ALISSON DOS SANTOS OLIVEIRA

SENSIBILIDADE DAS ÁRVORES DE SAVANA AMAZÔNICA ÀS ALTAS TEMPERATURAS

Dissertação de Mestrado

ALTA FLORESTA-MT

2024

ALISSON DOS SANTOS OLIVEIRA

Diss. MESTRADO

PPGBioAgro 2024

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

ALISSON DOS SANTOS OLIVEIRA

SENSIBILIDADE DAS ÁRVORES DE SAVANA AMAZÔNICA ÀS ALTAS TEMPERATURAS

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: Dra. Ivone Vieira da Silva
Coorientadora: Dra. Priscila Fernanda Simioni

ALTA FLORESTA-MT

2024

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.

Catalogação na publicação

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

Oliveira, Alisson Dos Santos.
SENSIBILIDADE DAS ÁRVORES DE SAVANA AMAZÔNICA ÀS ALTAS TEMPERATURAS / Alisson Dos Santos Oliveira. - Alta Floresta, 2024.
66f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes Maldonado", Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos/AFL-PPGBIOAGRO - Alta Floresta - Mestrado Acadêmico, Campus Universitário De Alta Floresta.
Orientador: Dra. Ivone Vieira da Silva.

1. Mudanças climáticas. 2. Termotolerância foliar. 3. Savana amazônica. 4. Atributos morfoanatômicos. I. Silva, Dra. Ivone Vieira da. II. Título.

UNEMAT / MTSCB CDU 502(811.3)

SENSIBILIDADE DAS ÁRVORES DE SAVANA AMAZÔNICA ÀS ALTAS TEMPERATURAS

ALISSON DOS SANTOS OLIVEIRA

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.

Aprovada em: dia/mês/ano

_____

Profa. Dra.

Orientadora – UNEMAT/ PPGBioAgro

_____

Prof. Dr.

UNEMAT/ PPGBioAgro

_____

Prof.

UFMT/ FCA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com imensa gratidão e carinho aos meus queridos pais, Maria Aparecida dos Santos Oliveira e Nelson de Oliveira, cujo amor, apoio incondicional e valores moldaram meu caminho acadêmico e pessoal. Ao meu companheiro, Ailton Luiz Passador, que demonstrou uma paciência incomparável, amor, apoio e um companheirismo excepcional ao longo desta jornada. Aos meus sogros, Adão Passador e Rosane Ferreira Passador, pela compreensão, incentivo e suporte constante ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que desempenharam papéis cruciais na realização desta dissertação. Em especial, meu sincero agradecimento ao meu companheiro, Ailton Luiz Passador, cuja contribuições foram fundamentais durante todo o percurso desta jornada acadêmica. Quero expressar minha profunda gratidão à minha orientadora, Dra. Ivone Vieira da Silva, e à minha Coorientadora, Dra. Priscila Fernanda Simioni, pelo fundamental auxílio na construção desta dissertação. Expresso minha profunda gratidão pelo suporte constante e valiosas sugestões, que enriqueceram significativamente a qualidade deste trabalho. Ambas desempenharam papéis cruciais, não apenas como orientadoras acadêmicas, mas também como mentoras que incentivaram meu crescimento profissional e pessoal. Agradeço por compartilharem não apenas seu conhecimento, mas também sua paixão pela pesquisa e aprendizado. Este trabalho é, em grande parte, um reflexo do apoio generoso que recebi de ambas. Ao Dr. SOUZA Araújo de Souza, meus sinceros agradecimentos pela colaboração essencial neste trabalho, contribuindo de maneira fundamental para seu desenvolvimento. À Dra. Maura da Cunha – UENF – RJ, por sua valiosa contribuição e apoio à construção desta dissertação.

À UNEMAT - Universidade do Estado de Mato Grosso, expresso minha gratidão pela oportunidade de realizar este trabalho em um ambiente acadêmico propício ao desenvolvimento do conhecimento. Também não posso deixar de reconhecer o apoio financeiro da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cujo financiamento foi crucial para a realização desta pesquisa. Agradeço o suporte e confiança depositados nesta jornada de descobertas e aprendizado. Aos amigos Larissa Lemes, Eslaine Camichelli, Bruna Cargnin, Jaqueline Amorin, Tânielli De Souza Corbulin, Jennifer R. Gollo, Geovanna Emanuelly, Igor Pereira e Fernando Roveda, agradeço de coração a colaboração fundamental que tiveram na construção desta dissertação. A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta dissertação, meu mais sincero agradecimento.

"O estudo das mudanças climáticas não é apenas uma questão acadêmica, mas sim um imperativo para a sobrevivência e prosperidade de nossa civilização. Ignorar essa busca pelo conhecimento é condenar as gerações futuras a lidarem com as consequências de nossa negligência"

“Hans-Otto Pörtner”

SUMÁRIO

RESUMO 5

ABSTRACT 6

1. INTRODUÇÃO 7

2. MATERIAL E MÉTODOS 10

2.1 Área de estudo e espécies 10

2.2 Folha 11

2.3 Ensaios de tolerância térmica foliar 11

2.4 Parâmetros de tolerância térmica foliar 12

2.5 Margens de segurança térmica 13

2.6 Análises estatísticas 13

3. RESULTADOS 14

3.1 A resposta de temperatura da função PSII 14

3.2 Termotolerância, características foliares termorreguladoras e deciduidade 15

3.3 Margens de segurança térmica e previsões de sensibilidade às altas temperaturas 17

3.4 Características foliares prediz a termotolerância 18

4. DISCUSSÃO 20

4.1 Árvores perenes são mais termotolerantes do que árvores decíduas 21

4.2 As margens de segurança térmica e implicações para o aquecimento global 22

4.5 As características funcionais e a tolerância térmica. 23

5. CONCLUSÃO 24

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 25

APÊNDICE 43

RESUMO

OLIVEIRA, Alisson dos Santos. M.S. Universidade do Estado de Mato Grosso, janeiro de 2014. **Sensibilidade das árvores de savana amazônica às altas temperaturas**. Orientadora: Dra. Ivone Vieira da Silva. Coorientadora: Dra. Priscila Fernanda Simioni.

As mudanças climáticas representam uma ameaça iminente ao planeta, com projeções de aumento de temperatura global, particularmente afetando todos ecossistemas terrestres, como as florestas tropicais. Este estudo investigou a relação entre termotolerância foliar e atributos morfoanatômicos em espécies arbóreas da savana amazônica, visando compreender como as características estruturais podem predizer a capacidade das folhas de lidarem com às altas temperaturas. Realizamos a pesquisa de campo em Nova Canaã do Norte, Mato Grosso, em uma área próxima ao Rio Teles Pires, caracterizada como savana rochosa amazônica. Determinamos a termotolerância foliar e os atributos morfoanatômicos de espécies decíduas e perenes. A maioria das espécies apresentaram limites térmicos superiores acima das temperaturas máximas registradas, e as projeções futuras indicaram estimativas de T_{50} (perda de 50% da função do PSII) alarmantes para estas espécies. Evidenciamos influência significativa do parênquima lacunoso, espessura da epiderme abaxial, espessura da folha, abertura e densidade estomática na termotolerância foliar. Espécies decíduas mostraram maior sensibilidade, indicando uma alta sensibilidade ao aquecimento futuro. Destacamos a proximidade dos limites térmicos das árvores tropicais às temperaturas máximas experimentadas, apontando uma alta sensibilidade ao aquecimento futuro. As espécies decíduas são particularmente sensíveis, sugerindo mudanças drásticas na composição e estrutura das florestas Savana Amazônica. Evidenciamos que certos atributos morfoanatômicos, podem desempenhar papeis cruciais na capacidade das folhas de lidarem com as variações térmicas. Essa descoberta sugere que o entendimento das bases morfoanatômicas pode ser fundamental para prever as respostas das espécies às mudanças climáticas futuras.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Termotolerância foliar, Savana amazônica, Atributos morfoanatômicos.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Alisson dos Santos. M.S. University of the State of Mato Grosso, January 2014. **Sensitivity of Amazonian savannah trees to high temperatures.** Adviser: Dr. Ivone Vieira da Silva. Co-adviser: Dr. Priscila Fernanda Simioni.

Climate change represents an imminent threat to the planet, with projections of an increase in global temperatures, particularly affecting all terrestrial ecosystems, such as tropical forests. This study investigated the relationship between leaf thermotolerance and morphoanatomical attributes in tree species from the Amazon savanna, aiming to understand how structural characteristics can predict the ability of leaves to deal with high temperatures. We carried out field research in Nova Canaã do Norte, Mato Grosso, in an area close to the Teles Pires River, characterized as Amazonian rocky savanna. We determined leaf thermotolerance and morphoanatomical attributes of deciduous and evergreen species. Most species presented upper thermal limits above the maximum recorded temperatures, and future projections indicated alarming T50 estimates (loss of 50% of PSII function) for these species. We evidenced a significant influence of lacune parenchyma, abaxial epidermis thickness, leaf thickness, stomatal opening and density on leaf thermotolerance. Deciduous species showed greater sensitivity, indicating a high sensitivity to future warming. We highlight the proximity of the thermal limits of tropical trees to the maximum temperatures experienced, pointing to a high sensitivity to future warming. Deciduous species are particularly sensitive, suggesting drastic changes in the composition and structure of Amazonian Savanna forests. We demonstrated that certain morphoanatomical attributes can play crucial roles in the ability of leaves to deal with thermal variations. This finding suggests that understanding the morphoanatomical bases may be fundamental for predicting species' responses to future climate change.

Keywords: Climate change, Leaf thermotolerance, Amazonian savanna, Morphoanatomical Traits.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas é uma das ameaças mais iminente para o nosso planeta, tendo implicações profundas em ecossistemas em todo o mundo (IPCC, 2021). Entre os ecossistemas mais vulneráveis a essas mudanças, as florestas tropicais assumem um papel de destaque. Além de abrigarem uma rica diversidade de espécies, desempenham um papel fundamental na regulação do clima global (CORLETT, 2016). As projeções futuras indicam um aumento substancial na temperatura média anual das florestas tropicais, estimando um aumento de 3 a 6°C ao longo deste século (IPCC, 2023). A exposição a temperaturas extremas poderá ter consequências graves para as plantas, ameaçando a sobrevivência de espécies sensíveis, resultando em extinções locais, mudanças na distribuição e alterações na composição da vegetação (SASTRY; BARUA, 2017; ARAÚJO et al., 2021). Modelos globais de previsão para espécies vegetais corroboram essa preocupação, apontando um elevado risco de vulnerabilidade das árvores na Amazônia (HUNTINGFORD et al., 2008).

As espécies tropicais experimentam frequentemente proximidade aos seus limites térmicos máximos absolutos, provavelmente devido à adaptação a longo prazo a temperaturas relativamente estáveis (DEUTSCH et al., 2008; DOUGHTY; GOULDEN, 2008; CHEESMAN; WINTER, 2013; O'SULLIVAN et al., 2017; SASTRY; BARUA, 2017). Esse ajuste pode resultar em nichos térmicos mais estreitos para essas espécies e como a temperatura é um dos principais fatores ambientais que afetam diretamente o desenvolvimento dessas plantas, elas podem se tornar particularmente vulneráveis às mudanças climáticas (DEUTSCH et al., 2008; DOUGHTY e GOULDEN, 2008; CHEESMAN e WINTER, 2013; O'SULLIVAN et al., 2017), À medida que as temperaturas aumentam, as plantas enfrentam desafios consideráveis, que englobam desde o estresse térmico, a escassez de água e a perda de nutrientes no solo (TOOMEY et al., 2011; NIU et al., 2014; ALLEN et al., 2015).

Estudos recentes ressaltaram que o entendimento das respostas das florestas tropicais ao aumento das temperaturas é de extrema importância na previsão das respostas às alterações climáticas (FEELEY et al., 2011; BOOTH et al., 2012). Entretanto, nosso conhecimento dos limites superiores de temperatura das plantas tropicais, vem de um número limitado de estudos e

menores ainda são os que buscam entender se a termotolerância difere entre os tipos funcionais de plantas ou se está relacionada às características estruturais (SASTRY; BARUA, 2017). Árvores perenes e decíduas são importantes tipos funcionais de plantas em florestas tropicais, e as espécies perenes conservam uma parte substancial de sua copa durante todo o ano, adotando uma estratégia conservadora na aquisição de recursos e exibindo menor produtividade (EAMUS, 1999; OUÉDRAOGO et al., 2013). Realizam a fotossíntese, mesmo em períodos desfavoráveis, pois estão expostas a maior variabilidade climática, incluindo variações de temperatura (KUSHWAHA et al., 2011). Em contrapartida, as espécies decíduas enfrentam a seca, liberando a maior parte de suas folhas, entretanto, seguem uma estratégia eficiente na aquisição de recursos, caracterizada por taxas fotossintéticas mais elevadas e uma utilização eficiente de água quando está disponível (EAMUS, 1999; OUÉDRAOGO et al. 2013; SASTRY; BARUA, 2017).

As características estruturais e morfológicas das folhas, também modulam as relações entre a temperatura das folhas e do ar e podem determinar a faixa e os máximos das temperaturas experimentadas (SASTRY; BARUA, 2017). Assim, em resposta ao estresse térmico, as folhas das árvores implementam adaptações fisiológicas, anatômicas e morfológicas, buscando otimizar seu desempenho em ambientes sujeitos a elevadas temperaturas, como a regulação da abertura estomática, ativação de mecanismos bioquímicos para proteger as células contra danos térmicos (DUNLAP; STETTLER, 2001; SASTRY; BARUA, 2017), tecidos especializados que atuam como barreiras físicas e ajudam na redução da absorção excessiva de luz e calor e folhas mais finas ou com características refletoras que contribuem para a modulação da temperatura foliar (GATES et al., 1968; ZHANG et al. 2006; SASTRY; BARUA, 2017; DRAKE et al., 2018; APARECIDO et al., 2020).

Entretanto, apesar dessas adaptações, a exposição das folhas a temperaturas extremas pode levar a danos celulares, comprometendo sua integridade estrutural e funcional (LIN et al., 2012; FISICHELLI et al., 2015). Como a desorganização da estrutura das membranas celulares e a inibição de processos metabólicos essenciais (LUO et al. 2021), além disso, estudos indicam que, à medida que a temperatura foliar ultrapassa o ponto ótimo para a fotossíntese, ocorrem efeitos adversos, como a redução na taxa de fotossíntese

líquida (LIN et al., 2012; LUO et al., 2021). Que é acompanhado pela diminuição da condutância estomática, aumento na respiração mitocondrial e inibição ou desativação da enzima rubisco (PEÑUELAS; LLUSIÀ, 2002; HOZAIN et al., 2009; LUO et al., 2021). Em temperaturas superiores a 35 ºC, as membranas dos tilacóides, localizadas nos cloroplastos, sofrem alterações estruturais (GOUNARIS et al., 1983, 1984). A 40 ºC, há a possibilidade de redução na taxa de transporte de elétrons e a desativação do fotossistema II (PSII), resultando em danos térmicos irreversíveis que podem culminar na morte foliar e, consequentemente, na persistência das espécies ao longo do tempo (ALLAKHVERDIEV et al., 2008; LUO et al., 2021).

Portanto, compreender a adaptabilidade e os limites de tolerância térmica das árvores, torna-se essencial para prever os possíveis impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas vegetais (COOK et al., 2021). Assim, neste estudo quantificamos a tolerância térmica e os atributos morfoanatômicos em dez espécies de árvores tropicais que crescem em Savana Amazônica, para examinar: (1) A tolerância térmica e as características estruturais termorreguladoras variam entre os hábitos foliares das árvores em savana Amazônica? Hipotetizamos que é possível que os hábitos foliares destas árvores se adaptaram a diferentes condições térmicas, resultando em variações na tolerância térmica e nas características estruturais termorreguladoras (SASTRY; BARUA, 2017); (2) As características estruturais termorreguladoras são suficientes para manter margens de segurança térmica mais baixas para as árvores de savana Amazônica à medida que a temperatura do ar aumenta? Hipotetizamos que as características estruturais termorreguladoras destas árvores evoluíram para manter margens de segurança térmica mais baixas à medida que a temperatura do ar aumenta (SIMIONI et al., 2017); (3) As características estruturais das folhas são bons preditores de tolerância térmica para árvores de savana Amazônica? Para a terceira pergunta hipotetizamos que sim, pois características como área foliar específica, densidade de tecido foliar e condutância estomática podem refletir a capacidade das plantas de lidar com variações térmicas e estresses ambientais. (DRAKE et al., 2018; APARECIDO et al., 2020).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e espécies

Realizamos o estudo de campo em uma savana Amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte (10º53'98,7" S e 55º46'68,7" W), próximo às margens do Rio Teles Pires em uma Área de Preservação Permanente no estado de Mato Grosso. Esta vegetação cresce sobre rochas de origem arenítica e é circundada por florestas ombrófilas submontanas densas e abertas (Mato Grosso 2009). Atualmente, essa vegetação é caracterizada como savana rochosa amazônica (PESSOA et al., 2021), visando diferenciá-la das demais savanas que se desenvolvem em solos profundos dispersos e isolados na região amazônica. O clima é classificado como equatorial quente e úmido (Am), de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual superior a 27ºC (ALVARES et al., 2013). A precipitação total anual pode atingir 3.100 mm, com dois períodos bem definidos, um chuvoso (outubro a abril) e um seco (maio a setembro) (ALVARES et al., 2013). A região é caracterizada por diversas unidades geológicas, apresentando topografia que varia desde planícies planas ou suavemente inclinadas até terrenos montanhosos bastante íngremes (BERNASCONI et al., 2009). Além disso, uma diversidade de solos é encontrada na região, sendo que três tipos predominam: argilas vermelho-amarelas, neossolos litólicos e latossolos vermelho-amarelos (BERNASCONI et al., 2009).

Para nosso estudo selecionamos dez espécies arbóreas dominantes na savana Amazônica, sendo cinco perenes; *Macairea radula* (Bonpl.) DC*, Norantea guianensis* Aubl., *Dacryodes microcarpa* Cuatrec., *Myrcia* cf *citrifolia* (Aubl) Urb, *Ficus* cf *mathewsii* (Miq) Miq*. e cinco decíduas; Kielmeyera Rubriflora* Cambess*., Alchornea discolor* Poepp*., Pagamea* cf *thyrsiflora* Spruce ex Benth, *Anacardium occidentale* L. e *Qualea parviflora* Mart. Essas espécies desempenham papéis cruciais na ecologia da savana amazônica, participando de interações complexas com outros organismos desse ecossistema (VIEIRA et al., 2002). Além disso, essas espécies apresentam altas densidades e altos valores de importância estrutural nessa comunidade (alto valor de VI), sendo que algumas, estão estritamente relacionadas à região amazônica, como *Alchornea*

discolor, *Pagamea thyrsiflora* e *Dacryodes microcarpa* (PESSOA et al., 2021). Para cada espécie selecionamos aleatoriamente cinco indivíduos, totalizando 50 indivíduos avaliados.

