 1991; Maldini et al. 2009; Gavilanes et al. 2020).

Assim, este estudo tem como objetivo caracterizar e analisar os atributos funcionais de quatro espécies lenhosas encontradas em cerrado, destacando seus potenciais ecológicos e as estratégias adaptativas que influenciam a dinâmica de biomassa e o estoque de carbono na porção aérea da vegetação.

Material e Métodos

O estudo foi realizado em um remanescente de cerrado localizado na área de reserva legal da Fazenda Buritis (16°51'23,89" S e 49°59'29,95" O), no município de Palmeiras de Goiás-GO. A vegetação lenhosa da área tem sido monitorada desde 2018 (Vasconcelos et al. 2019). Foram selecionadas quatro espécies amplamente distribuídas no bioma Cerrado (Ratter et al. 2003): *Bowdichia virgilioides* e *Copaifera langsdorffii*, pertencentes à família Fabaceae; e *Byrsonima pachyphylla* e *Byrsonima coccolobifolia*, ambas da família Malpighiaceae. Estas espécies também foram selecionadas com base em sua relevância para o estoque de carbono aéreo na área de estudo.

Para cada uma das espécies foram selecionados, aleatoriamente, 10 indivíduos presentes na área. Para cada indivíduo foram coletadas e analisadas as variáveis relacionadas aos atributos funcionais (Tabela 1), divididas em: traços da planta inteira, traços foliares e traços de caule conforme protocolos de Cornelissen et al. (2003).

Para os dados anatômicos, as folhas foram fixadas em FAA 70, armazenadas em álcool 70%, seccionadas à mão livre e coradas com azul de alcian 4% e fucsina básica 1% (Reis et al. 2023). A densidade estomática foi determinada por moldagem com esmalte incolor (Reis et al. 2023) e contagem em aumento de 400×, com quatro campos de visão por folha (Zoulias et al. 2020).

Quanto aos atributos de caule, foi feita a coleta de um ramo terminal com evidente crescimento secundário, com diâmetro superior a 3 cm e comprimento com cerca de 10 cm, para cada indivíduo. Com essa amostra foram avaliados os valores de densidade da madeira e conteúdo relativo de água na madeira, para isso foram obtidos peso fresco, peso saturado e peso seco. Para obtenção de peso fresco, o súber foi retirado e desprezado, depois o ramo foi analisado individualmente ao chegar do campo; para obtenção de massa saturada os ramos ficaram imersos em água por 48h e após a hidratação foram analisados; para obtenção da massa seca, os ramos foram colocados em saco de papel pardo, levados para a estufa por 72 horas a 60 °C e depois de secos foram analisados novamente.

Para os atributos de casca, o súber foi removido de uma área de 3cm x 3cm, com auxílio de um formão em três pontos aleatórios do caule, sempre a uma altura de 30 cm do solo. Foram retiradas três amostras de cada indivíduo e com essas foram calculados os valores de densidade da casca, conteúdo relativo de água na casca

e espessura da casca. Para o cálculo de densidade e conteúdo relativo de água foi obtido o peso fresco, peso saturado e peso seco. Para obtenção de peso fresco, o súber foi analisado individualmente assim que coletado em campo; para a obtenção do peso saturado, o súber ficou imerso em água por 48 horas e após a hidratação foi analisado; para a obtenção do peso seco, o súber foi

colocado em saco de papel pardo, levado para a estufa por 72 horas a 60 °C e depois de seco analisado novamente. As análises estatísticas descritivas (valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação) foram realizadas com o auxílio do programa BioEstat (versão 5.3.) com o intuito de descrever variações intraespecíficas e interespecíficas em relação à média.

Tabela 1. Descrição dos atributos funcionais analisados com as respectivas unidades de medida, abreviações e fórmulas.

Atributo Funcional (unidade)	Abr.	Mensuração
Altura Total (m)	AT	Vara graduada
Diâmetro da base (cm)	DB	Suta de alumínio
Área Foliar (mm ²)	AF	Software ImageJ
Espessura Foliar (mm)	EF	Micrômetro digital
Área Foliar Específica (mm ² /mg)	AFE	$\frac{\text{Área foliar (mm}^2\text{)}}{\text{Peso seco (mg)}}$
Densidade Foliar (mg/mm ³)	DF	$\frac{\text{Peso seco (mg)}}{\text{Volume foliar (mm}^3\text{)}}$
Conteúdo Relativo de Água na Folha (%)	CRAF	$100 \times \frac{\text{Peso fresco (mg)} - \text{Peso seco (mg)}}{\text{Peso fresco (mg)}}$
Densidade da Madeira (mg/mm ³)	DM	$\frac{\text{Peso seco (mg)}}{\text{Volume da madeira (mm}^3\text{)}}$
Conteúdo Relativo de Água na Madeira (%)	CRAm	$100 \times \frac{\text{Peso saturado (mg)} - \text{Peso seco (mg)}}{\text{Peso saturado (mg)}}$
Conteúdo Relativo de Água na Casca (%)	CRAc	$100 \times \frac{\text{Peso saturado (mg)} - \text{Peso seco (mg)}}{\text{Peso saturado (mg)}}$
Densidade da Casca (mg/mm ³)	DC	$\frac{\text{Peso saturado (mg)}}{\text{Volume da casca (mm}^3\text{)}}$
Espessura da Casca (mm)	EC	Paquímetro

Fonte: (Cornelissen et al. 2003; Freitas et al. 2012; Corrêa Scalon et al. 2020).

Resultados

Os coeficientes de variação (CV) para os atributos foliares e caulinares foram, em sua maioria, inferiores a 30% (Tabela 2), indicando baixa variação intraespecífica. Em *Bowdichia virgilioides*, os menores coeficientes de variação foram observados para espessura foliar (EF = 19,37%) e espessura da casca (EC = 14,81%), e os maiores para densidade foliar (DF = 28,42%) e densidade da casca (DC = 28,40%) (Tabela 2). A área foliar (AF) e área foliar específica (AFE) apresentaram médias de 532,04 mm² e 11,15 mm²/mg (Tabela 2), respectivamente, valores distintos dos encontrados por Costa et al. (2022) (12.768,7 mm²; 6,34 mm²/mg). Os valores de densidade da madeira (DM) obtidos variaram de 0,39 a 0,78 (Tabela 2), abaixo da faixa de variação descrita por Silva Júnior (2012), entre 0,81 e 1,11 g/cm³.

Para *Copaifera langsdorffii*, a variação foi maior na área foliar (CV = 36,68%), conteúdo relativo de água na casca (CV=38,20%) e espessura da casca (CV = 39,70%), enquanto o conteúdo relativo de água na madeira (CRAm) apresentou menor coeficiente de variação (CV = 9,18%) (Tabela 2). A média de área foliar (1.110,05 mm²) foi cerca de três vezes superior à relatada por Melo Júnior et al. (2012) (360 mm²). A densidade da madeira variou entre 0,43 e 0,70 mg/mm³, distinto da registrada por Silva Júnior (2012) (0,79

g/cm³).

Em *Byrsonima pachyphylla*, a maioria dos coeficientes de variação dos atributos funcionais foliares ficaram abaixo de 30% (Tabela 2), com exceção da área foliar (CV= 47,82%). A área foliar específica apresentou média de 15,03 mm²/mg, distinto dos valores encontrados por Santos (2016) em cerrado típico (4,689 mm²/mg) e rupestre (4,649 mm²/mg). A densidade da madeira (0,55 mg/mm³) foi semelhante à relatada por Santos (2016) para o cerrado típico (0,51) e cerrado rupestre (0,53). A espessura da casca (22,7 mm) diferiu dos valores encontrados por esse autor (cerrado típico=14,3 mm e cerrado rupestre=13,8 mm).

Para *Byrsonima coccolobifolia*, é possível notar que a média de área foliar apresentou coeficiente de variação acima 30% (CV= 39,2%, Tabela 2). Em relação às médias dos atributos funcionais de caule, a densidade da casca obteve valor acima de 30% (CV= 36,5%, Tabela 2) e o menor valor foi obtido para conteúdo relativo de água na madeira (CV= 4,3%) (Tabela 2). Os valores de área foliar variaram de 1.168,10 a 10.882,70 mm², com média de 4.563,23 mm² (Tabela 2), valor próximo ao encontrado por Gavilanes et al. (2020) para campo rupestre (5.115 mm²).

Anatomia Foliar

As quatro espécies analisadas apresentaram epiderme uniestratificada, recoberta por cutícula espessa, embora com variações em espessura e outros

detalhes estruturais (Tabela 3). Em *Bowdichia virgilioides*, a cutícula mostrou-se mais espessa na face adaxial, com células epidérmicas arredondadas ou quadradas e menores na face abaxial (Figura 1). Foi observada hipoderme na face abaxial, característica também registrada por Ferreira et al. (2015) em exemplares coletados na Amazônia. O mesofilo é homogêneo, formado por três camadas de parênquima

paliçádico, com o parênquima lacunoso ausente ou pouco desenvolvido (Figura 1-C), organização também observada por Ferreira et al. (2015). A nervura principal apresenta formato côncavo/convexo, com feixe vascular colateral em arco fechado, circundado por esclerênquima (Figura 1-B) e presença de tricomas tectores pluricelulares longos nas duas faces foliares, com maior frequência na face abaxial (Figura 1-A e D).

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos funcionais analisados para quatro espécies amostradas em um remanescente de cerradão em Palmeiras de Goiás. Onde: Mín. = valores mínimos; Máx. = valores máximos; (CV%) = coeficiente de variação; EF=espessura foliar; AFE=área foliar específica; DF=densidade foliar; AF=área foliar; CRAf=conteúdo relativo de água na folha; DE=densidade estomática; CRAm=conteúdo relativo de água na madeira; DM=densidade da madeira; EC=espessura da casca; CRAc=conteúdo relativo de água na casca; DC=densidade da casca.

Espécies	<i>B. virgilioides</i>			<i>C. langsdorffii</i>			<i>B. pachyphylla</i>			<i>B. coccolobifolia</i>		
Atributos	Mín.	Máx.	Média (CV%)	Mín.	Máx.	Média (CV%)	Mín.	Máx.	Média (CV%)	Mín.	Máx.	Média (CV%)
EF	0,23	0,53	0,33 (19,37)	0,14	0,30	0,20 (12,49)	0,07	0,21	0,13 (22,70)	0,12	0,45	0,23 (20,66)
AFE	5,06	21,22	11,15 (27,74)	5,77	31,12	11,80 (27,59)	7,16	28,91	15,03 (27,65)	1,11	18,80	10,84 (24,26)
DF	0,13	0,51	0,29 (28,42)	0,17	0,81	0,44 (22,34)	0,24	1,22	0,54 (29,41)	0,21	0,62	0,41 (18,60)
AF	246,50	962,80	532,04 (28,28)	415,40	2.562,30	1.110,05 (36,68)	1.237,10	13.202,90	4.194,45 (47,82)	1168,10	10882,70	4.563,2 (39,19)
CRAf	14,49	71,64	53,98 (20,57)	14,19	81,95	49,08 (23,87)	4,67	87,05	61,35 (20,59)	8,87	74,08	48,64 (19,75)
DE	180,55	527,77	367,36 (22,89)	277,77	583,33	419,09 (15,41)	208,33	500,00	344,79 (18,36)	118,64	271,18	186,86 (19,65)
CRAm	27,36	68,25	51,80 (21,25)	45,21	58,97	51,19 (9,18)	51,27	60,82	55,78 (5,29)	50,20	58,35	55,78 (4,30)
DM	0,39	0,78	0,61 (19,12)	0,43	0,70	0,55 (16,33)	0,21	0,67	0,55 (24,31)	0,41	0,68	0,54 (15,95)
EC	7,99	12,46	9,70 (14,81)	5,01	15,57	7,77 (39,70)	18,00	28,00	22,70 (13,74)	4,09	9,49	6,87 (26,41)
CRAc	18,94	64,20	53,63 (24,49)	26,75	78,56	41,91 (38,20)	62,79	77,18	71,91 (5,66)	55,443	73,51	64,68 (7,71)
DC	0,14	0,42	0,30 (28,40)	0,32	0,68	0,46 (26,56)	0,06	0,15	0,10 (28,26)	0,08	0,45	0,28 (36,54)