2.2 Folha

Realizamos as métricas morfoanatômicas em cinco folhas completamente expandidas, para cada indivíduo por espécie. Determinamos a área foliar, com o aparelho integrador de área foliar (Li-cor 3100) em cinco folhas aleatórias para cada indivíduo no mesmo dia da coleta do material. Para investigar a anatomia das folhas, utilizamos cinco folhas aleatórias para cada indivíduo, que foram fixadas em F.A.A. 50 (Johansen 1940) e conservadas em etanol 70% para cada indivíduo, posteriormente, realizamos cortes transversais à mão livre na região mediana das lâminas foliares, utilizando lâminas de aço. Em seguida, submetemos as secções a um processo de clareamento com hipoclorito de sódio (2%) e coramos com fucsina básica e azul de Astra (KRAUS e ARDUIN, 1997). Para a análise da epiderme das folhas, submetemos amostras da lâmina foliar ao método de dissociação de Francklin (JOHANSEN, 1940) e as coramos com fucsina (KRAUS e ARDUIN, 1997). Em seguida, fotografamos as lâminas histológicas das folhas utilizando um fotomicroscópio Leica® ICC50 e realizamos todas as medições anatômicas das folhas (densidade estomática (DES), tamanho estômato (TAE), abertura máxima estomática (AMA), espessura da folha (ESF), cutícula abaxial (CAB), cutícula adaxial (CUA), epiderme abaxial (EAB), epiderme adaxial (EAD), parênquima paliçádico (PAL), parênquima lacunoso (LAC) e área foliar (AFO)) com o auxílio do software Image-Pro Plus 4.0.

2.3 Ensaios de tolerância térmica foliar

Durante o período de fevereiro a março de 2023, procedemos com a coleta de folhas que se encontravam completamente expandidas, posicionadas em pleno sol e isentas de quaisquer agentes patogênicos. Com o objetivo de estimar a fluorescência da clorofila adaptada ao escuro (Fv/Fm), cada folha foi cuidadosamente cortada, mantida imersa em água para evitar a formação de condições anaeróbicas, conforme recomendado por Harris & Heber (1993). A

partir de cada folha, obtivemos 2 discos de 0,8 cm de raio, sempre assegurando que a nervura central não fosse afetada. Cada disco foliar foi posteriormente envolto em papel toalha umedecido e colocado em um saco plástico selado 30×100 mm). Esses sacos plásticos foram organizados em grupos contendo cinco discos, sendo cada grupo submetido a uma temperatura específica durante 15 minutos, variando de 30 a 70 ºC (30, 32, 35 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 65 e 70 ºC). Para efeito de comparação, os discos que não foram submetidos a esse procedimento foram designados como grupo controle. Após a exposição aos diferentes tratamentos de temperatura, os discos foliares foram mantidos em condições de total escuridão por um período de 30 minutos antes de procedermos com a medição da fluorescência da clorofila adaptada ao escuro (Fv/Fm), utilizando o aparelho fluorômetro da Opti-Sciences (0S5p+Chlorophyll Fluorometer).

2.4 Parâmetros de tolerância térmica foliar

Realizamos a mensuração da resposta da fluorescência da clorofila adaptada ao escuro (Fv/Fm), que é uma estimativa do potencial máximo quântico do fotossistema II (PSII), em diversas temperaturas distintas. A diminuição nos valores desse parâmetro indica a perda de eficiência do PSII, fenômeno amplamente documentado como fotoinibição (GUIDI et al., 2019). A primeira informação relevante obtida a partir da curva de Kautsky foi a relação Fv/Fm (KRAUSE et al., 1988), que posteriormente se tornou um indicador crucial para a detecção da fotoinibição do PSII provocada por fatores ambientais adversos (KRAUSE; WEIS, 1991; KALAJI et al., 2017). Para calcular essa proporção, aplicamos um feixe de medição modulado com baixa intensidade para determinar o rendimento mínimo de fluorescência em uma folha adaptada ao escuro (F0) e, em seguida, aplicamos um flash de saturação para induzir o rendimento máximo de fluorescência da clorofila (Fm). A relação Fv/Fm, representada como [(Fm - F0) / Fm], é uma medida da eficiência fotoquímica máxima do PSII e é usada para identificar a redução na função dos centros de reação do PSII (Öquist et al., 1992). Os valores típicos de Fv/Fm geralmente

variam entre 0,70 e 0,85 e estão diretamente relacionados com o rendimento quântico da reação fotoquímica (KITAJIMA; BUTLER, 1975).

Posteriormente, para estimar o ponto em que ocorre a perda de 50% da função do fotossistema II (T_{50}), empregamos uma curva sigmoide com quatro parâmetros logísticos, ajustando-a aos valores de Fv/Fm ao longo do intervalo de temperaturas estudado. Este ajuste foi realizado utilizando o pacote estatístico R 'drc' (RITZ et al., 2015). Observamos que o modelo de quatro parâmetros, com a assíntota inferior estabelecida como zero, produziu curvas adequadas. As temperaturas nas quais a redução de Fv/Fm atingiu 50% da assíntota superior (T_{50}), foram derivadas a partir dessas curvas, assim como o T_5 (50%), T_{95} (95%) e declive.

2.5 Margens de segurança térmica

Estimamos a margem de segurança térmica (TSm) para cada espécie nas condições climáticas atuais, que foi calculada como T_{50} - (TMax), afim de representar a vulnerabilidade potencial da espécie ao aquecimento regional (CURTIS et al., 2016; O'SULLIVAN et al., 2017; ARAÚJO et al., 2021). Nesse estudo TMax_ar = 48,08 °C é a temperatura máxima do ar registrada nos últimos 10 anos por uma estação meteorológica instalada no Campus Universitário de Alta Floresta – UNEMAT (MATO GROSSO, 2023). Para avaliarmos as margens de segurança térmica sob condições simuladas de aumento de temperatura, criamos dois modelos com TSm+3 °C e TSm+5 °C, adicionando esses incrementos à temperatura máxima atual (TMax_ar = 48,08 °C) registrada para região (SASTRY; BARUA, 2017; O'SULLIVAN et al., 2017, ARAÚJO et al., 2021).

2.6 Análises estatísticas

Comparamos a tolerância térmica e as características estruturais termorreguladoras entre os hábitos foliares (perene vs. decídua) usando o teste t de permutação com o pacote *RVAideMemoire* (HERVÉ 2021). Usando todo o nosso conjunto de dados na savana Amazônica, avaliamos quais grupos de características estruturais termorreguladoras (morfológica e anatômica) eram os

melhores preditores de tolerância térmica (T_5, T_{50} e T_{95}) da savana amazônica. Especificamente, realizamos modelos SMA bivariados para investigar as relações entre características estruturais termorreguladoras (densidade estomática (DES), tamanho estômato (TAE), abertura máxima estomática (AMA), espessura da folha (ESF), cutícula abaxial (CAB), cutícula adaxial (CUA), epiderme abaxial (EAB), epiderme adaxial (EAD), parênquima paliçádico (PAL), parênquima lacunoso (LAC) e área foliar (AFO)) versus as perdas de eficiência quântica fotossintética do PSII com o pacote *SMATR* (WARTON et al., 2012). Para explicar a influência dos testes múltiplos, aplicamos uma correção de Bonferroni aos valores de *P* para regressões bivariadas. Realizamos todas as análises no software R, versão 4.2.1 (R Core Team, 2022), considerando 5% de nível de significância.

3. RESULTADOS

3.1 A resposta de temperatura da função PSII

O F_v/F_m adaptado ao escuro variou cerca de 0,6 a 0,7 na temperatura controle (25°C) em todas as espécies, e isso permaneceu inalterado até que as temperaturas aumentassem acima de 35°C (Figs. S1 – S10). Houve um declínio acentuado em F_v/F_m após 45°C, e a 53°C este foi reduzido a valores insignificantes para as espécies mais sensíveis, mas não para as espécies tolerantes que reduziram F_v/F_m após 56°C (Tabela S1). As estimativas de T_5 (perda de 5% da função do PSII e indica uma interrupção na integridade do Fotossistema II) diferiu significativamente entre os hábitos foliares (isto é, perene e decíduo), que mostraram T_5 mais alto para as espécies decíduas do que para as espécies perenes (Fig. 1a) e variou de 36°C para as espécies mais sensíveis, a 47°C nas espécies mais termotolerantes. Por outro lado, as estimativas de T_{50} (perda de 50% da função do PSII e quando ocorre danos permanentes ao Fotossistema II) foram diferentes entre as espécies, sendo o menor de 46°C em *Alchornea discolor* e o maior de 51°C em *Anacardium occidentale* (Fig.S1 e S3). Enquanto o T_{95} (perda de 95% da função do PSII) também variou entre as espécies, sendo o menor valor 53°C em *Kielmeyera rubriflora* o maior valor 60

°C em *Dacryodes microcarpa* (Figs. S5 e S7), embora ambos (T_{50} e T_{95}) não tenham diferido entre os hábitos foliares (Figs. 1b-c).

Observamos em nossos resultados que a fluorescência da clorofila adaptada ao escuro (F_v/F_m) não variou entre as temperaturas de 30°C e 40°C para a maioria das espécies avaliadas, exceto para *Alchornea discolor* e *Norantea guianensis* que apresentaram declínios dos valores de (F_v/F_m) entre 35°C e 40°C (Figs. S1 e S2 Tabela S1). Evidenciamos um declínio em F_v/F_m para todas as espécies após a temperatura de 40°C, entre as temperaturas de 45 °C e 50°C as espécies apresentaram uma redução de 50% da função do PSII, exceto *Anacardium occidentale* (Fig. S3) que apresentou reduções apenas entre as temperaturas 50°C e 55°C. Ao atingir as temperaturas entre 55°C e 60°C as espécies demonstraram valores de (F_v/F_m) próximos de zero (Figs. S1 a S10).

3.2 Termotolerância, características foliares termorreguladoras e deciduidade

Em geral, as estimativas de termotolerância foliar não variaram entre os hábitos foliares, exceto o (T_5) que foi maior para as árvores decíduas do que para as perenes (Fig. 1a; Tabela S3). Em contrapartida, o declive que é a temperatura em que ocorre o ponto de ruptura (T_5) e largura de declínio, em que a janela de temperatura de F_v/F_m diminui de 95% para 5% do F_v/F_m máximo, foi maior para as árvores perenes comparado as árvores decíduas (Fig. 1d). Além disso, não encontramos diferenças significativas para todas as características foliares termorreguladoras entre os hábitos foliares (Figs. 1e-n).

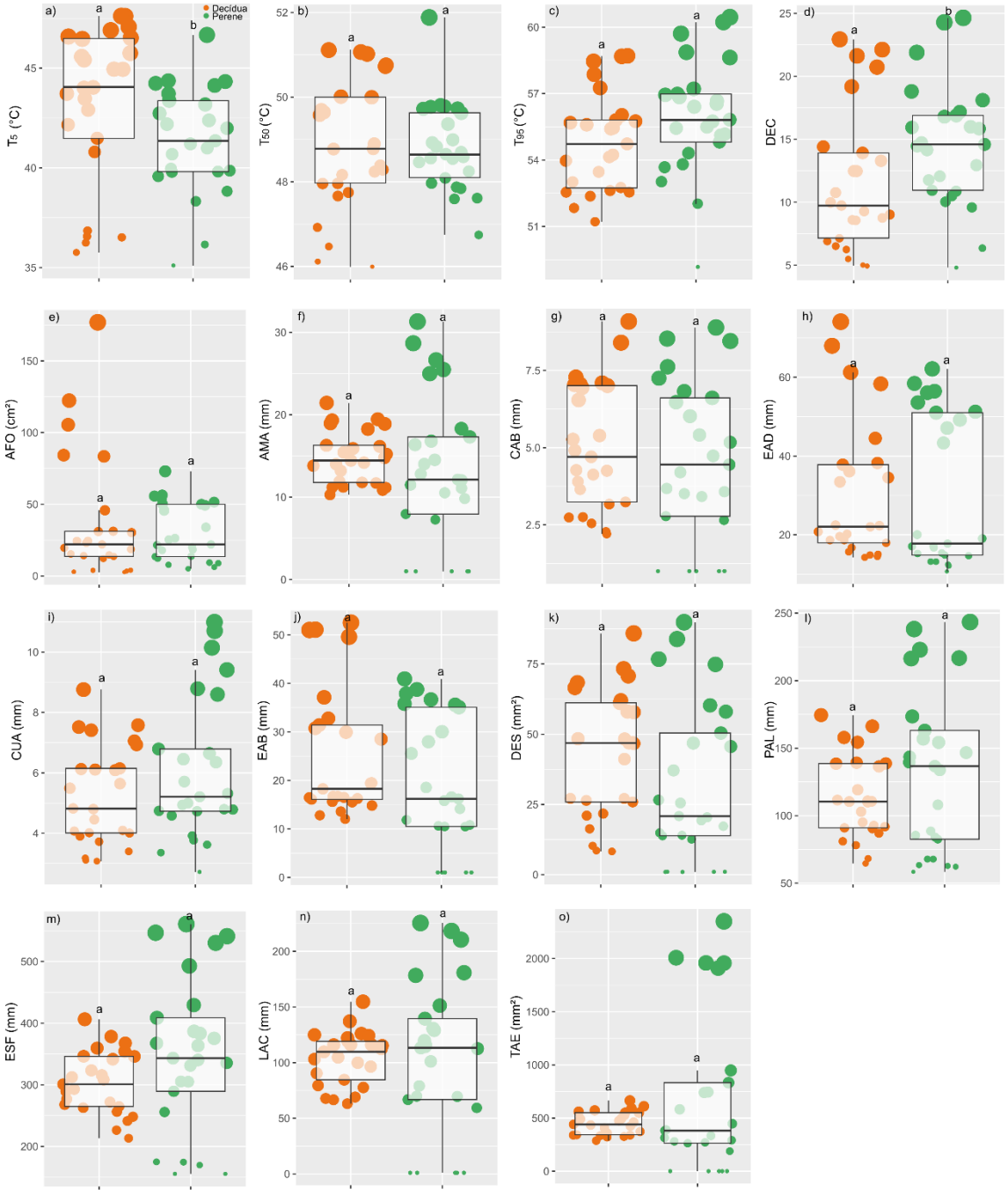

Figura 1. Variação das estimativas de termotolerância e características foliares entre os hábitos foliares para árvores da savana amazônica. Perda de 5% da função do PSII (T_5), perda de 50% da função do PSII (T_{50}), perda de 95% da função do PSII (T_{95}) e declínio (DEC) que é a temperatura onde ocorre o ponto de ruptura (T_5) e largura de declínio, em que a janela de temperatura de F_v/F_m diminui de 95% para 5% do F_v/F_m máximo. Área foliar (AFO), abertura máxima estomática (AMA), cutícula abaxial (CAB), epiderme adaxial (EAD), cutícula adaxial (CUA), epiderme abaxial (EAB), densidade estomática (DES),

parênquima paliçádico (PAL), espessura da folha (ESF), parênquima lacunoso (LAC) e tamanho do estômato (TAE).

3.3 Margens de segurança térmica e previsões de sensibilidade às altas temperaturas

As espécies apresentaram limites térmicos superiores para a função foliar que foram maiores do que a temperatura máxima diária do ar registrada nesta região nos últimos dez anos (48,08 °C), exceto para *Alchornea discolor* e *Norantea guianensis* (Fig. 2; Tabela S1), que já operam acima do seu limite de temperatura. As margens de segurança térmica (TSM) variaram de cerca de -1 °C a mais de 3°C (Fig. 2; Tabela S1). Em climas futuros com um aumento de temperatura 3°C, a TSM para essas espécies é reduzida, variando de cerca de -4°C a -0.14°C, resultando em TSMs negativas para todas as espécies. Um aumento de 5°C, promoverá um colapso da função foliar para todas as espécies, visto que já são sensíveis ao aumento de 3°C, e em 5°C colocaria essas espécies em limites críticos de temperatura, o que implicaria que as espécies avaliadas experimentarão temperaturas do ar mais altas aos seus limites térmicos superiores (Fig. 2, Tabela S1).

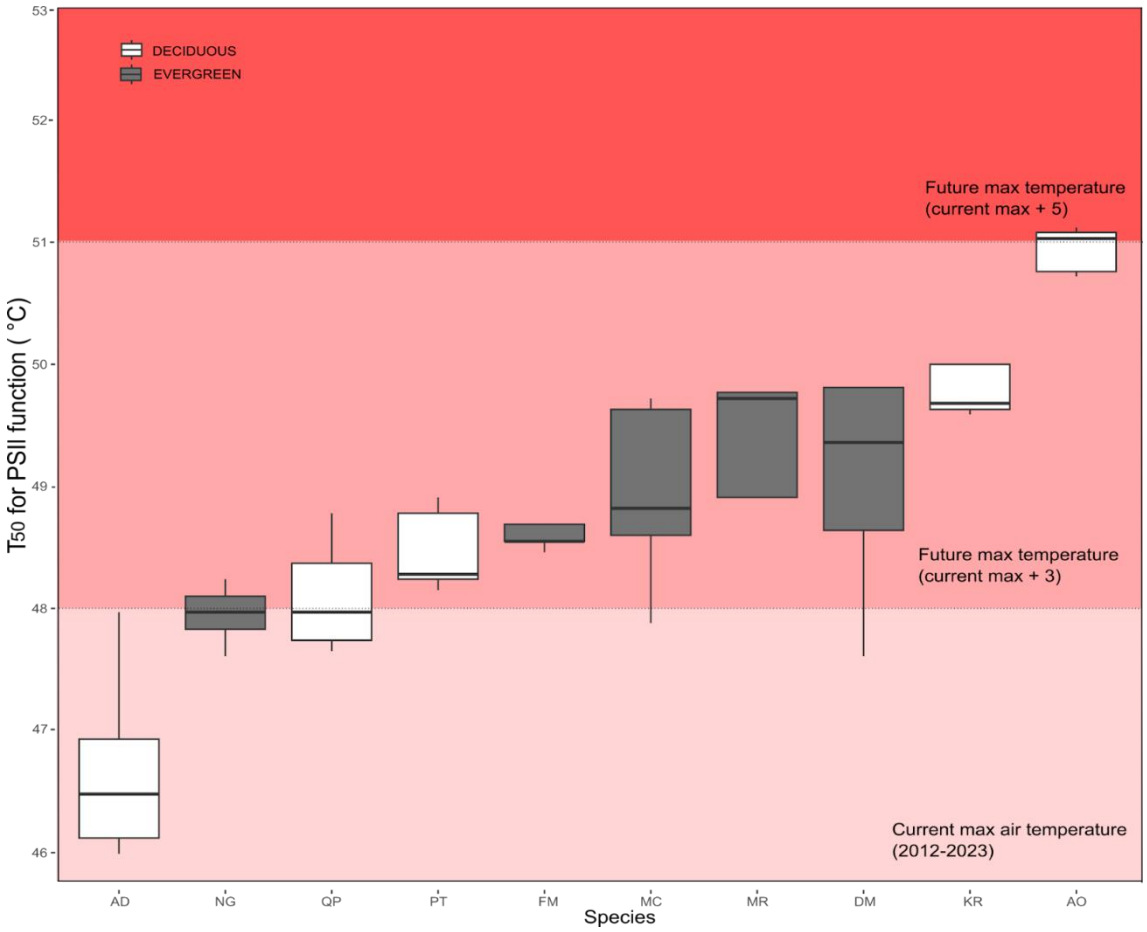

Figura 2. Variação do T_{50} da função PSII (F v / F m - fluorescência da clorofila adaptada ao escuro) de espécies decíduas e perenes dominantes em vegetação de savana amazônica, com um aumento de 3°C e 5°C na temperatura máxima registrada. Os nomes das espécies são fornecidos na Tabela Suplementar S1 e S2. As barras de erro representam intervalos de confiança de 95%.