Em *Copaifera langsdorffii*, as células epidérmicas variam de retangulares a arredondadas, com menor dimensão na face abaxial (Figura 2) e são revestidas por cutícula espessa em ambas as faces (Figura 2-C). O mesofilo é dorsiventral, com uma a duas camadas de parênquima paliçádico na face adaxial e duas a três camadas de parênquima lacunoso na face abaxial (Figura 2-B, C e D). A nervura central apresenta formato biconvexo e feixe vascular bicolateral envolvido por esclerênquima e colênquima (Figura 2-A). Tricomas tectores unicelulares simples foram observados em baixa densidade, mais concentrados na região da nervura central (Figura 2-A e E). Foram identificadas cavidades secretoras entre os tecidos do mesofilo e, com menor frequência, na nervura (Figura 2-A, C e D).

Nas folhas de *Byrsonima pachyphylla* a cutícula é espessa, principalmente sobre a nervura central (Figura 3-A). A epiderme é uniestratificada em ambas as faces, suas células adaxiais são maiores e retangulares, enquanto as da face abaxial são menores (Figura 3-B). O mesofilo apresenta organização isobilateral, com uma camada de parênquima paliçádico em cada face e três camadas centrais de parênquima lacunoso com poucos

espaços intercelulares (Figura 3-E). A nervura central é biconvexa, com sistema vascular bicolateral e cristais de oxalato de cálcio do tipo drusas distribuídos pelo mesofilo e região vascular (Figura 3-C). Há presença de colênquima ao redor da nervura (Figura 3-A e C). Tricomas tectores unicelulares ramificados em forma de T ocorrem na face abaxial (Figura 3-A), sendo menos frequentes na adaxial, padrão semelhante ao relatado por Ferreira et al. (2015) em outras espécies do gênero. Os estômatos, restritos à face abaxial (hipoestomática), possuem projeções da parede periclinal externa que formam câmaras estomáticas discretas (Figura 3-E).

Por fim, *Byrsonima coccolobifolia* apresenta epiderme semelhante à da espécie anterior, com cutícula espessa, especialmente sobre a nervura central (Figura 4-A). O mesofilo é isobilateral, com duas camadas de parênquima paliçádico na face adaxial e uma camada voltada para a face abaxial, separadas por três a quatro camadas de parênquima lacunoso (Figura 4-B). A nervura principal tem formato biconvexo (Figura 4-A), com feixe colateral em arco fechado envolto por esclerênquima. Foram observados cristais de oxalato de cálcio dos tipos drusas e prismáticos no mesofilo e na

nervura (Figura 4-D). A espécie é glabra, sem tricomas, mas apresenta estômatos diferenciados com projeções em forma de crista (Figura 4-C), o que sugere adaptação

à conservação hídrica, conforme também descrito por Ferreira et al. (2015).

Figura 1. Fotomicrografias do corte transversal da folha de *Bowdichia virgilioides*, onde: (A) visão geral da nervura central; (B) detalhe da nervura central; (C) detalhe do mesofilo foliar; (D) Detalhe dos tricomas. Cu: cutícula; Ead: epiderme adaxial; Eab: epiderme abaxial; Fl: floema; Xi: xilema; Pp: parênquima paliçádico; Tr: tricoma; Fv: feixes vasculares; Hp: hipoderme; Es: esclerênquima. Setas indicam estômatos.

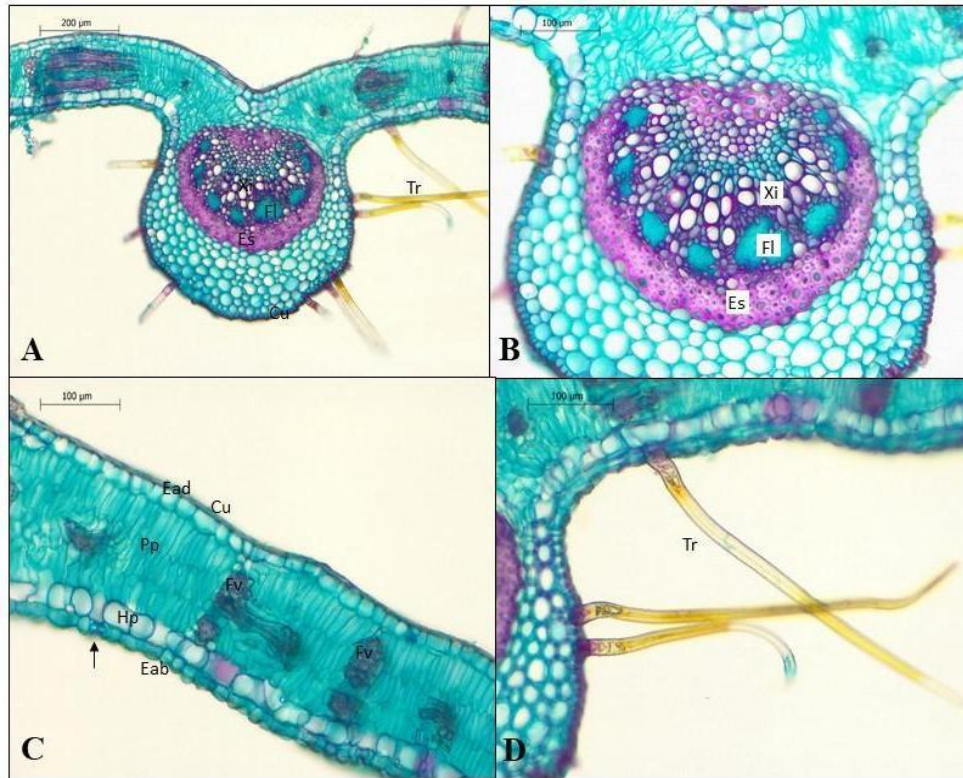


Figura 2. Fotomicrografias do corte transversal da folha de *Copaifera langsdorffii*, onde: (A) visão geral da nervura central; (B) (C) e (D) mesofilo foliar evidenciando os canais secretores; (E) detalhe da nervura central. Cu: cutícula; Ead: epiderme adaxial; Eab: epiderme abaxial; Fl: floema; Xi: xilema; Pp: parênquima paliçádico; Pl: parênquima lacunoso; Tr: tricoma; Fv: feixes vasculares; Cs: canais secretores; Es: esclerênquima.

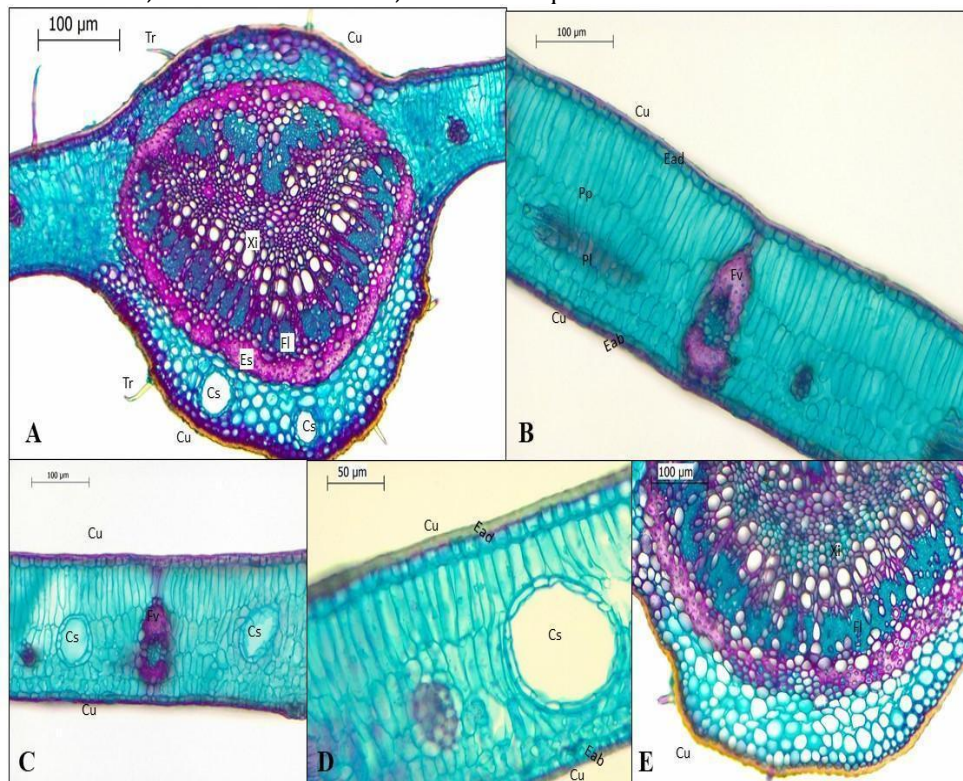
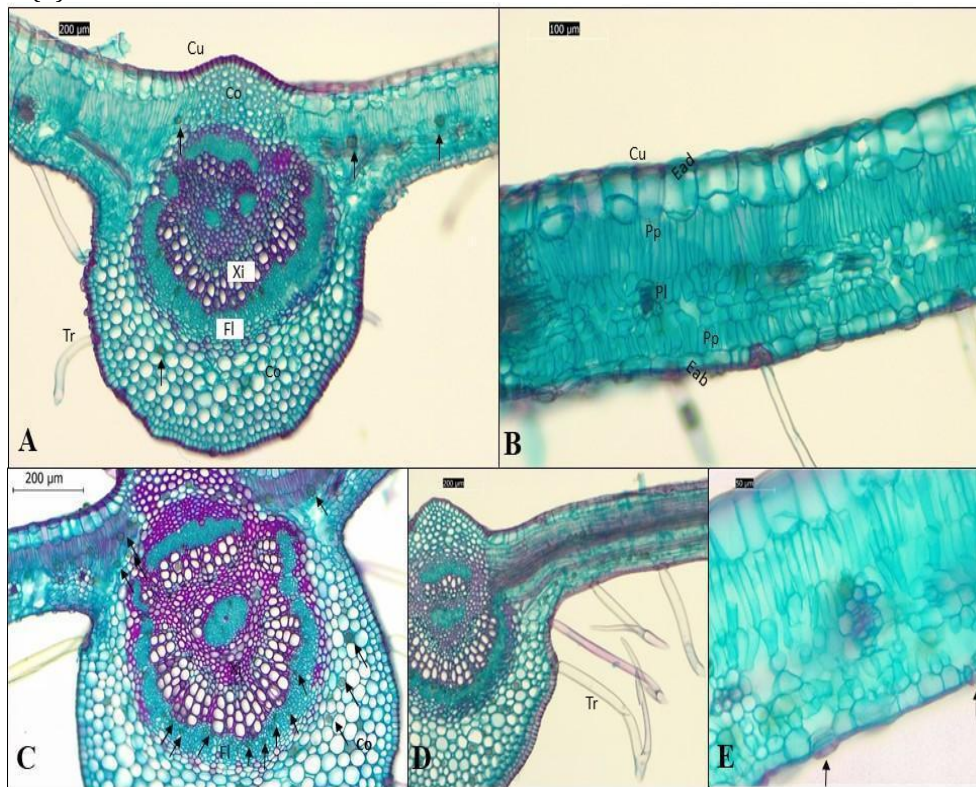