3.4 Características foliares prediz a termotolerância

A tolerância térmica (T_{50}) está relacionada negativamente com o parênquima lacunoso ($P = < 0,05$, R^2: 0,28, LAC), espessura da epiderme abaxial ($P = < 0,05$, R^2: 0,17, EAB), espessura da folha ($P = < 0,05$, R^2: 0,18, ESF), abertura máxima do poro estomático ($P = < 0,05$, R^2: 0,22, AMA) (Figs. 3b-d e 3e, Tabela S2) e positivamente relacionado com a densidade estomática ($P = < 0,05$, R^2: 0,19, DES) (Fig. 3f, Tabela S2 e S4).

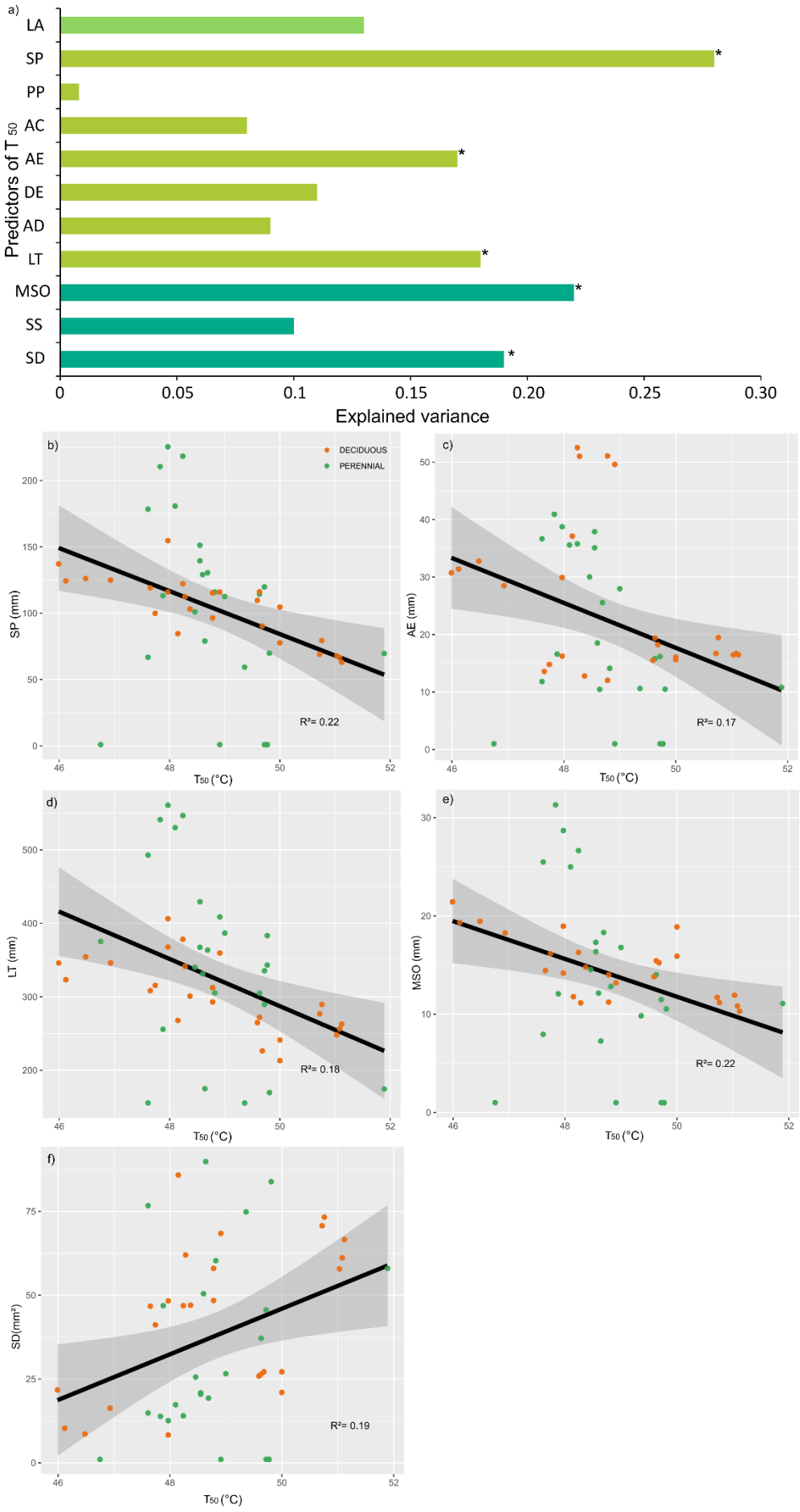
a)
LA
SP
PP
AC
AE
DE
AD
LT
MSO
SS
SD
Predictors of T 50
0
0.05
0.1
0.15
0.20
0.25
0.30
Explained variance
b)
DECIDUOUS
PERENNIAL
SP (mm)
R²= 0.22
T50 (°C)
c)
AE (mm)
R²= 0.17
T50 (°C)
d)
LT (mm)
R²= 0.18
T50 (°C)
e)
MSO (mm)
R²= 0.22
T50 (°C)
f)
SD(mm²)
R²= 0.19
T50 (°C)

Figura 3. Variância explicada por preditores individuais ao usar modelos SMA para prever a tolerância térmica (T_{50}, definido como a perda de 50% da função do PSII) e as características estruturais termorreguladoras das plantas. Área foliar (AFE), parênquima lacunoso (LAC), parênquima paliçádico (PAL), cutícula abaxial (CAB), epiderme abaxial (EAB), epiderme adaxial (EAD), cutícula adaxial (CUA), espessura da folha (ESF), abertura máxima do poro estomático (AMA), tamanho do estômato (TAE) e densidade estomática (DES). (Figura a). O asterisco denota relações bivariadas estatisticamente significativas após correção para testes de múltiplas hipóteses, usando $P < 0,05$ corrigido por Bonferroni. Os resultados estatísticos para todas as variáveis preditoras consideradas são mostrados nos dados suplementares na Tabela S2. As relações significativas entre a tolerância térmica e as características foliares são mostradas nas Figuras (3b-f).

4. DISCUSSÃO

A variação na termotolerância e nas margens de segurança térmica observada nas espécies avaliadas, indicaram que estas espécies podem ser vulneráveis e serão afetadas de forma diferente pelo aquecimento futuro. É importante ressaltar que a variação na termotolerância não foi aleatória, mas foi maior para espécies decíduas do que para espécies perenes. Os resultados destacam uma relação negativa entre o T_{50} e a espessura da folha (ESF). Folhas mais finas demonstram maior eficiência na dissipação de calor e regulação térmica, corroborando a relação inversa entre o T50 e a espessura da epiderme abaxial (EAB) e do parênquima lacunoso (LAC), tecidos envolvidos na regulação da transpiração e na dissipação de calor. Além disso, observou-se uma relação negativa entre o T50 e a abertura máxima estomática (AMA), indicando que folhas com menor abertura estomática são mais termotolerantes, pois minimizam a perda de água e mantêm um equilíbrio entre a entrada de CO2 para a fotossíntese e a perda de água por transpiração. A densidade estomática foi o único fator com relação positiva ao T50, sugerindo que folhas mais densamente estomáticas podem ser mais termotolerantes. As espécies de savana amazônica, demonstraram alta sensibilidade às temperaturas extremas e as reduzidas margens de segurança térmica identificadas neste estudo sugerem

potencial vulnerabilidade dessas espécies ao aquecimento futuro. Essa observação está alinhada com o que foi indicado para outros organismos tropicais, que também consideraram as plantas (DOUGHTY; GOULDEN, 2008; DEUTSCH et al., 2008).

4.1 Árvores perenes são mais termotolerantes do que árvores decíduas

As estimativas de termotolerância foliar nos diferentes hábitos foliares, não variou significativamente, com exceção do T_5, que foi maior para árvores decíduas em comparação com as perenes, entretanto, observamos uma diferença significativa no declive. Neste aspecto, as árvores perenes mostraram um declive maior em comparação com as árvores decíduas, ou seja, embora espécies decíduas demonstrem maior resistência a ruptura inicial do PSII, árvores perenes tendem a ter uma largura de declínio maior, resistindo por mais tempo às altas temperaturas. Este fenômeno pode ser atribuído porque espécies perenes mantêm suas folhas durante todo o ano, enquanto as espécies deciduais liberam suas folhas sazonalmente (SASTRY; BARUA, 2017). Isso permite que as plantas perenes continuem a realizar a fotossíntese, mesmo em períodos menos favoráveis, além disso, a vida útil mais longa das folhas em espécies perene implica que essas plantas estão expostas a uma variedade maior de condições ambientais (KUSHWAHA et al., 2011), o que pode ser um fator determinante na necessidade de desenvolver uma maior termotolerância como uma estratégia adaptativa (EAMUS D., 1999; WRIGHT et al., 2005; SASTRY; BARUA, 2017).

Apesar das diferenças encontradas em relação ao T5 e ao declive, não foram observadas diferenças significativas em todas as características foliares analisadas entre os hábitos foliares. Isso sugere que, apesar das variações em algumas propriedades específicas, as estratégias gerais de termorregulação foliar parecem ser semelhantes entre árvores decíduas e perenes. Ou seja, para otimizar a fotossíntese, a transpiração e outras funções foliares, essas espécies podem apresentar estratégias semelhantes de termorregulação, independentemente do hábito de deciduidade. O que corrobora com estudos anatômicos realizados anteriormente na mesma área de estudo, que encontrou 17 características que foram consideradas chaves para espécies de ambiente

de savana, e que estas espécies apresentaram um conjunto bem definido de características anatômicas relacionadas a caracteres de ambiente xerófilo, indicando que a estrutura das espécies de plantas da savana amazônica é provavelmente moldada pelo determinismo do ambiente (SIMIONI et al., 2017).

4.2 As margens de segurança térmica e implicações para o aquecimento global

Em nossas simulações em temperaturas atuais, as margens de segurança térmica variaram cerca de -1°C para as espécies mais sensíveis como; *Alchornea discolor* e *Norantea guianensis*, que possuem ampla distribuição na Amazônia e habitam diferentes formações florestais (VIEIRA et al., 2002), e a 3°C para as mais tolerantes (*Kielmeyera rubriflora* e *Anacardium occidentale*). Contudo, para a maioria das espécies, os limiares da temperatura, já é ultrapassado no pico da estação quente, onde as temperaturas locais já estão atingindo níveis em que ocorre a perda irreversível da atividade do PSII. No futuro, acredita-se que tais períodos se tornem mais frequentes, devido as mudanças climáticas (YAO et al., 2013) e durante a estação seca/quente, a disponibilidade limitada de umidade no solo restringe a abertura dos estômatos. É possível que isso resulte em temperaturas foliares que superem as temperaturas do ar em períodos mais quente do dia (KRAUSE et al., 2010; SLOT; WINTER, 2016).

Em climas futuros considerando um aumento de 3°C na temperatura (IPCC 2023), a TSM dessas espécies é reduzida, variando de cerca de -4°C para as espécies mais sensíveis a -0.14°C para as mais tolerantes, resultando em TSMs negativas para todas as espécies. A diminuição nas TSMs, sugere que sob um cenário de aumento de temperatura de 3°C, essas espécies podem enfrentar dificuldades significativas para sobreviverem em seus habitats naturais, comprometendo a funcionalidade do aparato fotossintético (LIN et al., 2012; PEÑUELAS; LLUSIÀ, 2002; HOZAIN et al., 2009), e na dissociação do complexo responsável pela evolução do oxigênio (OEC), resultando em um desbalanço entre o fluxo de elétrons do OEC para a região aceptora do PSII em direção aos centros de reações do PSI (DE RONDE et al., 2004). Esse risco pode ser ainda mais acentuado, considerando as características de savanas

durante o período seco, que apresenta alta irradiância e baixa disponibilidade hídrica (AMEYE et al., 2012; BAUWERAERTS et al., 2014). Um aumento de 5°C promoverá um colapso do aparato fotossintético para todas as espécies e consequentemente, a morte foliar, visto que já apresentaram sensibilidades ao aumento de 3°C, e em 5°C colocaria essas espécies em limites críticos de temperatura, o que implica que elas experimentarão temperaturas do ar mais altas do que seus limites térmicos superiores.

4.5 As características funcionais e a tolerância térmica.

Através dos resultados obtidos podemos indicar uma relação negativa entre o T50 e a espessura da folha (ESF). A espessura das folhas está relacionada com a eficiência na troca de calor, regulação hídrica e adaptação ao ambiente em que a árvore cresce, em geral, folhas mais finas podem ser associadas à maior eficiência na dissipação de calor e na regulação térmica (ARAÚJO et al., 2021). O que corrobora com nossos resultados que indicaram que folhas com menor espessura na epiderme abaxial (EAB), e no parênquima lacunoso (LAC), tendem a ser mais termotolerantes. A epiderme abaxial é um tecido responsável pela regulação da transpiração e proteção da planta e se ajusta em relação à intensidade da luz (SIMIONI et al., 2017), e como a epiderme abaxial tende a ficar em menor contato com a radiação solar, tende a ser menos espessa, facilitando a dissipação de calor e auxiliando na regulação térmica. Sabemos que o parênquima lacunoso, com suas lacunas intercelulares, pode facilitar a transpiração da planta, auxiliando no resfriamento da folha e na circulação interna de ar dentro do tecido vegetal, contribuindo para a dissipação do calor acumulado. Além disso, esse tecido pode armazenar água, e geram interfaces ar-água, que refletem e refratam a luz possibilitando a difusão luminosa (MAJEROWICZ, 2004). Essas características, somadas a uma menor espessura deste tecido, pode contribuir em maior eficiência na dissipação de calor.

A relação negativa também ocorreu entre o T_{50} e a abertura máxima estomática (AMA), evidenciando que folhas com menor abertura estomática são mais termotolerantes, pois folhas com menor abertura estomática minimizam a

perda de água, ajudando na conservação hídrica em condições de calor, mantendo uma relação equilibrada entre a entrada de CO_2 para a fotossíntese e a minimização da perda de água por transpiração (MAHAN; UPCHURCH, 1988; BLONDER; MICHALETZ, 2018). A única relação positiva com o T_{50}, foi a densidade estomática, sugerindo que folhas com maior densidade de estômatos podem ser mais termotolerantes. Maior densidade estomática favorece maior eficiência na troca gasosa, permitindo uma regulação mais eficaz da temperatura interna da folha, e na liberação de calor por meio da evaporação da água (BANON et al., 2004; DUNLAP; STETTLER, 2001). Além disso, uma densidade estomática elevada pode estar associada a uma capacidade de respostas rápidas e flexíveis as mudanças de temperatura (ZHANG et al., 2006; LIU et al., 2006; FERRIS et al., 1996; SEVIK et al., 2016; BANON et al., 2004; DUNLAP; STETTLER 2001).

5. CONCLUSÃO

Evidenciamos que os limites térmicos superiores dessas árvores de savanas amazônicas estão sendo afetados pelas temperaturas máximas experimentadas, e as margens de segurança térmica para a função foliar variaram de valores extremamente reduzidos. Isso implica que a maioria dessas espécies, presentes nas savanas amazônicas, provavelmente serão afetadas pelo aumento das temperaturas, representando um desafio significativo para a ecologia dessas áreas. É importante ressaltar que através dos nossos resultados podemos indicar que espécies com maior espessura da lâmina foliar, da epiderme abaxial e do parênquima lacunoso, bem como, maior abertura máxima estomática e menor densidade estomática, são mais sensíveis a extremos de temperatura elevada, estando, portanto, mais propensas a serem impactadas negativamente pelo aquecimento global. Essa vulnerabilidade, sugere que tais espécies estão mais suscetíveis a impactos negativos decorrentes do aquecimento global. Além disso, a evidência de vulnerabilidade diferenciada ao aumento de temperaturas aponta para potenciais alterações na composição da vegetação das savanas amazônicas podendo sofrer declínios populacionais mais acentuados diante do cenário de aquecimento global. Essa mudança na dinâmica populacional pode levar a uma modificação na estrutura da

comunidade vegetal, impactando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados às savanas amazônicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAKHVERDIEV, Suleyman I.; KRESLAVSKI, Vladimir D.; KLIMOV, Vyacheslav V.; LOS, Dmitry A.; CARPENTIER, Robert; MOHANTY, Prasanna. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. **Photosynthesis Research**, [S.L.], v. 98, n. 1-3, p. 541-550, 22 jul. 2008. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11120-008-9331-0.

ALLEN, Craig D.; MACALADY, Alison K.; CHENCHOUNI, Haroun; BACHELET, Dominique; MCDOWELL, Nate; VENNETIER, Michel; KITZBERGER, Thomas; RIGLING, Andreas; BRESHEARS, David D.; HOGG, E.H. (Ted). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 259, n. 4, p. 660-684, fev. 2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. http://dx.doi.org/10.1127/0941-294

AMEYE, M., I. M. Wertin, I. BAUWERAERTS, M. A. MCGUIRE, R. O. TESKEY & K. STEPPE (2012) The effect of induced heat waves on Pinus taeda and Quercus rubra seedlings in ambient and elevated CO 2 atmospheres. **New Phytologist**, 196, 448-461.

ARAÚJO, Igor; MARIMON, Beatriz S.; SCALON, Marina C.; CRUZ, Wesley J.A.; FAUSET, Sophie; VIEIRA, Tiffani C.s.; GALBRAITH, David R.; GLOOR, Manuel U.. Intraspecific variation in leaf traits facilitates the occurrence of

trees at the Amazonia–Cerrado transition. **Flora**, [S.L.], v. 279, p. 151829, jun. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2021.151829.

ARAÚJO, Igor; MARIMON, Beatriz s; SCALON, Marina C; FAUSET, Sophie; MARIMON JUNIOR, Ben Hur; TIWARI, Rakesh; GALBRAITH, David R; GLOOR, Manuel u. Trees at the Amazonia-Cerrado transition are approaching high temperature thresholds. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 034047, 1 mar. 2021. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abe3b9.

BALL, Mc; COWAN, Ir; FARQUHAR, Gd. Maintenance of Leaf Temperature and the Optimisation of Carbon Gain in Relation to Water Loss in a Tropical Mangrove Forest. **Functional Plant Biology**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 263, 1988. CSIRO Publishing. http://dx.doi.org/10.1071/pp9880263.

BAUWERAERTS, I., M. AMEYE, T. M. WERTIN, M. A. MCGUIRE, R. O. Teskey & K. Steppe (2014) Water availability is the decisive factor for the growth of two tree species in the occurrence of consecutive heat waves. **Agricultural and forest meteorology,** 189, 19-29.

BERNASCONI, P. et al.. **Avaliação ambiental integrada: Território Portal da Amazônia**. 1. ed. Alta Floresta: Instituto Centro de Vida, 2009. 108 p.

BIERAS, Angela Cristina; SAJO, Maria das Graças. Leaf structure of the cerrado (Brazilian savanna) woody plants. **Trees**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 451-471, 2 dez. 2008. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s00468-008-0295-7.

BINKS, Oliver; MEIR, Patrick; ROWLAND, Lucy; COSTA, Antonio Carlos Lola da; VASCONCELOS, Steel Silva; OLIVEIRA, Alex Antonio Ribeiro de; FERREIRA, Leandro; MENCUCCINI, Maurizio. Limited acclimation in leaf anatomy to experimental drought in tropical rainforest trees. **Tree Physiology**, [S.L.], v. 36, n. 12, p. 1550-1561, 10 set. 2016. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpw078.

BLONDER, Benjamin; MICHALETZ, Sean T.. A model for leaf temperature decoupling from air temperature. **Agricultural And Forest Meteorology**,

[S.L.], v. 262, p. 354-360, nov. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.07.012.

BOOTH, Ben B B; JONES, Chris D; COLLINS, Mat; TOTTERDELL, Ian J; COX, Peter M; SITCH, Stephen; HUNTINGFORD, Chris; A BETTS, Richard; HARRIS, Glen R; LLOYD, Jon. High sensitivity of future global warming to land carbon cycle processes. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 024002, 11 abr. 2012. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024002.

CAI, Wenju; SANTOSO, Agus; WANG, Guojian; WELLER, Evan; WU, Lixin; ASHOK, Karumuri; MASUMOTO, Yukio; YAMAGATA, Toshio. Increased frequency of extreme Indian Ocean Dipole events due to greenhouse warming. **Nature**, [S.L.], v. 510, n. 7504, p. 254-258, jun. 2014. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/nature13327.

CAIONI, C. .; CAIONI, S. .; SILVA, A. C.; PARENTE, T. .; ARAÚJO, O. . Análise da distribuição pluviométrica e de ocorrência do fenômeno climático ENOS no município de Alta Floresta-mt. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, *[S. l.]*, v. 10, n. 19, 2014.

CHEESMAN, Alexander W.; WINTER, Klaus. Growth response and acclimation of CO2 exchange characteristics to elevated temperatures in tropical tree seedlings. **Journal Of Experimental Botany**, [S.L.], v. 64, n. 12, p. 3817-3828, 19 jul. 2013. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ert211.

COOK, Alicia M.; BERRY, Neil; MILNER, Kirsty V.; LEIGH, Andrea. Water availability influences thermal safety margins for leaves. **Functional Ecology**, [S.L.], v. 35, n. 10, p. 2179-2189, 8 jul. 2021. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.13868.

CORLETT, Richard T.. Plant diversity in a changing world: status, trends, and conservation needs. **Plant Diversity**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 10-16, fev. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.pld.2016.01.001.

CURTIS, Ellen M.; GOLLAN, John; MURRAY, Brad R.; LEIGH, Andrea. Native microhabitats better predict tolerance to warming than latitudinal

macro-climatic variables in arid-zone plants. **Journal Of Biogeography**, [S.L.], v. 43, n. 6, p. 1156-1165, 3 mar. 2016. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/jbi.12713.

DEUTSCH, Curtis A.; TEWKSBURY, Joshua J.; HUEY, Raymond B.; SHELDON, Kimberly S.; GHALAMBOR, Cameron K.; HAAK, David C.; MARTIN, Paul R.. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 6 maio 2008. Proceedings of the National Academy of Sciences. http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0709472105.

DEUTSCH, Curtis A.; TEWKSBURY, Joshua J.; HUEY, Raymond B.; SHELDON, Kimberly S.; GHALAMBOR, Cameron K.; HAAK, David C.; MARTIN, Paul R.. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 6 maio 2008. Proceedings of the National Academy of Sciences. http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0709472105.

DOUGHTY, Christopher E.; GOULDEN, Michael L.. Are tropical forests near a high temperature threshold? **Journal Of Geophysical Research**: Biogeosciences, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 1-1, mar. 2008. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/2007jg000632.

DOUGHTY, Christopher E.; GOULDEN, Michael L.. Are tropical forests near a high temperature threshold? **Journal Of Geophysical Research**: Biogeosciences, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 1-1, mar. 2008. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/2007jg000632.

DRAKE, B. G.; RASCHKE, K.; SALISBURY, F. B.. Temperature and Transpiration Resistances of Xanthium Leaves as Affected by Air Temperature, Humidity, and Wind Speed. **Plant Physiology**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 324-330, 1 ago. 1970. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1104/pp.46.2.324.

DRUCKER, Debora Pignatari; COSTA, Flávia Regina Capellotto; MAGNUSSON, William E.. How wide is the riparian zone of small streams in tropical forests? A test with terrestrial herbs. **Journal Of Tropical Ecology**,

[S.L.], v. 24, n. 1, p. 65-74, jan. 2008. Cambridge University Press (CUP). http://dx.doi.org/10.1017/s0266467407004701.

DUNLAP, J M; STETTLER, R F. Variation in leaf epidermal and stomatal traits of Populus trichocarpafrom two transects across the Washington Cascades. **Canadian Journal Of Botany**, [S.L.], v. 79, n. 5, p. 528-536, 1 maio 2001. Canadian Science Publishing. http://dx.doi.org/10.1139/b01-029.

EAMUS, Derek. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends In Ecology & Evolution**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 11-16, jan. 1999. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01532-8.

EAMUS, Derek. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends In Ecology & Evolution**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 11-16, jan. 1999. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01532-8.

EMILIO, Thaise; PEREIRA, Havle; COSTA, Flávia R. C.. Intraspecific Variation on Palm Leaf Traits of Co-occurring Species—Does Local Hydrology Play a Role? **Frontiers In Forests And Global Change**, [S.L.], v. 4, p. 1-1, 1 set. 2021. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/ffgc.2021.715266.

ENGELBRECHT, Bettina M. J.; COMITA, Liza S.; CONDIT, Richard; KURSAR, Thomas A.; TYREE, Melvin T.; TURNER, Benjamin L.; HUBBELL, Stephen P.. Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. **Nature**, [S.L.], v. 447, n. 7140, p. 80-82, maio 2007. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/nature05747.

ESSEMINE, Jemaa; XIAO, Yi; QU, Mingnan; MI, Hualing; ZHU, Xin-Guang. Cyclic electron flow may provide some protection against PSII photoinhibition in rice (Oryza sativa L.) leaves under heat stress. **Journal Of Plant Physiology**, [S.L.], v. 211, p. 138-146, abr. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2017.01.007.

FAUSET, Sophie; FREITAS, Helber C.; GALBRAITH, David R.; SULLIVAN, Martin J.P.; AIDAR, Marcos P.M.; JOLY, Carlos A.; PHILLIPS, Oliver L.; VIEIRA, Simone A.; GLOOR, Manuel U.. Differences in leaf thermoregulation and water use strategies between three co-occurring Atlantic forest tree species. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 41, n. 7, p. 1618-1631, 3 maio 2018. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/pce.13208.

FEELEY, Kenneth J.; DAVIES, Stuart J.; PEREZ, Rolando; HUBBELL, Stephen P.; FOSTER, Robin B.. Directional changes in the species composition of a tropical forest. **Ecology**, [S.L.], v. 92, n. 4, p. 871-882, abr. 2011. Wiley. http://dx.doi.org/10.1890/10-0724.1.

FERRIS, R. Elevated CO2and Temperature have Different Effects on Leaf Anatomy of Perennial Ryegrass in Spring and Summer. **Annals Of Botany**, [S.L.], v. 78, n. 4, p. 489-497, out. 1996. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1006/anbo.1996.0146.

FISICHELLI, Nicholas A.; STEFANSKI, Artur; FRELICH, Lee E.; REICH, Peter B.. Temperature and leaf nitrogen affect performance of plant species at range overlap. **Ecosphere**, [S.L.], v. 6, n. 10, p. 1-4, out. 2015. Wiley. http://dx.doi.org/10.1890/es15-00115.1.

FORTUNEL, Claire; RUELLE, Julien; BEAUCHêNE, Jacques; FINE, Paul V. A.; BARALOTO, Christopher. Wood specific gravity and anatomy of branches and roots in 113 Amazonian rainforest tree species across environmental gradients. **New Phytologist**, [S.L.], v. 202, n. 1, p. 79-94, 16 dez. 2013. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/nph.12632.

FU, Rong; YIN, Lei; LI, Wenhong; ARIAS, Paola A.; DICKINSON, Robert E.; HUANG, Lei; CHAKRABORTY, Sudip; FERNANDES, Katia; LIEBMANN, Brant; FISHER, Rosie. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 110, n. 45, p. 18110-18115, 21 out. 2013. Proceedings of the National Academy of Sciences. http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1302584110.

GATES, David M.; ALDERFER, Ronald; TAYLOR, Elwynn. Leaf Temperatures of Desert Plants. **Science**, [S.L.], v. 159, n. 3818, p. 994-995, mar. 1968. American Association for the Advancement of Science (AAAS). http://dx.doi.org/10.1126/science.159.3818.994.

GLOOR, M.; BRIENEN, R. J. W.; GALBRAITH, D.; FELDPAUSCH, T. R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.-L.; ESPINOZA, J. C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O. L.. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 1729-1733, 14 maio 2013. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1002/grl.50377.

GOUNARIS, K.; BRAIN, A.R.R.; QUINN, P.J.; WILLIAMS, W.P.. Structural reorganisation of chloroplast thylakoid membranes in response to heat-stress. **Biochimica Et Biophysica Acta (Bba) - Bioenergetics**, [S.L.], v. 766, n. 1, p. 198-208, jul. 1984. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0005-2728(84)90232-9.

GOUNARIS, Kleoniki; BRAIN, Anthony P.R.; QUINN, Peter J.; WILLIAMS, W.Patrick. Structural and functional changes associated with heat-induced phase-separations of non-bilayer lipids in chloroplast thylakoid membranes. **Febs Letters**, [S.L.], v. 153, n. 1, p. 47-52, 7 mar. 1983. Wiley. http://dx.doi.org/10.1016/0014-5793(83)80117-3.

GRUBB, P.J.; MARAÑÓN, T.; PUGNAIRE, F.I.; SACK, L.. Relationships between specific leaf area and leaf composition in succulent and non-succulent species of contrasting semi-desert communities in south-eastern Spain. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 118, p. 69-83, jul. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.03.001.

GUIDI, Lucia; LOPICCOLO, Ermes; LANDI, Marco. Chlorophyll Fluorescence, Photoinhibition and Abiotic Stress: does it make any difference the fact to be a c3 or c4 species?. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 10, p. 1-1, 14 fev. 2019. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00174.

HARRIS, G. C.; HEBER, U.. Effects of Anaerobiosis on Chlorophyll Fluorescence Yield in Spinach (Spinacia oleracea) Leaf Discs. **Plant Physiology**, [S.L.], v. 101, n. 4, p. 1169-1173, 1 abr. 1993. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1104/pp.101.4.1169.

HOZAIN, M. I.; SALVUCCI, M. E.; FOKAR, M.; HOLADAY, A. S.. The differential response of photosynthesis to high temperature for a boreal and temperate Populus species relates to differences in Rubisco activation and Rubisco activase properties. **Tree Physiology**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 32-44, 28 out. 2009. Oxford University Press (OUP). http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpp091.

HUNTINGFORD, Chris; A FISHER, Rosie; MERCADO, Lina; BOOTH, Ben B.B; SITCH, Stephen; HARRIS, Phil P; COX, Peter M; JONES, Chris D; A BETTS, Richard; MALHI, Yadvinder. Towards quantifying uncertainty in predictions of Amazon 'dieback'. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B**: Biological Sciences, [S.L.], v. 363, n. 1498, p. 1857-1864, 11 fev. 2008. The Royal Society. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.0028.

IPCC, 2021: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

IPCC, 2023: **Climate Change 2023: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

JIRKA, Stefan; MCDONALD, Andrew J.; JOHNSON, Mark S.; FELDPAUSCH, Ted R.; COUTO, Eduardo G.; RIHA, Susan J.. Relationships

between soil hydrology and forest structure and composition in the southern Brazilian Amazon. **Journal Of Vegetation Science**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 183-194, 24 fev. 2007. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02529.x.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. Plant microtechnique, 1940.

JONES, Hamlyn G.; HUTCHINSON, Paul A.; MAY, Tracey; JAMALI, Hiz; DEERY, David M.. A practical method using a network of fixed infrared sensors for estimating crop canopy conductance and evaporation rate. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 165, p. 59-69, jan. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.012.

JONES, Hamlyn G; ROTENBERG, Eyal. Energy, Radiation and Temperature Regulation in Plants. **Els**, [S.L.], p. 1-1, 19 abr. 2001. Wiley. http://dx.doi.org/10.1038/npg.els.0003199.

KALAJI, Hazem M.; SCHANSKER, Gert; BRESTIC, Marian; BUSSOTTI, Filippo; CALATAYUD, Angeles; FERRONI, Lorenzo; GOLTSEV, Vasilij; GUIDI, Lucia; JAJOO, Anjana; LI, Pengmin. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. **Photosynthesis Research**, [S.L.], v. 132, n. 1, p. 13-66, 4 nov. 2016. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11120-016-0318-y.

Karnovsky, M.J. (1965) A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron-microscopy. **Journal of Cell Biology**, 27, 137-138A.

KITAJIMA, M.; BUTLER, W.L.. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. **Biochimica Et Biophysica Acta (Bba) - Bioenergetics**, [S.L.], v. 376, n. 1, p. 105-115, jan. 1975. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0005-2728(75)90209-1.

KRAUS, Jane Elizabeth e ARDUIN, Marcos. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: EDUR. 1997.

Krause, G. H., & Weis, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 42(1), 313–349. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525

KRAUSE, G. Heinrich. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms. **Physiologia Plantarum**, [S.L.], v. 74, n. 3, p. 566-574, nov. 1988. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1988.tb02020.x.

KRAUSE, G. Heinrich; WINTER, Klaus; KRAUSE, Barbara; JAHNS, Peter; GARCÍA, Milton; ARANDA, Jorge; VIRGO, Aurelio. High-temperature tolerance of a tropical tree, Ficus insipida: methodological reassessment and climate change considerations. **Functional Plant Biology**, [S.L.], v. 37, n. 9, p. 890, 2010. CSIRO Publishing. http://dx.doi.org/10.1071/fp10034.

KUSHWAHA, C. P., TRIPATHI, S. K., TRIPATHI, B. D. & SINGH, K. P. Patterns of tree phenological diversity in dry tropics. **Acta Ecol**. Sin. 31, 179–185 (2011).

LAMONT, Byron B.; LAMONT, Heather C.. Utilizable water in leaves of 8 arid species as derived from pressure-volume curves and chlorophyll fluorescence. **Physiologia Plantarum**, [S.L.], v. 110, n. 1, p. 64-71, set. 2000. Wiley. http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.110109.x.

LARIVA, Enrique G. de; PÉREZ-RAMOS, Ignacio M.; TOSTO, Ambra; NAVARRO-FERNÁNDEZ, Carmen M.; OLMO, Manuel; MARAÑÓN, Teodoro; VILLAR, Rafael. Disentangling the relative importance of species occurrence, abundance and intraspecific variability in community assembly: a trait ‐based approach at the whole ‐plant level in mediterranean forests. **Oikos**, [S.L.], v. 125, n. 3, p. 354-363, 15 jun. 2015. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/oik.01875.

LEIGH, A.; SEVANTO, S.; BALL, M. C.; CLOSE, J. D.; ELLSWORTH, D. S.; KNIGHT, C. A.; NICOTRA, A. B.; VOGEL, S.. Do thick leaves avoid thermal damage in critically low wind speeds? **New Phytologist**, [S.L.], v. 194, n. 2,

p. 477-487, fev. 2012. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04058.x.

LEIGH, A.; SEVANTO, S.; CLOSE, J.D.; NICOTRA, A.B.. The influence of leaf size and shape on leaf thermal dynamics: does theory hold up under natural conditions?. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 237-248, 27 dez. 2016. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/pce.12857.

LEON-GARCIA, Indira V.; LASSO, Eloisa. High heat tolerance in plants from the Andean highlands: implications for paramos in a warmer world. **Plos One**, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 1-1, 6 nov. 2019. Public Library of Science (PLoS). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0224218.

LIN, Hua; CHEN, Yajun; ZHANG, Houlei; FU, Peili; FAN, Zexin. Stronger cooling effects of transpiration and leaf physical traits of plants from a hot dry habitat than from a hot wet habitat. **Functional Ecology**, [S.L.], v. 31, n. 12, p. 2202-2211, 26 jul. 2017. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.12923.

LUO, Xiangzhong; KEENAN, Trevor F.; CHEN, Jing M.; CROFT, Holly; PRENTICE, I. Colin; SMITH, Nicholas G.; WALKER, Anthony P.; WANG, Han; WANG, Rong; XU, Chonggang. Global variation in the fraction of leaf nitrogen allocated to photosynthesis. **Nature Communications**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-1, 11 ago. 2021. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/s41467-021-25163-9.