Figura 3. Fotomicrografias do corte transversal da folha de *Byrsonima pachyphylla*. (A) visão geral da nervura central; (B) e (E) detalhes do mesofilo foliar; (C) detalhe da nervura central; (D) detalhe da nervura central e mesofilo foliar evidenciando os tricomas. Cu: cutícula; Ead: epiderme adaxial; Eab: epiderme abaxial; Fl: floema; Xi: xilema; Pl: parênquima lacunoso; Pp: parênquima paliádico; Co: colênquima; Tr: tricoma. Setas pretas indicam drusas em (A) e em (C), estômatos em (E).



Todas as espécies estudadas são hipoestomáticas e possuem estômatos do tipo paracítico (Figura 5-A, B, C e D). No trabalho de Ferreira et al. (2015), a espécie *B. virgilioides* apresentou estômatos do tipo paracítico e anomocítico, e *B. coccolobifolia*, além de apresentar estômatos do tipo paracítico, também apresentou estômatos dos tipos anomocítico e tetracítico.

Em relação à densidade estomática, as espécies *B. pachyphylla*, *B. virgilioides* e *C. langsdorffii* obtiveram médias que variaram entre 344,79 estômatos/mm², 367,36 estômatos/mm² e 419,0 estômatos/mm², respectivamente (Tabela 2), enquanto a espécie *B. coccolobifolia* apresentou valor médio cerca de duas vezes inferior (186,86 estômatos/mm²) (Tabela 2, Figura 5).

Discussão

Os dados obtidos demonstram que as quatro espécies analisadas apresentam variações sutis em seus atributos funcionais, revelando estratégias ecológicas distintas, mas com sobreposição de características típicas de ambientes florestais e savânicos. Essa plasticidade é consistente com o caráter ecológico do cerrado (Ribeiro e Walter 2008), formação com características intermediárias entre o cerrado sentido restrito e a mata seca.

A elevada densidade estomática observada em *B. virgilioides*, *C. langsdorffii* e *B. pachyphylla* é compatível com ambientes de alta incidência solar e

baixa disponibilidade hídrica, como descrito por Du et al. (2021) e Zhu et al. (2024). Essa estratégia está frequentemente associada a investimentos em estruturas que limitam a perda de água, como folhas espessas e presença de cutícula robusta (Larcher 2006; Riederer e Muller 2006; Schuster et al. 2016).

A presença de cutícula espessa em todas as espécies também corrobora estratégias escleromórficas. A cutícula, composta por ceras e cutina, atua na redução da transpiração cuticular e contribui para maior resistência à dessecação (Fahn e Cutler 1992; Crang et al. 2018).

Do ponto de vista anatômico, a presença de hipoderme em *B. virgilioides* representa um diferencial adaptativo importante, já que essa estrutura está associada ao armazenamento de água e à proteção contra estresse hídrico (Ferreira et al. 2015; Rashid et al. 2020). O mesofilo homogêneo encontrado nessa espécie (Tabela 3) reforça seu vínculo com ambientes mais secos, uma vez que tal organização reduz a perda de água, embora limite a captação de CO₂ (Ferreira et al. 2015).

As espécies *B. pachyphylla* e *B. coccolobifolia* apresentaram mesofilo isobilateral e presença de cristais de oxalato de cálcio (Tabela 3), os quais desempenham papel defensivo, conferindo menor palatabilidade e dificultando a digestão por herbívoros (Konno et al. 2014). A presença de tricomas em *B. pachyphylla* reforça essa proteção (Raven et al. 2014; Lima 2021), sendo que sua ausência em *B. coccolobifolia* pode ser compensada pela presença dos cristais e pela cutícula espessa. Segundo Crang et al. (2018), a presença

de tricomas pode ser relacionada com aumento da umidade do ar diretamente em contato com a superfície da folha, restringindo a perda de vapor de água dos estômatos para a atmosfera, o que pode levar a redução na perda de água pela transpiração.

A espessura da casca foi particularmente elevada em *B. pachyphylla*, o que pode refletir uma adaptação ao fogo e à proteção dos tecidos vivos, enquanto as demais espécies apresentaram cascas mais finas, compensadas por maior densidade da casca (*C.*

langsdorffii e *B. coccolobifolia*), o que também garante resistência mecânica (Westoby e Wright 2006; Swenson e Enquist 2007; Reis et al. 2024).

A coexistência de traços adaptativos típicos de ambientes florestais (madeira densa, maior densidade de casca) e savânicos (alta densidade estomática, hipoderme, tricomas, cascas mais espessas) sugere plasticidade funcional nas espécies estudadas, o que pode representar uma vantagem competitiva frente às variações microambientais do cerrado.