MAHAN, James R.; UPCHURCH, Dan R.. Maintenance of constant leaf temperature by plants—I. Hypothesis-limited homeothermy. **Environmental And Experimental Botany**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 351-357, out. 1988. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0098-8472(88)90059-7.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 200-233.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C.. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal Of**

Climatology, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 14 jul. 2015. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/joc.4420.

MARENGO, Jose A.; TOMASELLA, Javier; ALVES, Lincoln M.; SOARES, Wagner R.; RODRIGUEZ, Daniel A.. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 38, n. 12, p. 1-1, jun. 2011. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/2011gl047436.

MARKESTEIJN, Lars; POORTER, Lourens; BONGERS, Frans; PAZ, Horacio; SACK, Lawren. Hydraulics and life history of tropical dry forest tree species: coordination of species⁚ drought and shade tolerance. **New Phytologist**, [S.L.], v. 191, n. 2, p. 480-495, 7 abr. 2011. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03708.x.

MARTINEZ, Vicente; NIEVES-CORDONES, Manuel; LOPEZ-DELACALLE, Maria; RODENAS, Reyes; MESTRE, Teresa; GARCIA-SANCHEZ, Francisco; RUBIO, Francisco; NORTES, Pedro; MITTLER, Ron; RIVERO, Rosa. Tolerance to Stress Combination in Tomato Plants: new insights in the protective role of melatonin. **Molecules**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 535, 28 fev. 2018. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/molecules23030535.

MATO GROSSO. UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO. **Dados Climáticos de Alta Floresta**. 2023. Disponível em: https://altafloresta.unemat.br/dados-climaticos-de-alta-floresta. Acesso em: 11 ago. 2023.

MAU, Alida; REED, Sasha; WOOD, Tana; CAVALERI, Molly. Temperate and Tropical Forest Canopies are Already Functioning beyond Their Thermal Thresholds for Photosynthesis. **Forests**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 47, 22 jan. 2018. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/f9010047.

MCDOWELL, Nate; ALLEN, Craig D.; ANDERSON-TEIXEIRA, Kristina; BRANDO, Paulo; BRIENEN, Roel; CHAMBERS, Jeff; CHRISTOFFERSEN, Brad; DAVIES, Stuart; DOUGHTY, Chris; DUQUE, Alvaro. Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests. **New Phytologist**,

[S.L.], v. 219, n. 3, p. 851-869, 16 fev. 2018. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/nph.15027.

MICHALETZ, Sean T.; WEISER, Michael D.; ZHOU, Jizhong; KASPARI, Michael; HELLIKER, Brent R.; ENQUIST, Brian J.. Plant Thermoregulation: energetics, trait⁚environment interactions, and carbon economics. **Trends In Ecology & Evolution**, [S.L.], v. 30, n. 12, p. 714-724, dez. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2015.09.006.

MILLER, Benjamin D.; CARTER, Kelsey R.; REED, Sasha C.; WOOD, Tana E.; CAVALERI, Molly A.. Only sun-lit leaves of the uppermost canopy exceed both air temperature and photosynthetic thermal optima in a wet tropical forest. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 301-302, p. 108347, maio 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108347.

MILLER, Benjamin D.; CARTER, Kelsey R.; REED, Sasha C.; WOOD, Tana E.; CAVALERI, Molly A.. Only sun-lit leaves of the uppermost canopy exceed both air temperature and photosynthetic thermal optima in a wet tropical forest. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 301-302, p. 108347, maio 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108347.

MURATA, Norio; TAKAHASHI, Shunichi; NISHIYAMA, Yoshitaka; ALLAKHVERDIEV, Suleyman I.. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. **Biochimica Et Biophysica Acta (Bba) - Bioenergetics**, [S.L.], v. 1767, n. 6, p. 414-421, jun. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.bbabio.2006.11.019.

NIU, Shuli; LUO, Yiqi; LI, Dejun; CAO, Shuanghe; XIA, Jianyang; LI, Jianwei; SMITH, Melinda D.. Plant growth and mortality under climatic extremes: an overview. **Environmental And Experimental Botany**, [S.L.], v. 98, p. 13-19, fev. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.004.

NIU, Shuli; LUO, Yiqi; LI, Dejun; CAO, Shuanghe; XIA, Jianyang; LI, Jianwei; SMITH, Melinda D.. Plant growth and mortality under climatic extremes: an overview. **Environmental And Experimental Botany**, [S.L.], v. 98, p. 13-19, fev. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.004.

O'SULLIVAN, O. S. et al. Thermal limits of leaf metabolism across biomes. **Glob. Chang. Biol.** 23, 209–223, doi:10.1111/gcb.13477 (2017).

O'SULLIVAN, Odhran S.; HESKEL, Mary A.; REICH, Peter B.; TJOELKER, Mark G.; WEERASINGHE, Lasantha K.; PENILLARD, Aurore; ZHU, Lingling; EGERTON, John J. G.; BLOOMFIELD, Keith J.; CREEK, Danielle. Thermal limits of leaf metabolism across biomes. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 209-223, 14 out. 2016. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13477.

OUÉDRAOGO, Dakis-Yaoba; MORTIER, Frédéric; GOURLET-FLEURY, Sylvie; FREYCON, Vincent; PICARD, Nicolas. Slow-growing species cope best with drought: evidence from long ‐term measurements in a tropical semi ‐deciduous moist forest of central africa. **Journal Of Ecology**, [S.L.], v. 101, n. 6, p. 1459-1470, 10 out. 2013. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/1365-2745.12165.

PAU, Stephanie; DETTO, Matteo; KIM, Youngil; STILL, Christopher J.. Tropical forest temperature thresholds for gross primary productivity. **Ecosphere**, [S.L.],

PEÑUELAS, Josep; LLUSIÀ, Joan. Linking photorespiration, monoterpenes and thermotolerance in Quercus. **New Phytologist**, [S.L.], v. 155, n. 2, p. 227-237, 3 jul. 2002. Wiley. http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00457.x.

PESSOA, Marcos José Gomes; GUISONI, Jéssica Jeini; SIMIONI, Priscila Fernanda; PIREDA, Saulo; XAVIER, Vanessa; SILVA, Ivone Vieira da. Leaf structural traits of three species of Qualea Mart. (Vochysiaceae) in a cerradão area in the Cerrado-Amazonian Forest transition. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 1082-1089, 30 set. 2019. http://dx.doi.org/10.5902/1980509833080.

PIREDA, Saulo; OLIVEIRA, Dhiego da Silva; BORGES, Neilor Lacorte; FERREIRA, Gabriel do Amaral; BARROSO, Laura Mathias; SIMIONI, Priscila; VITÓRIA, Angela Pierre; CUNHA, Maura da. Acclimatization capacity of leaf traits of species co-occurring in restinga and seasonal semideciduous forest ecosystems. **Environmental And Experimental Botany**, [S.L.], v.

164, p. 190-202, ago. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.012.

R Core Team (2022) **R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna. https://www.R-project.org

REY-SÁNCHEZ, A. Camilo; BOHRER, Gil; MORIN, Timothy H.; SHLOMO, Dekel; MIRFENDERESGI, Golnazalsadat; GILDOR, Hezi; GENIN, Amatzia. Evaporation and CO 2 fluxes in a coastal reef: an eddy covariance approach. **Ecosystem Health And Sustainability**, [S.L.], v. 3, n. 10, p. 1-1, 3 out. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). http://dx.doi.org/10.1080/20964129.2017.1392830

RITZ, Christian; BATY, Florent; STREIBIG, Jens C.; GERHARD, Daniel. Dose-Response Analysis Using R. **Plos One**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 0146021-0146021, 30 dez. 2015. Public Library of Science (PLoS). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0146021.

RONDE, J.A. de; CRESS, W.A.; KRÜGER, G.H.J.; STRASSER, R.J.; VAN STADEN, J.. Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing an Arabidopsis P5CR gene, during heat and drought stress. **Journal Of Plant Physiology**, [S.L.], v. 161, n. 11, p. 1211-1224, nov. 2004. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.014.

SÁNCHEZ, J.; RUIZ, Y.; AULEDA, J.M.; HERNÁNDEZ, E.; RAVENTÓS, M.. Review. Freeze Concentration in the Fruit Juices Industry. **Food Science And Technology International**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 303-315, ago. 2009. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/1082013209344267.

SASTRY, A., BARUA, D. Leaf thermotolerance in tropical trees from a seasonally dry climate varies along the slow-fast resource acquisition spectrum. Sci Rep 7, 11246 (2017). https://doi.org/10.1038/s41598-017-11343-5

SCHIETTI, Juliana; EMILIO, Thaise; RENNÓ, Camilo D.; DRUCKER, Debora P.; COSTA, Flávia R.C.; NOGUEIRA, Anselmo; BACCARO, Fabricio B.;

FIGUEIREDO, Fernando; CASTILHO, Carolina V.; KINUPP, Valdely. Vertical distance from drainage drives floristic composition changes in an Amazonian rainforest. **Plant Ecology & Diversity**, [S.L.], v. 7, n. 1-2, p. 241-253, 24 abr. 2013. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/17550874.2013.783642.

SEVIK, H.; CETIN, M. Evaluation of topiary applications and problems: A case study of Kastamonu. **International Journal of Multidisciplinary Thought,** [S.L.], v. 05, p. 45–50, 2016.

SIMIONI, Priscila Fernanda; EISENLOHR, Pedro V.; PESSOA, Marcos José Gomes; SILVA, Ivone Vieira da. Elucidating adaptive strategies from leaf anatomy: do amazonian savannas present xeromorphic characteristics?. **Flora**, [S.L.], v. 226, p. 38-46, jan. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2016.11.004.

SLOT, M., GARCIA, M. N., & WINTER, K. (2016). Temperature response of CO2 exchange in three tropical tree species. **Functional Plant Biology**, 43(5), 468–478. https://doi.org/10.1071/fp15320

SLOT, Martijn; WINTER, Klaus. Photosynthesis data belonging to publication 'In situ temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes.'. **Smithsonian Tropical Research Institute**, [S.L.], p. 1-1, 2017. Smithsonian Institution. http://dx.doi.org/10.5479/data_stri/10088/30581.

SUN, Yongjiang; GENG, Qingwei; DU, Yuanpeng; YANG, Xinghong; ZHAI, Heng. Induction of cyclic electron flow around photosystem I during heat stress in grape leaves. **Plant Science**, [S.L.], v. 256, p. 65-71, mar. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.12.004.

SUNDAY, Jennifer M.; BATES, Amanda E.; KEARNEY, Michael R.; COLWELL, Robert K.; DULVY, Nicholas K.; LONGINO, John T.; HUEY, Raymond B.. Thermal-safety margins and the necessity of thermoregulatory behavior across latitude and elevation. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 111, n. 15, p. 5610-5615, 10 mar. 2014.

Proceedings of the National Academy of Sciences. http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1316145111.

TIWARI, Rakesh; GLOOR, Emanuel; CRUZ, Wesley Jonatar A. da; MARIMON, Beatriz Schwantes; MARIMON-JUNIOR, Ben Hur; REIS, Simone M.; SOUZA, Igor Araújo de; KRAUSE, Heinrich G.; SLOT, Martijn; WINTER, Klaus. Photosynthetic quantum efficiency in south-eastern Amazonian trees may be already affected by climate change. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 44, n. 7, p. 2428-2439, 29 abr. 2020. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/pce.13770.

TOOMEY, Michael; ROBERTS, Dar A.; STILL, Christopher; GOULDEN, Michael L.; MCFADDEN, Joseph P.. Remotely sensed heat anomalies linked with Amazonian forest biomass declines. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 38, n. 19, p. 1-1, out. 2011. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/2011gl049041.

TUOMISTO, Hanna; POULSEN, Axel Dalberg. Pteridophyte diversity and species composition in four Amazonian rain forests. **Journal Of Vegetation Science**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 383-396, 24 fev. 2000. Wiley. http://dx.doi.org/10.2307/3236631.

v. 9, n. 7, p. 1-1, jul. 2018. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/ecs2.2311.

VIEIRA, Daniel L.M.; AQUINO, Fabiana G.; BRITO, Márcia A.; FERNANDES-BULHÃO, Clarissa; HENRIQUES, Raimundo P. B.. Síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas em cerrado sensu stricto do Brasil Central e savanas amazônicas. **Revista Brasileira de Botânica**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 215-220, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84042002000200009.

VOGELMANN, T. C.; MARTIN, G.. The functional significance of palisade tissue: penetration of directional versus diffuse light. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 65-72, jan. 1993. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00845.x.

WARTON, David I.; DUURSMA, Remko A.; FALSTER, Daniel S.; TASKINEN, Sara. Smatr 3– an R package for estimation and inference about allometric lines. **Methods In Ecology And Evolution**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 257-259, 29 set. 2011. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.2041-210x.2011.00153.x.

WENG, J. H.; LAI, M. F.. Estimating heat tolerance among plant species by two chlorophyll fluorescence parameters. **Photosynthetica**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 439-444, 1 set. 2005. Institute of Experimental Botany. http://dx.doi.org/10.1007/s11099-005-0070-6.

WOLFF, Nicholas H.; MUMBY, Peter J.; DEVLIN, Michelle; ANTHONY, Kenneth R. N.. Vulnerability of the Great Barrier Reef to climate change and local pressures. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 1978-1991, 8 fev. 2018. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/gcb.14043.

WRIGHT, Ian J.; REICH, Peter B.; CORNELISSEN, Johannes H. C.; FALSTER, Daniel S.; GARNIER, Eric; HIKOSAKA, Kouki; LAMONT, Byron B.; LEE, William; OLEKSYN, Jacek; OSADA, Noriyuki. Assessing the generality of global leaf trait relationships. **New Phytologist**, [S.L.], v. 166, n. 2, p. 485-496, 3 fev. 2005. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01349.x.

WRIGHT, Ian J.; REICH, Peter B.; WESTOBY, Mark; ACKERLY, David D.; BARUCH, Zdravko; BONGERS, Frans; CAVENDER-BARES, Jeannine; CHAPIN, Terry; CORNELISSEN, Johannes H. C.; DIEMER, Matthias. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, [S.L.], v. 428, n. 6985, p. 821-827, abr. 2004. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/nature02403.

YAO, Y., LUO, Y., HUANG, J., & ZHAO, Z. (2013). Comparison of monthly temperature extremes simulated by CMIP3 and CMIP5 models. **Journal of Climate**, 26(19), 7692–7707. https://doi.org/10.1175/jcli-d-12-00560.1

ZHANG, Y. P.; WANG, Z. M.; WU, Y. C.; ZHANG, X. Stomatal characteristics of different green organs in wheat under different irrigation regimes. **Acta Agronomica Sinica**, [S.L.], 32, 70–75, 2006.

APÊNDICE

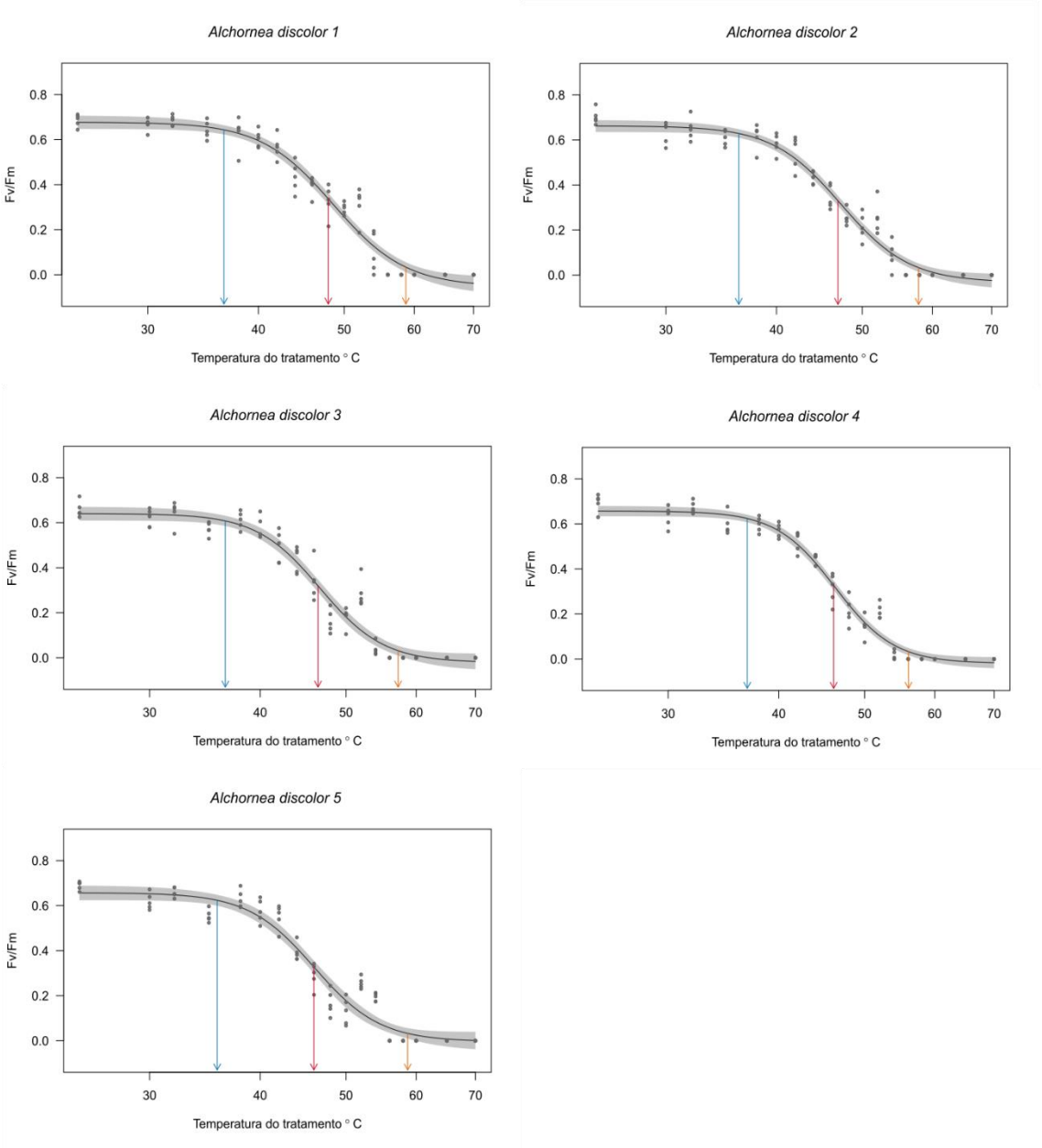

Figura S1. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Alchornea discolor* crescendo na savana amazônica, situada no município de Nova Canaã do Norte.

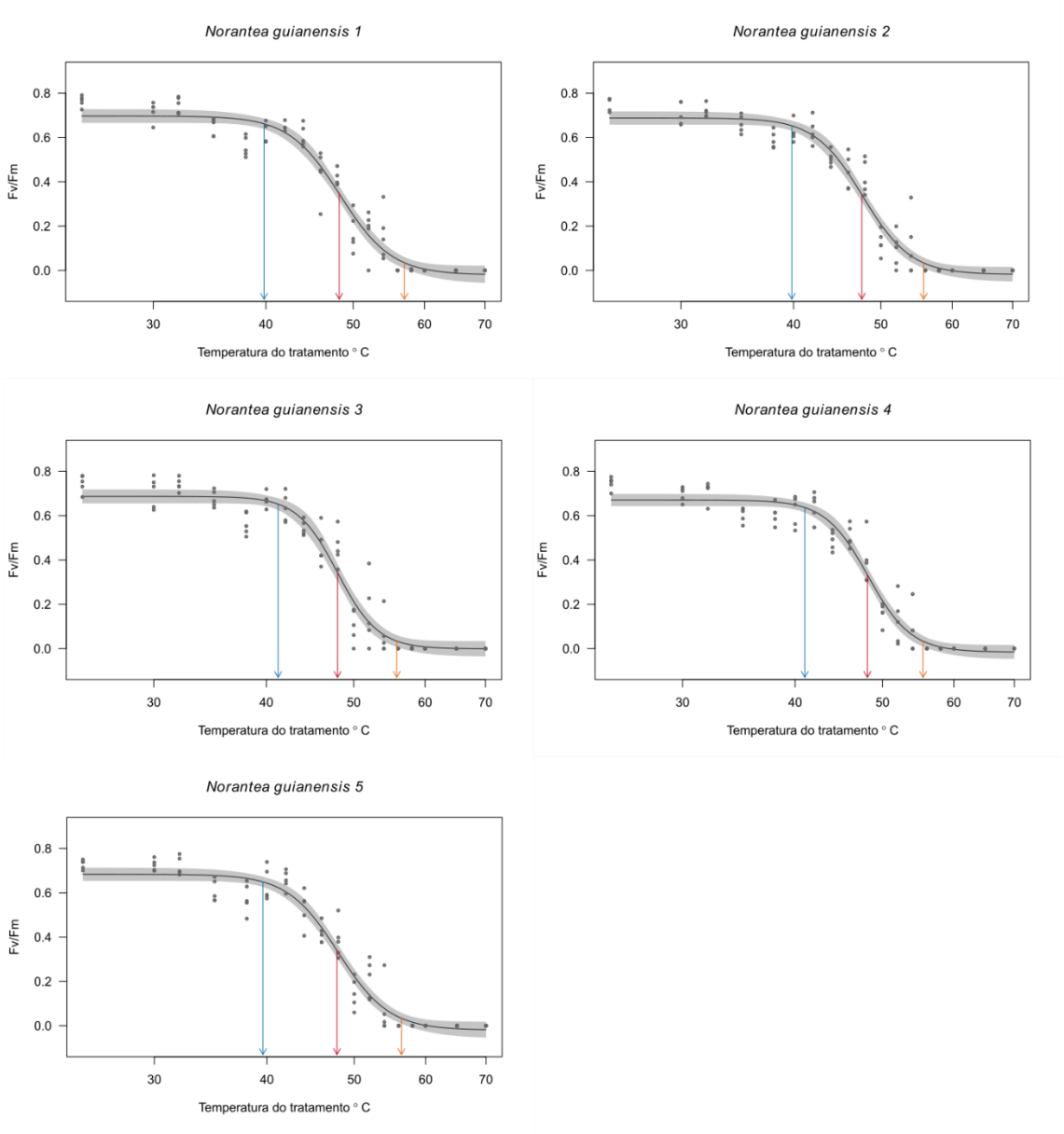

Figura S2. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Norantea guianensis* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

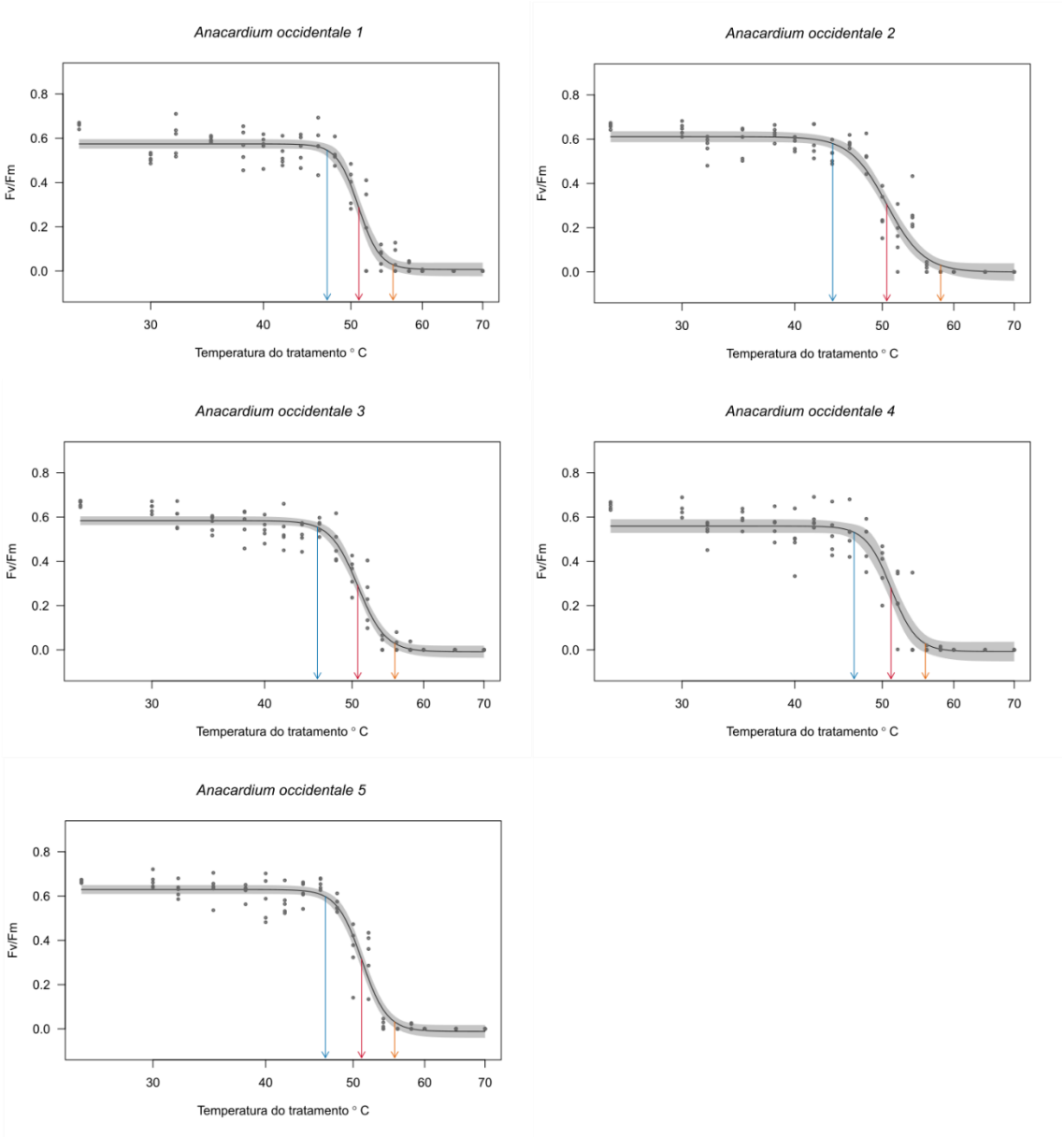

Figura S3. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Anacardium occidentale* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

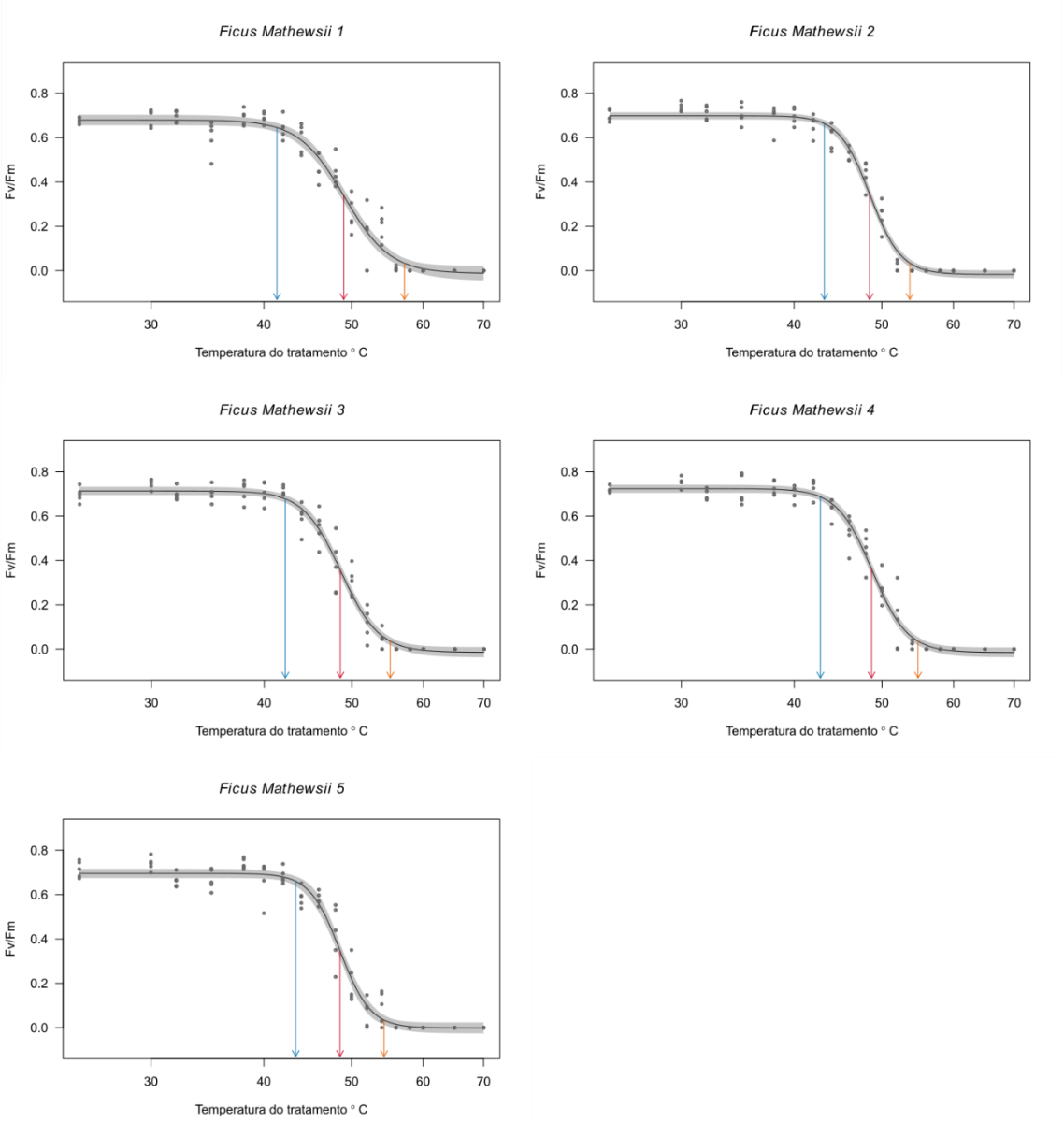

Figura S4. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Ficus mathewsii* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

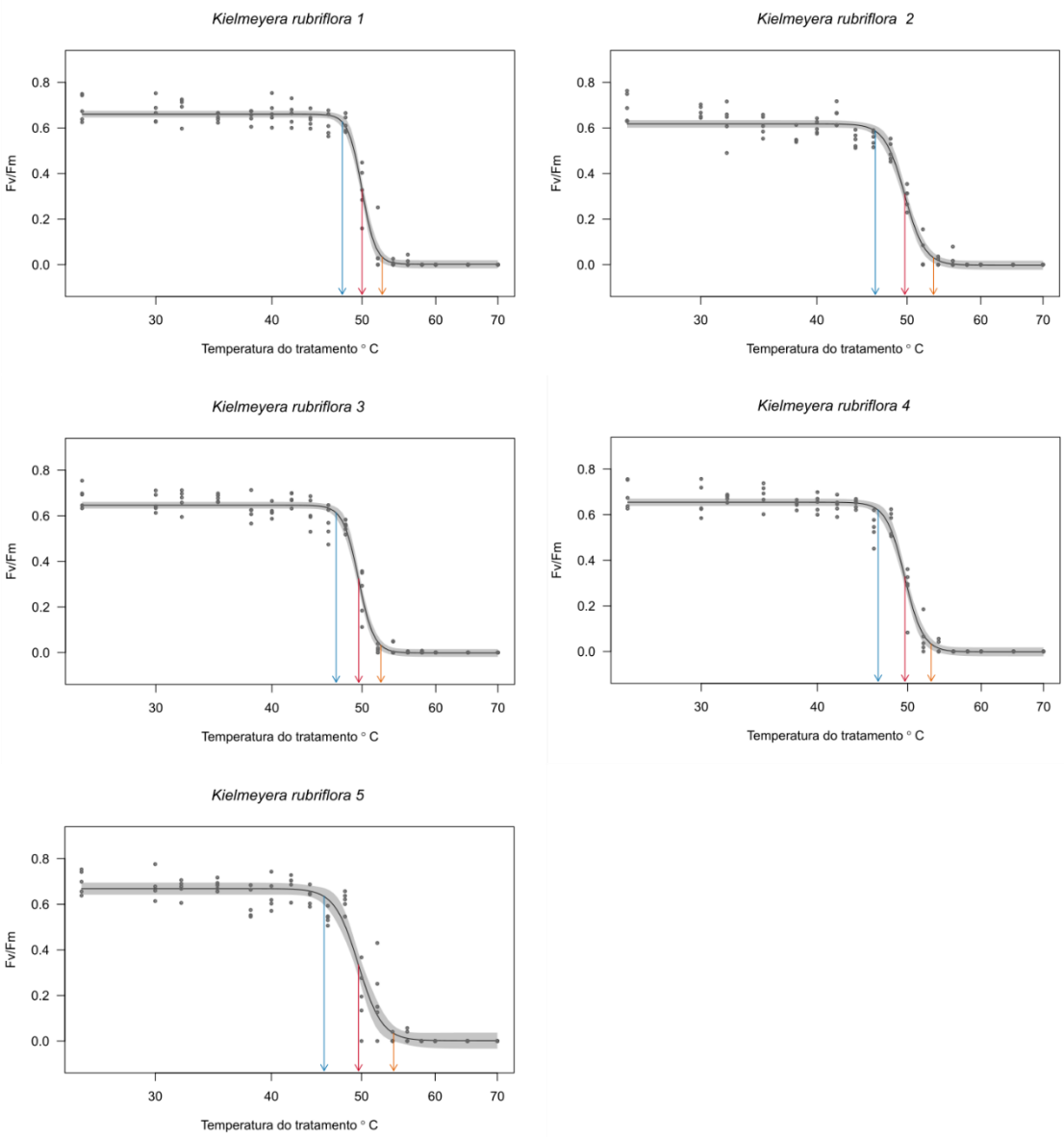

Figura S5. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Kielmeyera rubriflora* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

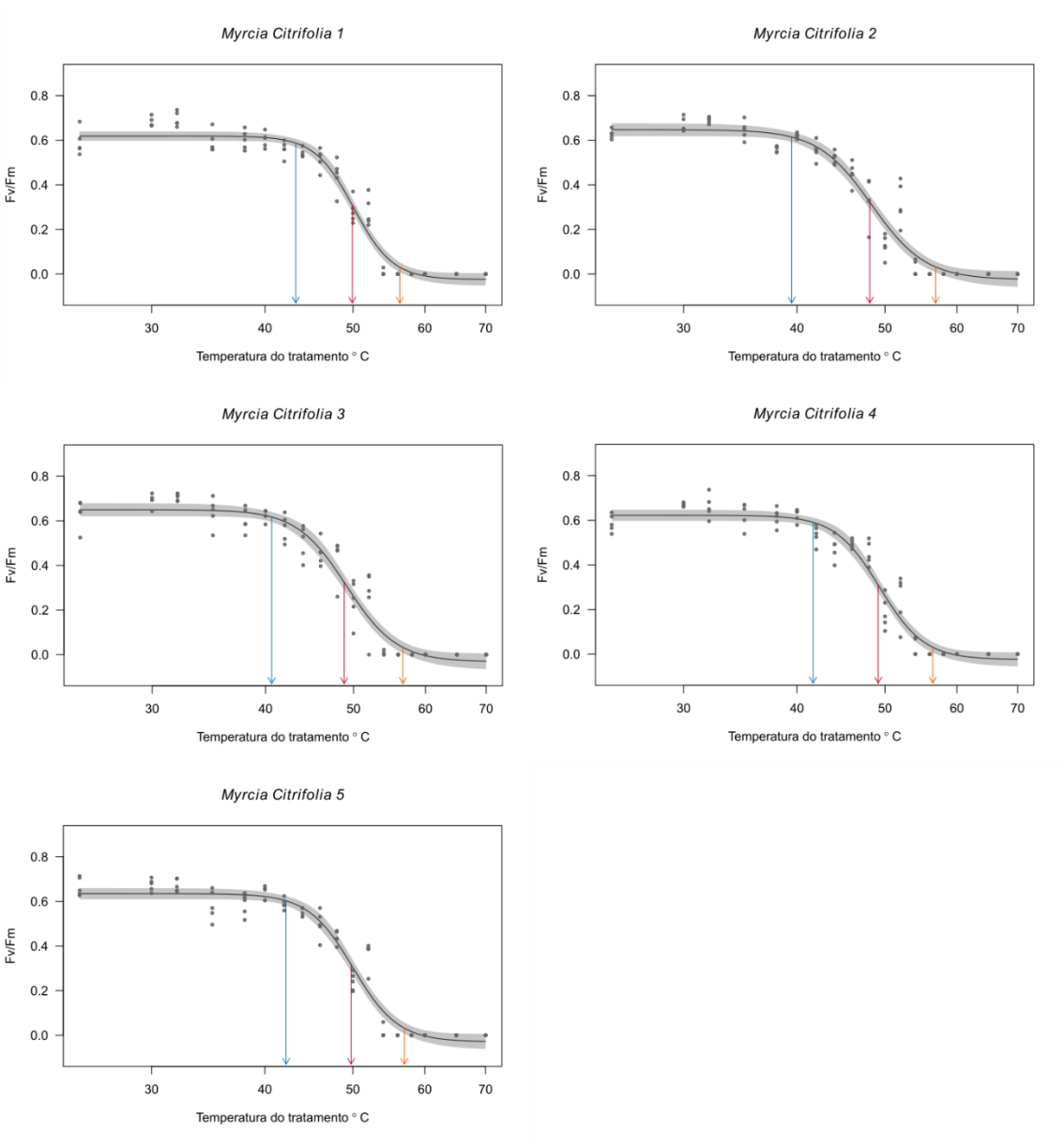

Figura S6. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Myrcia Citrifolia* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