Figura 4. Fotomicrografias do corte transversal da folha de *Byrsonima coccolobifolia*. Mostrando: (A) visão geral da nervura central; (B) detalhe do mesofilo foliar; (C) detalhe do mesofilo foliar evidenciando estômatos; (D) detalhe da nervura central evidenciando a bainha cristalífera. Cu: cutícula; Ead: epiderme adaxial; Eab: epiderme abaxial; Fl: floema; Xi: xilema; Pp: parênquima paliçádico; Pl: parênquima lacunoso; Fv: feixes vasculares; Es: esclerênquima. Setas pretas em (C) indicam estômatos e em (D) indicam drusas; setas laranja em (D) indicam cristais prismáticos.

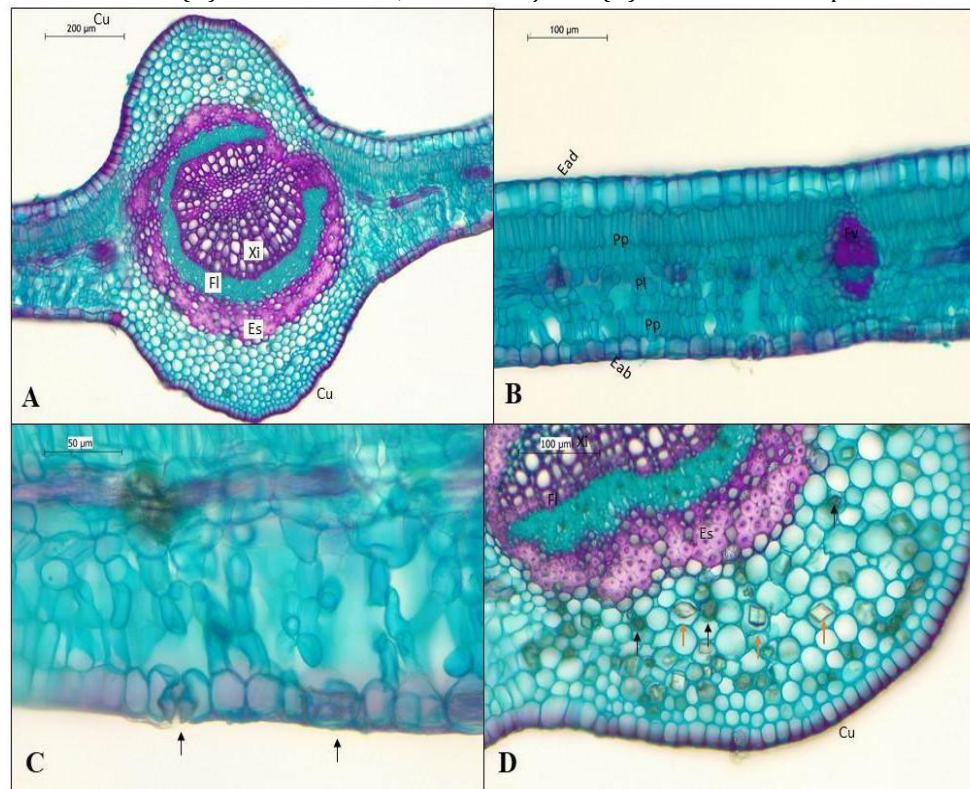


Figura 5. Imagens dos estômatos das espécies estudadas, onde: (A) estômatos de *Byrsonima pachyphylla*; (B) estômatos de *B. coccolobifolia*; (C) estômatos de *Bowdichia virgilioides* e (D) estômatos de *Copaifera langsdorffii*.

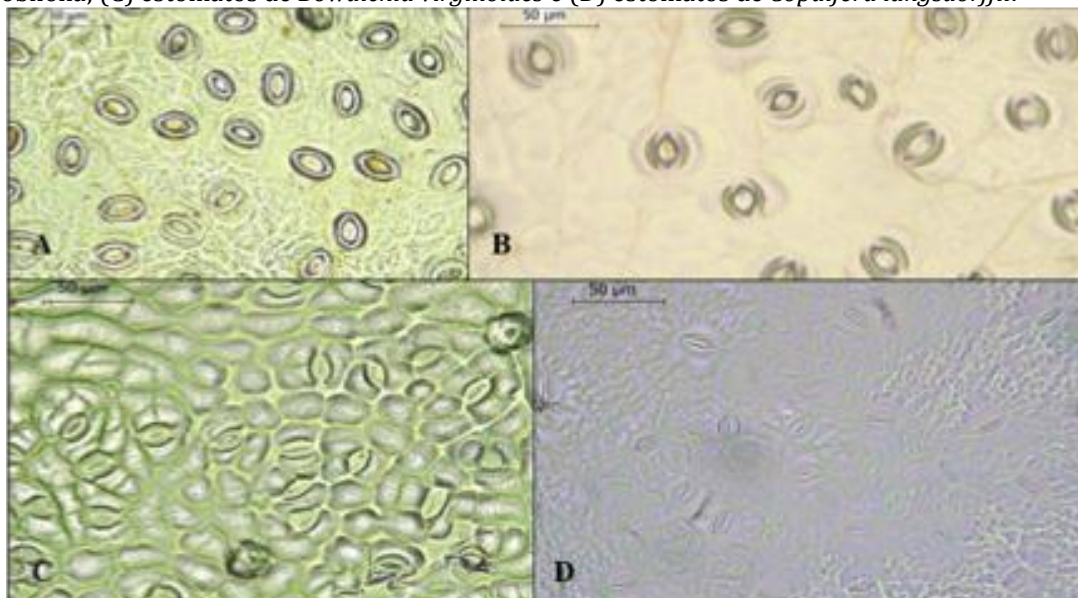


Tabela 3. Principais características anatômicas das lâminas foliares. Onde: (-): ausência; (+): presença; NC: presente na nervura central; Me: presente no mesofilo; AD: adaxial; AB: abaxial; Pp: parênquima paliádico; D: cristais de oxalato de cálcio do tipo drusa; P: cristais de oxalato de cálcio do tipo prismático; Bi: bicolateral; Co: colateral; Uni: unicelular; Pluri: pluricelular; Homo: homogêneo; Dorsi: dorsiventral; Iso: isobilateral; Hip.: hipoderme; Escl.: esclerênquima.