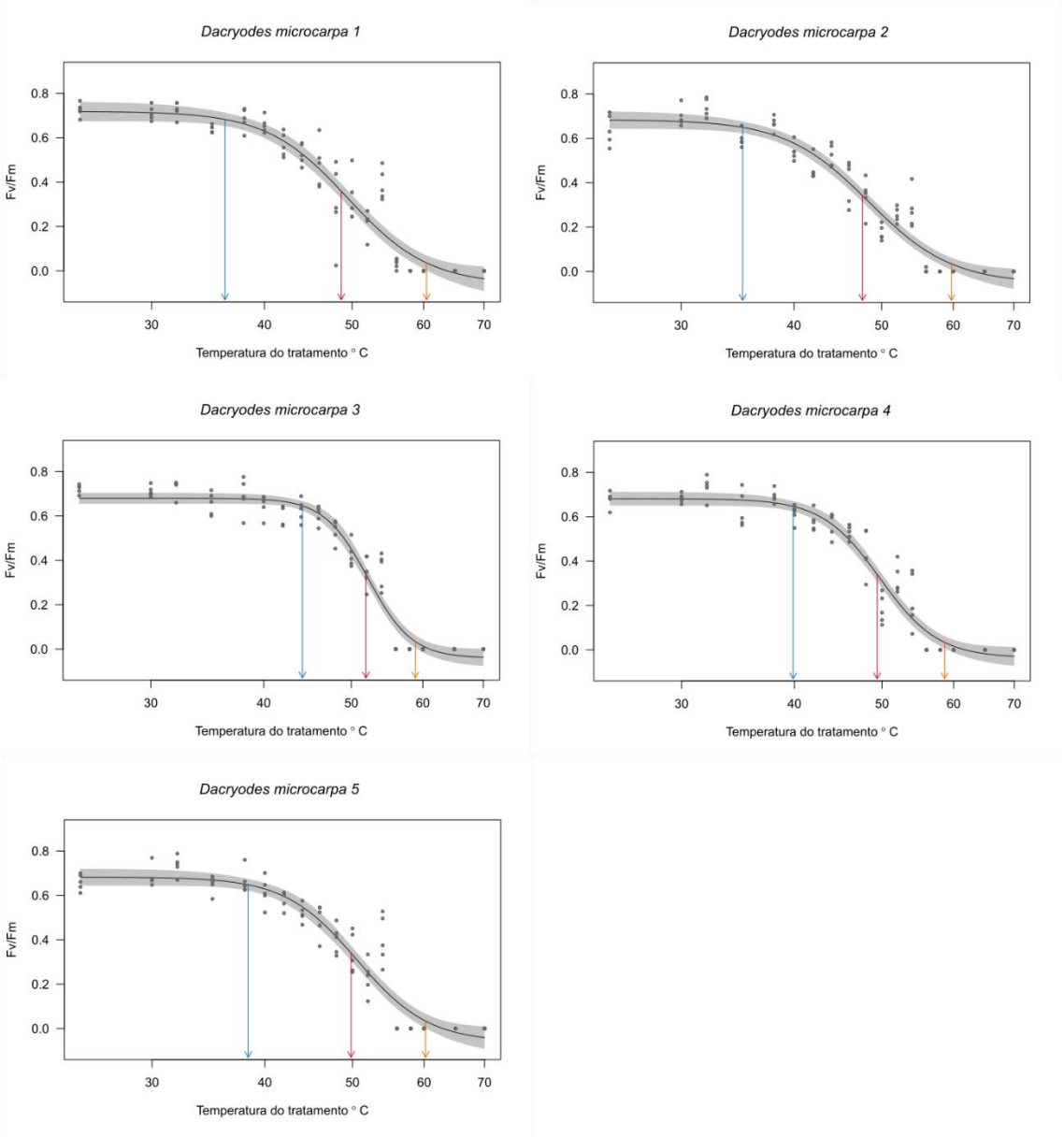

Figura S7. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de Dacryodes *microcarpa* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

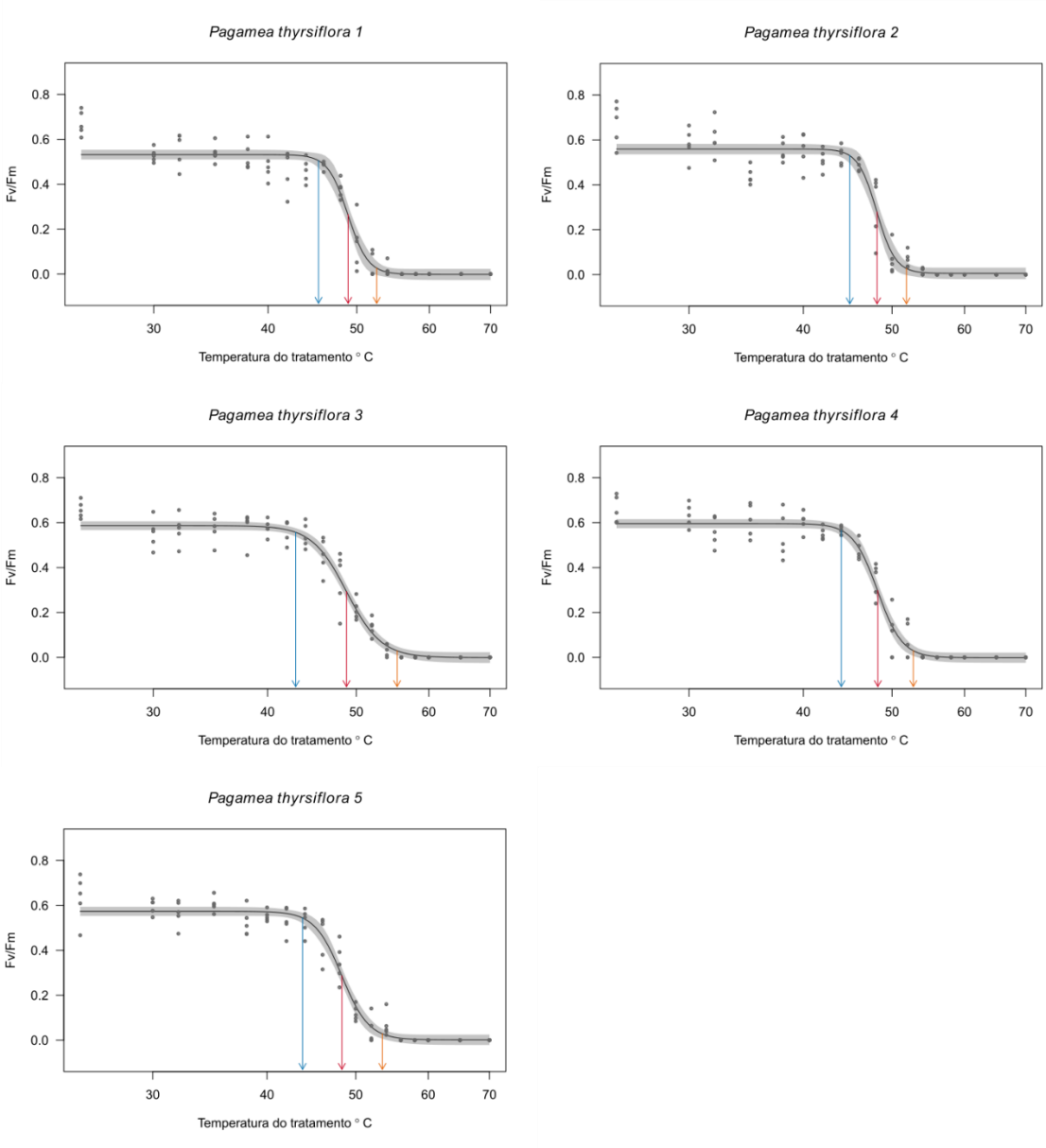

Figura S8. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Pagamea Thyrsiflora* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

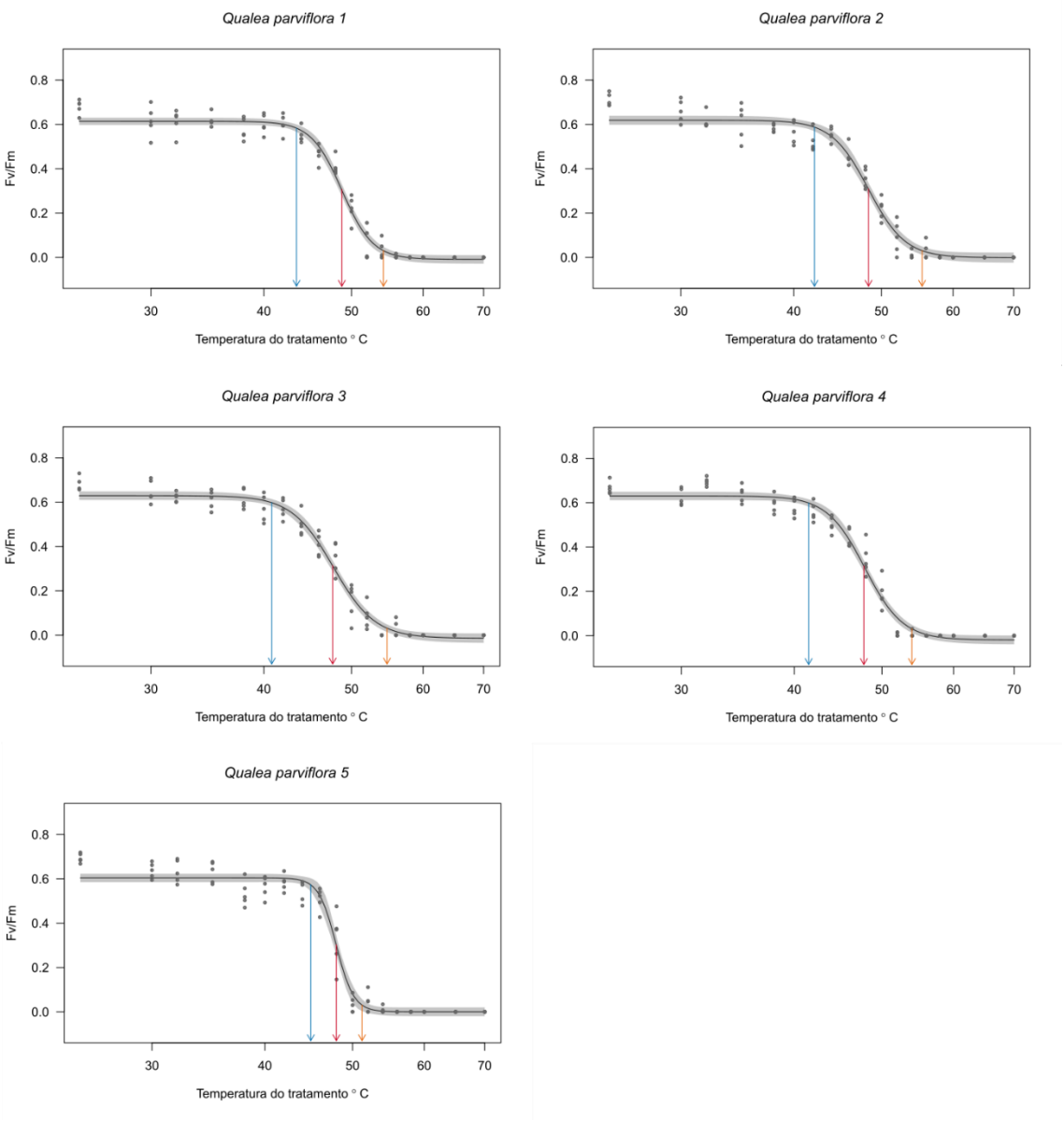

Figura S9. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Qualea parviflora* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

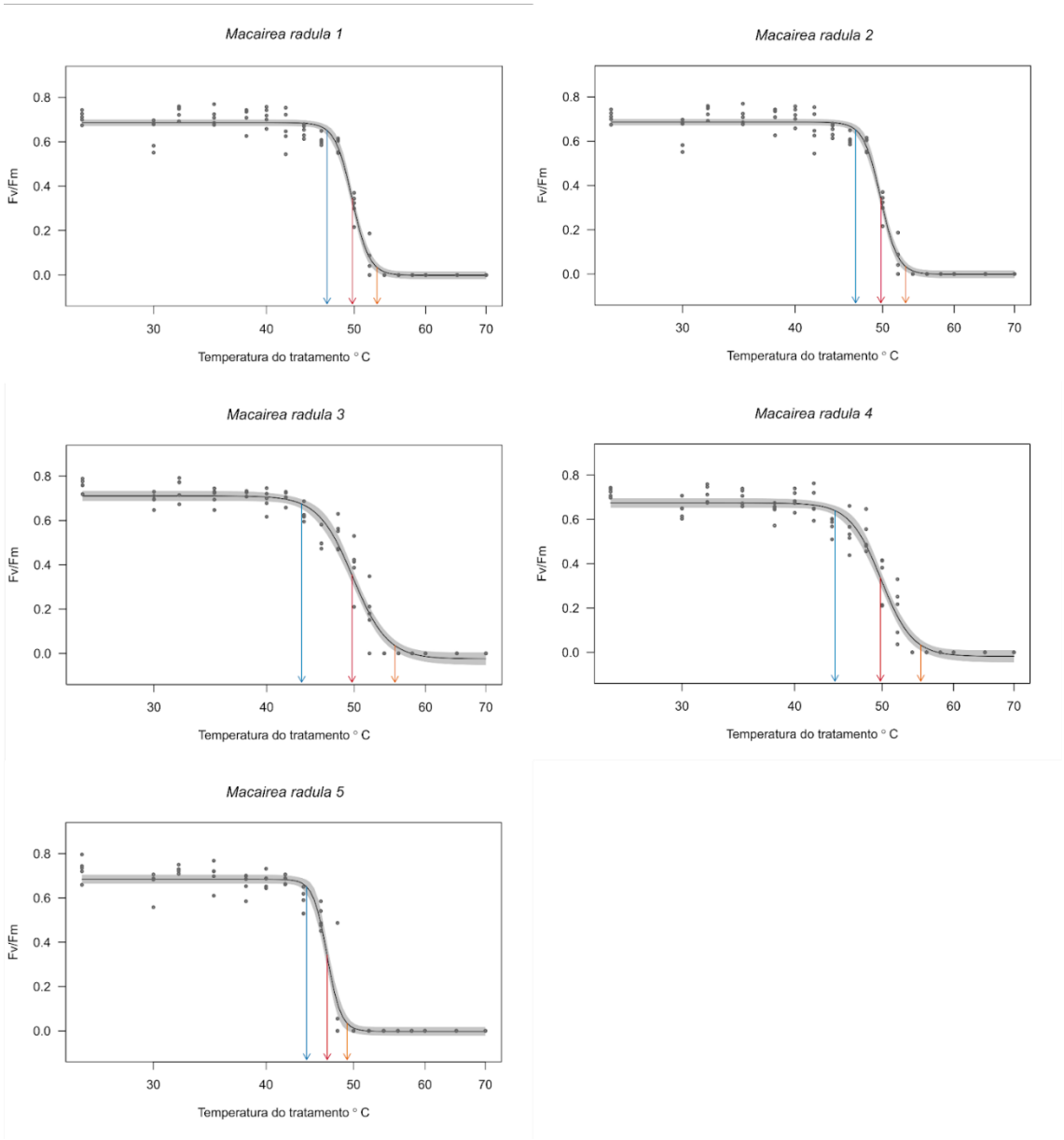

Figura S10. Variação da relação de F_v/F_m e temperatura dos cinco indivíduos de *Macairea radula* crescendo na savana amazônica situada no município de Nova Canaã do Norte.

Tabela S1. Análise térmica de árvores perenes (P) e decíduas (D) crescendo na savana amazônica. Perda de 5% da função do PSII (T_5), perda de 50% da função do PSII (T_{50}) e perda 95% da função do PSII (T_{95}), margem de segurança térmica atual (TSM) e margens de segurança térmica futuras (TSM_{+3} °C e $_{+5}$ °C), desvio padrão (sd).

Espécie	Hábito Foliar	T_5(°C) média ± sd	T_{50}(°C) média (min e max)	T_{95}(°C) média ± sd	TSM (°C) média ± sd	TSM^{+3} °C	TSM^{+5} °C
Ficus Mathewsii	P	42.57 (±0.82)	48.65 (49.00-48.46)	55.03 (±1.33)	0.57 (±0.21)	-2.43	-4.43
Dacryodes microcarpa	P	38.72 (±3.55)	49.46 (47.61-51.89)	59.58 (±0.80)	1.38 (±1.59)	-1.62	-3.62
Myrcia citrifolia	P	40.76 (±1.46)	48.93 (47.88-49.72)	55.79 (±2.12)	0.85 (±0.76)	-2.15	-4.15
Norantea guianensis	P	40.28 (±0.76)	47.95 (47.61-48.24)	56.08 (±0.61)	-0.130 (±0.24)	-3.13	-5.13
Macairea radula	P	44.66 (±1.15)	48.98 (46.75-49.77)	53.33 (±2.53)	0.90 (±1.30)	-2.09	-4.09
Anacardium occidentale	D	45.99 (±1.18)	50.94 (50.72-51.12)	56.25 (±1.24)	2.86 (±0.19)	-0.14	-2.14
Kielmeyera rubriflora	D	46.83 (±0.85)	49.78 (49.59-50.00)	52.94 (±0.71)	1.70 (±0.20)	-1.3	-3.3
Alchornea discolor	D	36.39 (±0.41)	46.70 (45.99-47.97)	57.71 (±1.12)	-1.38 (±0.80)	-4.38	-6.38
Pagamea thyrsiflora	D	44.2 (±0.99)	48.47 (48.15-48.91)	53.2 (±1.36)	0.39 (±0.35)	-2.61	-4.61
Qualea parviflora	D	42.57 (±1.65)	48.10 (47.65-48.78)	53.91 (±1.61)	0.02 (±0.47)	-2.98	-4.98

Tabela S2. Análise da morfoanatomia de árvores perenes (P) e decíduas (D) crescendo na savânica amazônica. Densidade estomática (DES), tamanho estômato (TAE), abertura máxima estomática (AMA), espessura da folha (ESF), cutícula adaxial (CUA), epiderme adaxial (EAD), epiderme abaxial (EAB), cutícula abaxial (CAB), parênquima paliçádico (PA), parênquima lacunoso (LAC), área foliar (AFE), desvio padrão (sd). (-) Não foi possível analisar as características anatômicas devido à presença persistente de apêndices epidérmicos na folha.

Espécie	Hábito Foliar	DES (média ± sd)	TAE (média ± sd)	AMA (média ± sd)	ESF (média ± sd)	CUA (média ± sd)	EAD (média ± sd)	EAB (média ± sd)	CAB (média ± sd)	PAL (média ± sd)	LAC (média ± sd)	AFE (média ± sd)
Ficus Mathewsii	P	22.54 ± 2.94	769.49 ± 120.37	16.66 ± 1.25	377.47 ± 29.85	7.00 ± 0.91	55.39 ± 4.08	31.31 ± 4.55	6.27 ± 0.50	151.28 ± 14.45	126.97 ± 18.08	58.18 ± 7.60
Dacryodesmi crocarpa	P	76.66 ± 10.75	263.88 ± 41.20	9.34 ± 1.48	166.00 ± 8.81	3.48 ± 0.42	16.41 ± 2.03	10.84 ± 0.51	3.18 ± 0.39	62.91 ± 3.01	68.92 ± 6.32	22.61 ± 3.00
Myrcia citrifolia	P	48.06 ± 7.51	368.76 ± 52.86	12.51 ± 0.87	297.37 ± 24.73	4.78 ± 0.13	16.87 ± 1.84	16.25 ± 1.42	4.45 ± 0.50	139.90 ± 17.83	118.52 ± 5.74	7.41 ± 1.62
Norantea guianensis	P	14.51 ± 1.57	2036.55 ± 159.52	27.42 ± 2.32	534.37 ± 22.97	9.97 ± 0.87	50.33 ± 5.23	37.55 ± 2.03	8.15 ± 0.61	227.53 ± 11.22	202.70 ± 19.46	45.79 ± 6.16
Macairea radula	P	-	-	-	369.21 ± 26.88	5.19 ± 0.33	12.66 ± 1.36	-	-	81.71 ± 7.23	-	15.60 ± 3.08
Anacardiumoccidentale	D	65.91 ± 5.75	351.49 ± 31.28	11.19 ± 0.59	266.75 ± 14.75	4.44 ± 0.34	18.79 ± 2.33	17.16 ± 1.16	4.38 ± 0.37	154.17 ± 14.80	69.19 ± 5.48	114.48 ± 34.41
Kielmeyera rubriflora	D	25.51 ± 2.31	445.50 ± 42.59	15.85 ± 1.67	243.54 ± 22.31	3.53 ± 0.39	20.78 ± 1.49	16.98 ± 1.57	2.59 ± 0.35	98.12 ± 10.40	99.71 ± 13.91	16.64 ± 3.63
Alchornea discolor	D	13.03 ± 5.21	576.11 ± 74.36	19.48 ± 1.06	355.26 ± 27.53	4.39 ± 1.01	36.02 ± 1.84	30.67 ± 1.43	3.83 ± 0.87	131.45 ± 18.08	133.47 ± 11.61	30.03 ± 9.08
Pagamea thyrsiflora	D	64.23 ± 12.89	346.81 ± 47.84	12.73 ± 1.93	331.91 ± 38.70	6.40 ± 0.56	61.24 ± 10.00	48.27 ± 5.64	7.48 ± 0.81	103.99 ± 9.76	106.33 ± 13.80	3.36 ± 0.53
Qualea parviflora	D	46.31 ± 2.67	535.93 ± 25.34	14.71 ± 0.77	317.07 ± 26.38	7.55 ± 0.65	15.22 ± 0.90	13.89 ± 1.49	6.89 ± 0.97	76.59 ± 9.40	110.69 ± 7.67	21.36 ± 6.47

Tabela S3. Resultados das regressões padrão de eixo maior (SMA) da abordagem bivariada baseada em indivíduos entre a perda de 5% da função do PSII (T5) e as características termorreguladoras de árvores em savana Amazônica. Número de indivíduos (N). IC inferior e superior representam o inferior e o intervalos de confiança superiores a 95% para a inclinação e interceptação. Os valores de p ajustados significativos após a correção de Bonferroni são mostrados em negrito.

Model	N	R2	pval	slope	slope IC inferior	Slope IC superior	Inter	Inter IC inferior	Inter IC superior	P value Bonferroni
DES	50	0.02	0.31	0.14	0.10	0.19	35.84	33.50	38.18	1.00
TAE	50	0.03	0.20	-0.006	-0.008	-0.004	46.25	44.38	48.11	1.00
AMA	50	0.04	0.14	-0.65	-0.88	-0.48	52.27	48.91	55.62	1.00
ESF	50	0.01	0.35	-0.03	-0.04	-0.02	53.88	50.30	57.45	1.00
CUA	50	0.002	0.72	-1.66	-2.22	-1.25	51.76	48.70	54.82	1.00
EAD	50	0.01	0.44	-0.18	-0.24	-0.14	47.98	45.87	50.08	1.00
EAB	50	0.003	0.70	-0.28	-0.38	-0.20	49.04	46.43	51.64	1.00
CAB	50	0.001	0.79	1.75	1.29	2.37	32.83	29.64	36.02	1.00
PAL	50	0.01	0.36	-0.07	-0.09	-0.05	51.02	48.19	53.84	1.00
LAC	50	0.09	0.03	-0.08	-0.11	-0.06	52.15	48.94	55.36	0.38
AFE	50	0.03	0.17	0.10	0.07	0.13	38.88	37.29	40.47	1.00

Tabela S4. Resultados das regressões padrão de eixo maior (SMA) da abordagem bivariada baseada em indivíduos entre a perda de 50% da função do PSII (T50) e as características termorreguladoras de árvores em savana Amazônica. Número de indivíduos (N). IC inferior e superior representam o inferior e o intervalos de confiança superiores a 95% para a inclinação e interceptação. Os valores de p ajustados significativos após a correção de Bonferroni são mostrados em negrito.

Model	N	R2	pval	slope	slope IC inferior	Slope IC superior	Inter	Inter IC inferior	Inter IC superior	P value Bonferroni
DES	50	0.19	0.002	0.05	0.04	0.07	46.46	45.70	47.23	**0.02**
TAE	50	0.10	0.02	-0.002	-0.003	-0.001	50.34	49.69	50.99	0.32
AMA	50	0.22	0.001	-0.24	-0.32	-0.18	52.59	51.47	53.70	**0.01**
ESF	50	0.18	0.001	-0.01	-0.01	-0.01	53.16	51.95	54.37	**0.01**
CUA	50	0.09	0.02	-0.62	-0.82	-0.47	52.36	51.29	53.44	0.30
EAD	50	0.11	0.01	-0.07	-0.09	-0.05	50.94	50.21	51.66	0.18
EAB	50	0.17	0.004	-0.10	-0.13	-0.08	51.38	50.54	52.23	**0.04**
CAB	50	0.08	0.05	-0.65	-0.87	-0.48	52.20	51.08	53.32	0.62
PAL	50	0.008	0.51	-0.02	-0.03	-0.02	52.08	51.01	53.16	1.00
LAC	50	0.28	0.0001	-0.03	-0.04	-0.02	52.55	51.49	53.60	**0.001**
AFE	50	0.13	0.008	0.03	0.02	0.05	47.50	46.96	48.05	0.09

Tabela S5. Resultados das regressões padrão de eixo maior (SMA) da abordagem bivariada baseada em indivíduos entre a perda de 95% da função do PSII (T95) e as características termorreguladoras de árvores em savana Amazônica. Número de indivíduos (N). IC inferior e superior representam o inferior e o intervalos de confiança superiores a 95% para a inclinação e interceptação. Os valores de p ajustados significativos após a correção de Bonferroni são mostrados em negrito.

Model	N	R^2	pval	slope	slope IC inferior	Slope IC superior	Inter	Inter IC inferior	Inter IC superior	*P* value Bonferroni
DES	50	0.02	0.26	0.09	0.07	0.13	51.46	49.90	53.02	1.00
TAE	50	0.0005	0.88	0.004	0.003	0.006	52.78	51.46	54.11	1.00
AMA	50	0.003	0.69	-0.44	-0.59	-0.32	62.46	60.14	64.78	1.00
ESF	50	0.02	0.23	-0.02	-0.03	-0.01	63.61	61.09	66.13	1.00
CUA	50	0.03	0.16	-1.18	-1.57	-0.89	62.11	59.99	64.22	1.00
EAD	50	0.007	0.54	-0.13	-0.17	-0.10	59.42	57.91	60.92	1.00
EAB	50	0.05	0.11	-0.18	-0.25	-0.14	60.30	58.64	61.96	1.00
CAB	50	0.09	0.03	-1.17	-1.56	-0.88	61.77	59.78	63.76	0.42
PAL	50	0.01	0.38	0.05	0.03	0.06	49.18	47.17	51.19	1.00
LAC	50	0.003	0.70	-0.05	-0.07	-0.04	62.39	60.08	64.69	1.00
AFE	50	0.03	0.20	0.07	0.05	0.09	52.95	51.82	54.09	1.00

Figura S11. Vista frontal de folhas de espécies lenhosas perenes da savana amazônica, mostrando: (A e B) faces abaxial e adaxial de *Macairea radula;* (C e D) faces abaxial e adaxial de *Norantea guianensis;* (E e F) faces abaxial e adaxial de *Dacryodes microcarpa;* (G e H) faces abaxial e adaxial de *Myrcia cf citrifolia e* (I e J) faces abaxial e adaxial de *Ficus cf mathewsii.* Barras: 100 µm.

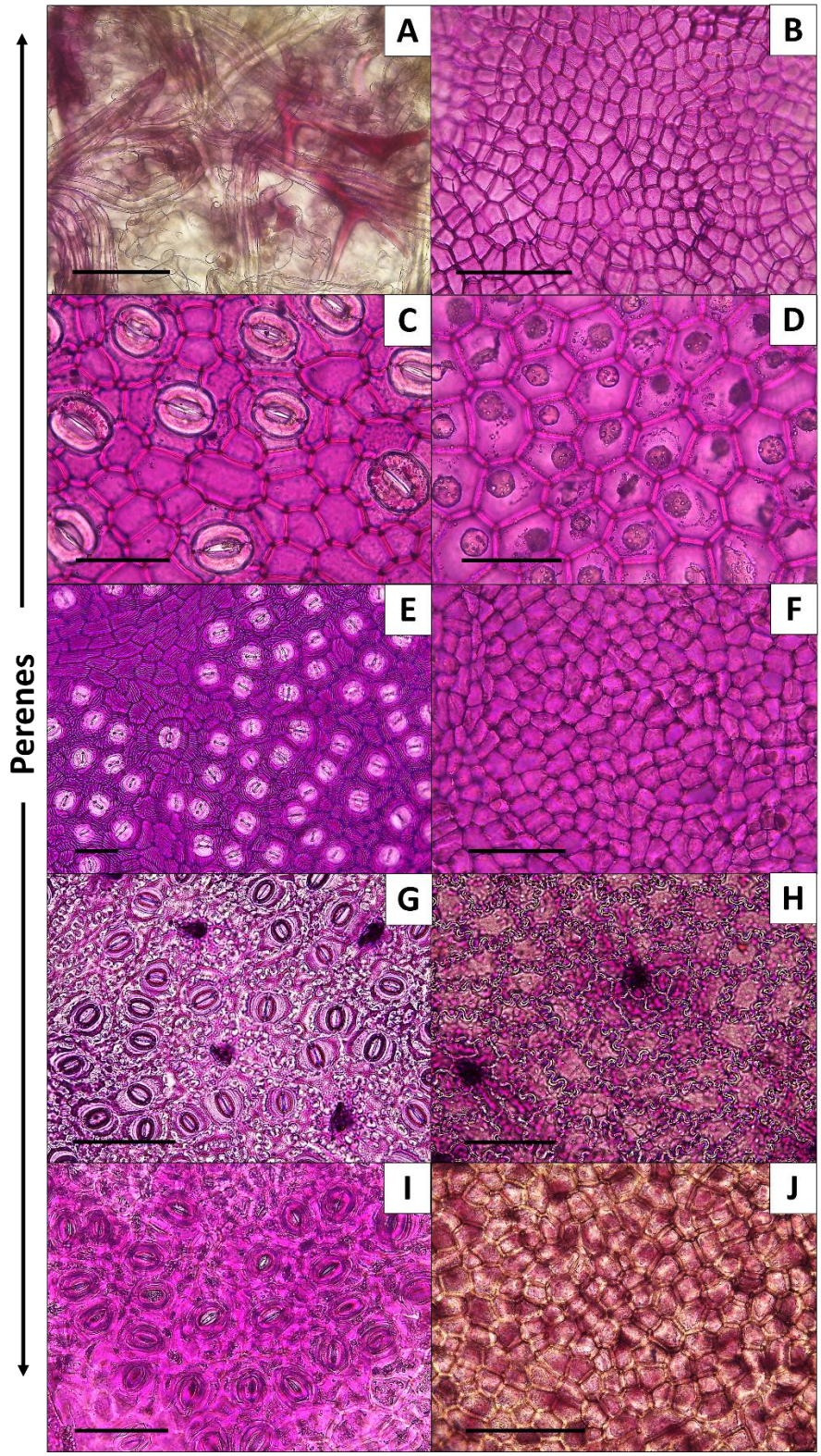

Figura S12. Vista frontal de folhas de espécies lenhosas decíduas da savana amazônica, mostrando: (A e B) faces abaxial e adaxial de *Kielmeyera Rubriflora;* (C e D) faces abaxial e adaxial de *Alchornea discolor;* (E e F) faces abaxial e adaxial de *Pagamea thyrsiflora;* (G e H) faces abaxial e adaxial de *Anacardium occidentale* (I e J) faces abaxial e adaxial de *Qualea parviflora.* Barras: 100 µm.

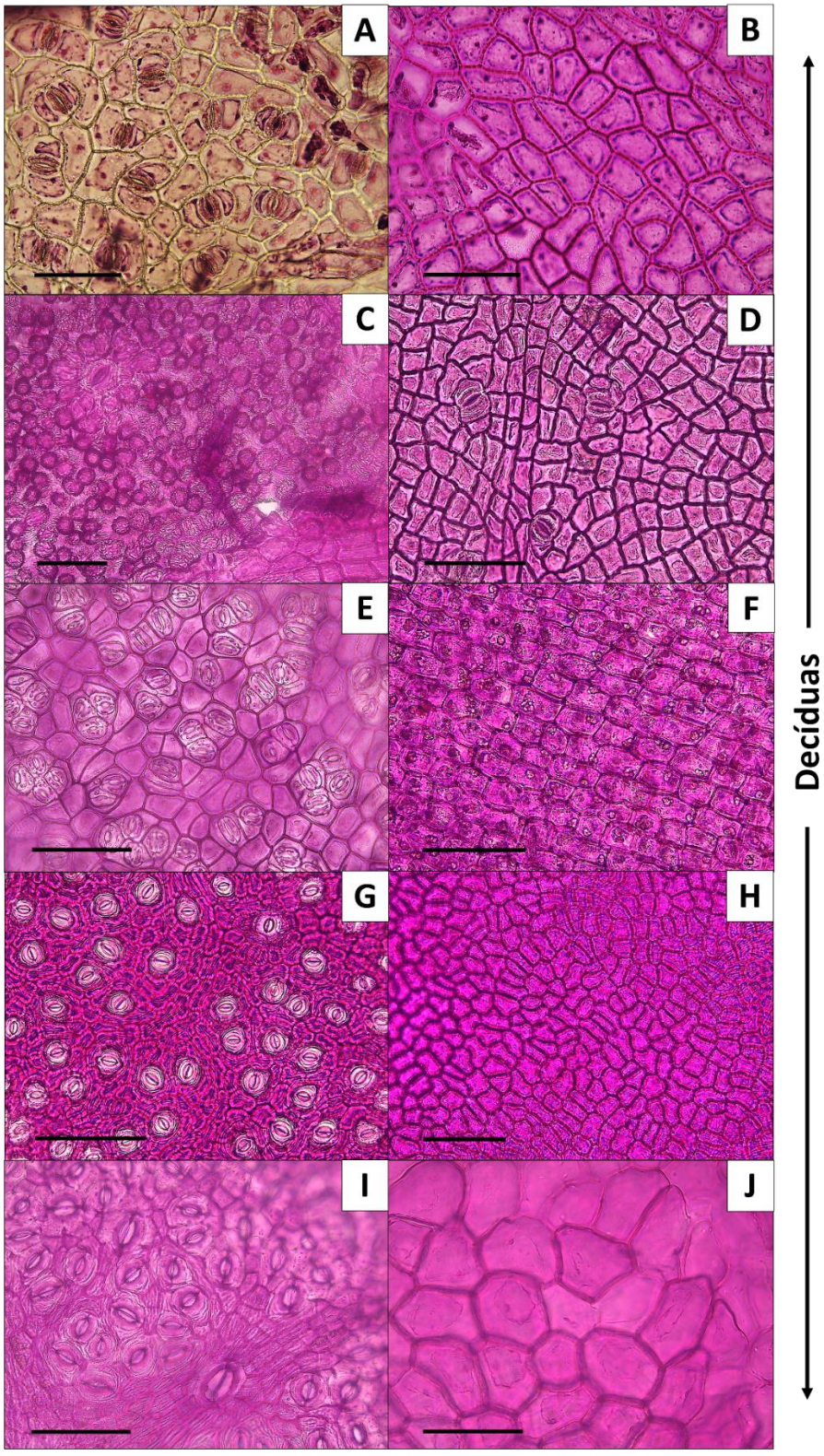

Figura S13. Secções transversais da lâmina foliar encontradas em espécies lenhosas da savana amazônica, perenes: (A) *Macairea radula;* (C) *Norantea guianensis;* (E) *Dacryodes microcarpa;* (G) *Myrcia cf citrifolia e* (I) *Ficus cf mathewsii;* deciduas: (B) *Kielmeyera Rubriflora;* (D) *Alchornea discolor;* (F) *Pagamea thyrsiflora;* (H) *Anacardium occidentale* (J) *Qualea parviflora.* Barras: 100 µm.