Espécies	Cavidade secretora	Cristais	Cutícula espessa	Epiderme/Tricomas			Mesofilo			Nervura central	
				N. de células	Tipo	Local	Organização	PP (nº de camadas)	Hip.	Tipo de feixe	Escl.
<i>B. pachyphylla</i>	-	D NC/Me	NC AD/AB	Uni	T	AB	Iso	2	-	Bi	-
<i>B. coccolobifolia</i>	-	D/P NC/Me	NC AD/AB	-	-	-	Iso	3	-	Co	+
<i>B. virgilioides</i>	-	-	NC/Me AD	Pluri	Simples	AD/ AB	Homo	3	+	Co	+
<i>C. langsdorffii</i>	NC/Me	-	NC/Me AD/AB	Uni	Simples	AD/ AB	Dorsi	01/fev	-	Bi	+

Conclusão

Em termos dos atributos funcionais foliares e de caule, não foram observadas variações acentuadas em nível intraespecífico. As quatro espécies apresentaram semelhanças nos valores médios para a maioria dos atributos funcionais. É possível perceber a presença de características de estratégias ecológicas de espécies florestais (madeira densa, casca com maior densidade) e estratégias ecológicas de espécies savânicas (alta densidade estomática, hipoderme, tricomas, folhas espessas e cascas com maior espessura).

As quatro espécies lenhosas apresentaram estratégias funcionais mistas, com atributos típicos de ambientes florestais e savânicos. A presença de estruturas escleromórficas e anatômicas especializadas indica mecanismos eficientes de conservação hídrica e proteção. Os resultados reforçam a importância dos estudos funcionais que refletem características adaptativas das plantas aos diferentes ambientes. Este tipo de pesquisa é importante para a conservação da biodiversidade e entendimento da ecologia do cerrado.

Estudos complementares poderão ser realizados (p.ex. fenologia foliar, fenologia reprodutiva, estudos de atributos funcionais em pares congenéricos de ambientes savânicos e florestais) buscando aumentar o entendimento funcional das referidas espécies

Referências

Brandão M, Ferreira P (1991) Flora apícola do cerrado. Informe Agropecuário 15:7–14

Cavalcante P (2010) Frutas comestíveis da Amazônia, 7th edn. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém

Cornelissen JH, Lavorel S, Garnier E, et al (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide.

Australian journal of Botany 51:335–380. doi: 10.1071/BT02124

Corrêa MS, Bicalho MC, Domingos F, Jonatar ACW, et al (2020) Diversity of functional trade-offs enhances survival after fire in Neotropical savanna species. Journal of Vegetation Science 31:139–150. doi: 10.1111/jvs.12823

Costa JP, Dias Neto OC, Santos LC, Rodrigues AW, Rios JM, Prado Júnior JA, Vale VS (2022) Traços funcionais de espécies arbóreas de Cerrado sensu stricto e sua importância para a manutenção de comunidades nativas. Ci. Fl., Santa Maria, 32:1807-1829, doi.org/10.5902/1980509842472

Crang R, Lyons-Sobaski S, Wise R (2018) Plant anatomy: a concept-based approach to the structure of seed plants. Springer

Díaz S, Hodgson J, Thompson K, et al (2004) The plant traits that drive ecosystems: evidence from three continents. Journal of vegetation science 15:295–304. doi: 10.1111/j.1654-1103.2004.tb02266.x

Donovan LA, Maherali H, Caruso CM, et al (2011) The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. Trends in Ecology & Evolution 26:88–95. doi: 10.1016/j.tree.2010.11.011

Du B, Zhu Y, Kang H, Liu C (2021) Spatial variations in stomatal traits and their coordination with leaf traits in *Quercus variabilis* across Eastern Asia. Science of the Total Environment 789:147–757. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147757

Fahn A, Cutler D (1992) Xerophytes Berlin: Gebruder Borntraeger

Ferreira CS, Carmo WS, Graciano-Ribeiro D, et al (2015) Anatomia da lâmina foliar de onze espécies lenhosas dominantes nas savanas de Roraima. Acta Amazonica 45:337–346. doi: 10.1590/1809-4392201500363

Freitas CV, Oliveira PE (2002) Biologia reprodutiva de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae,

Caesalpinioideae. Brazilian Journal of Botany 25:311–321. doi: 10.1590/S0100-84042002000300007

Freitas J, Cianciaruso M, Batalha M (2012) Functional diversity, soil features and community functioning: a test in a cerrado site. Brazilian Journal of Biology 72:463–470. doi: 10.1590/S1519-69842012000300008

Gavilanes ML, da Silva AM, de Freitas Dias MV, et al (2020) Estrutura foliar de *Byrsonima coccolobifolia* Kunth. (Malpighiaceae) em ambiente de cerrado e campo rupestre. Research, Society and Development 9:e14991210077–e14991210077. doi: 10.33448/rsd-v9i12.10077

Konno K, Inoue TA, Nakamura M (2014) Synergistic defensive function of raphides and protease through the needle effect. PloS one 9:e91341. doi: 10.1371/journal.pone.0091341

Larcher W (2006) Ecofisiologia Vegetal. Rima, São Paulo.

Lavorel S, McIntyre S, Landsberg J, Forbes T (1997) Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. Trends in Ecology & Evolution 12:474–478. doi: 10.1016/S0169-5347(97)01219-6

Lima RF de (2021) Sistema subterrâneo e proteção das gemas aéreas de *Psidium grandifolium* Mart. Ex Dc. ocorrentes em área de Cerrado natural e Cerrado em regeneração

Lorenzi H (2016) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, 5th edn. Instituto Plantarum

Maldini M, Sosa S, Montoro P, et al (2009) Screening of the topical anti-inflammatory activity of the bark of *Acacia cornigera* Willdenow, *Byrsonima crassifolia* Kunth, *Sweetia panamensis* Yakovlev and the leaves of *Sphagneticola trilobata* Hitchcock. Journal of ethnopharmacology 122:430–433. doi: 10.1016/j.jep.2009.02.002

Meireles AC, Freire A da SM, de Melo Ferreira W, Viana RHO (2023) Phenological synchronicity of *Byrsonima pachyphylla* A. Juss. and *B. verbascifolia* (L.) DC. (Malpighiaceae) and its relation with climate seasonality. Revista Árvore. doi: 10.1590/1806-908820230000018

Melo Júnior JCF, Bona C, Ceccantini C (2012) Anatomia foliar de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae): interpretações ecológicas em diferentes condições edáficas de Cerrado. Biotemas 25: 29–36. doi: 10.5007/2175-7925.2011v25n4p29

ONU (2024) Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Accessed 19 Sep 2024

Quemel GKC, Da Costa ABP, Teixeira IF, et al (2021) Propriedades medicinais do óleo da *Copaifera langsdorffii*: uma revisão integrativa da literatura. Brazilian Journal of Health Review 4:10490–10508. doi: 10.34119/bjhrv4n3-072

Rashid P, Shethi KJ, Ahmed A (2020) Leaf anatomical adaptation of eighteen mangrove plant species from the Sundarbans in Bangladesh. Bangladesh Journal of Botany 49:903–911. doi: 10.3329/bjb.v49i4.52496

Ratter JA, Bridgewater S, Ribeiro JF (2003) Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. Edinburgh journal of botany 60:57–109. doi: 10.1017/S0960428603000064

Raven P, Evert R, Eichorn S (2014) Biologia Vegetal., 8th edn. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro

Reich PB (1992) Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. Ecological Monographs 62:365–392. doi: 10.2307/2937116

Reich PB (2014) The world-wide ‘fast–slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto. Journal of ecology 102:275–301. doi: 10.1111/1365-2745.12211

Reis JPBS, Holanda M, Silvestre G, et al (2024) Biometria de Frutos, Germinação de Sementes, Morfologia e Anatomia Foliar de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. Enciclopedia Biosfera 21:. doi: 10.18677/EnciBio_2024B7

Reis LBS, Miranda SDCD, Machida WS, et al (2023) Aspectos Ecológicos, Funcionais e Anatômicos de Três Espécies Lenhosas de Cerrado. Rev Bras Geog Fis 16:968–985. doi: 10.26848/rbgf.v16.2.p968-985

Ribeiro JF, Walter B (2008) As principais fitofissionomias do bioma Cerrado. In: Cerrado: Ecologia e Flora. Embrapa Cerrados, Distrito Federal, pp 151–212

Riederer M, Muller C (eds) (2006) Biology of the plant cuticle. Blackwell Pub, Oxford; Ames, Iowa

Rijkers T, Pons T, Bongers F (2000) The effect of tree height and light availability on photosynthetic leaf traits of four neotropical species differing in shade tolerance. Functional Ecology 14:77–86. doi: 10.1046/j.1365-2435.2000.00395.x

Santos TRR (2016) Atributos Funcionais e Genética de Populações de Quatro Espécies Lenhosas em Áreas de Cerrado Rupestre e Cerrado Típico. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Departamento de Botânica, 96p

Santos JL, Dantas REA, Lima CA, et al (2014) Protective effect of a hydroethanolic extract from *Bowdichia virgilioides* on muscular damage and oxidative stress caused by strenuous resistance training in rats. Journal of the International Society of Sports Nutrition 11:1–10. doi: 10.1186/s12970-014-0058-3

Schuster A-C, Burghardt M, Alfarhan A, et al (2016) Effectiveness of cuticular transpiration barriers in a desert plant at controlling water loss at high temperatures. AoB Plants 8:. doi: 10.1093/aobpla/plw027

Silva Júnior MC (2012) 100 árvores do cerrado sentido restrito: guia de campo. Rede de sementes do Cerrado. Brasília-DF

Swenson NG, Enquist BJ (2007) Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. *American Journal of Botany* 94:451–459. doi: 10.3732/ajb.94.3.451

Vasconcelos WA, Miranda SC de, Cezare CHG, Ferreira LG (2019) A vegetação lenhosa de cerrado na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, Goiás. In: *Tópicos em conservação e manejo do cerrado: biodiversidade, solos e uso sustentável*. Editora Kelps, Goiânia, pp 9–30

Violle C, Navas M, Vile D, et al (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116:882–892. doi: 10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x

Wen Y, Chen C, Sun T, et al (2023) The change pattern of CSR ecological strategy of trees and seedlings during different succession stages in tropical lowland rainforests. *Frontiers in Forests and Global Change* 6:. doi: 10.3389/ffgc.2023.1236933

Westoby M, Falster DS, Moles AT, et al (2002) Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual review of ecology and systematics* 33:125–159. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150452

Westoby M, Wright IJ (2006) Land-plant ecology on the basis of functional traits. *Trends in ecology & evolution* 21:261–268. doi: 10.1016/j.tree.2006.02.004

Zhu Y, Zheng J, Kang H, et al (2024) Spatial variations in leaf trichomes and their coordination with stomata in *Quercus variabilis* across Eastern Asia. *Journal of Plant Ecology* 17:rtae023. doi: doi.org/10.1093/jpe/rtae023

Zoulias N, Brown J, Rowe J, Casson SA (2020) HY5 is not integral to light mediated stomatal development in *Arabidopsis*. *PLoS One* 15:. doi: 10.1371/journal.pone.022248