

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO

**EFEITO INDIVIDUAL DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS E DA  
COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE ESPÉCIES DE USO  
MÚLTIPLO NA AMAZÔNIA CENTRAL**

LUIZ ANDRÉ LIMA PEREIRA

Manaus, Amazonas  
Março, 2023

LUIZ ANDRÉ LIMA PEREIRA

**EFEITO INDIVIDUAL DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS E DA  
COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE ESPÉCIES DE USO  
MÚLTIPLO NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr. Ricardo Antônio Marengo

Coorientador: Dr. Saul A. Antezana-Vera

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura no Trópico Úmido. Área de concentração: Ecofisiologia de Árvores.

Manaus, Amazonas  
Março, 2023






MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO




## ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO MESTRADO

Ata da Defesa Pública de **LUIZ ANDRÉ LIMA PEREIRA**, ocorrido no dia 20/03/2023, via Google Meet.


Aos vinte dias de março de 2023, às 9h (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **LUIZ ANDRÉ LIMA PEREIRA**, aluno do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agricultura no Trópico Úmido, intitulada “Efeito individual das variáveis microclimáticas e da competição no crescimento em diâmetro de espécies de uso múltiplo na Amazônia Central”, sob a orientação do Dr. Ricardo Antonio Marengo (Inpa), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI/INPA) e Art. 60 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, como parte das atividades para conclusão e obtenção do título de **Mestre em Agricultura no Trópico Úmido**. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: Maria Astrid Rocha Liberato (UEA), Marcelo Crestani Mota (Faron) e Daniela Pereira Dias (UFJ) e tendo como suplente o seguinte membro: Miguel Ângelo Branco Camargo (Inpa). O Presidente da Banca Examinadora deu início à Seção e informou os procedimentos do exame. O aluno fez uma exposição do seu estudo e ao término foi arguido oralmente pelos membros da Comissão. Após as arguições os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer	Assinaturas
Maria Astrid Rocha Liberato	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	 Documento assinado digitalmente MARIA ASTRID ROCHA LIBERATO Data: 21/03/2023 23:00:44-0300
Marcelo Crestani Mota	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	 Documento assinado digitalmente MARCELO CRESTANI MOTA Data: 23/03/2023 10:39:27-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
Daniela Pereira Dias	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	 DANIELA PEREIRA DIAS Data: 22/03/2023 14:26:48-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a>
<b>Menção:</b>	<input type="checkbox"/> “Com Distinção”	<input type="checkbox"/> “Com Distinção e Louvor”

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação:

Documento assinado digitalmente  
 RICARDO ANTONIO MARENCO MENDOZA  
Data: 24/03/2023 16:58:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Ricardo Antonio Marengo**  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 ROGERIO EIJI HANADA  
Data: 24/03/2023 17:52:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Rogério Eiji Hanada**  
Coordenador do PPG-ATU  
PO. N° 205/2016


## Folha de Aprovação

Banca Julgadora, abaixo assinada, **aprova** a Dissertação de Mestrado:

**Título:** Efeito individual das variáveis microclimáticas e da competição no crescimento em diâmetro de espécies de uso múltiplo na Amazônia Central


**Autor:** Luiz André Lima Pereira

### Banca Julgadora:

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA ASTRID ROCHA LIBERATO**  
Data: 22/03/2023 22:23:11-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Dra. Maria Astrid Rocha Liberato (UEA)**  
(Membro titular)

Documento assinado digitalmente  
 **MARCELO CRESTANI MOTA**  
Data: 22/03/2023 11:24:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dr. Marcelo Crestani Mota (FARON)**  
(Membro titular)

Documento assinado digitalmente  
 **DANIELA PEREIRA DIAS**  
Data: 20/03/2023 17:57:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dra. Daniela Pereira Dias (UFJ)**  
(Membro titular)

Manaus (AM), 20 de março de 2023.

## Ficha Catalográfica

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

---

P436e Pereira, Luiz André Lima

Efeito individual das variáveis microclimáticas e da competição no crescimento em diâmetro de espécies de uso múltiplo na Amazônia Central / Luiz André Lima Pereira; orientador Ricardo Antônio Marengo; coorientador Saul A. Antezana-Vera. - Manaus:[s. 1.], 2023.

1,4 MB

81 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido – PPG-ATU) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. Ambiente. 2. Competição,. 3. Performance. I. Marengo, Ricardo Antônio . II. Antezana-Vera, Saul A. III. Título.

CDD 630

---

### **Sinopse:**

Estudou-se a influência individual dos efeitos dos fatores micrometeorológicos e da competição no crescimento em diâmetro de espécies de uso múltiplo na Amazônia Central. Os resultados mostram que as espécies têm uma forte relação com a sazonalidade, tendo a precipitação, o teor de umidade do solo como as principais responsáveis para o crescimento para a maioria das espécies. Por outro lado, o déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV) (mínimo e médio) foi o principal precursor do decréscimo em diâmetro. Além disso, não há correlações significativas na relação entre o incremento em diâmetro e os índices de competição avaliados que consideram apenas o DAP, altura e distância entre as árvores. O monitoramento do incremento em diâmetro pode ajudar a avaliar os efeitos das mudanças climáticas na floresta e a entender melhor como a floresta pode responder a mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Ambiente, competição, crescimento, manejo, performance.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e capacidade física e intelectual para desenvolver o projeto.

À minha mãe que sempre me incentivou.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e seus funcionários.

Ao laboratório de Ecofisiologia de árvores.

A FAPEAM pela concessão das bolsas.

Ao Dr. Ricardo Antônio Marengo pela orientação.

Ao Dr. Saul Alfredo Antezana-Vera pela coorientação.

Ao Sr. Valzenir e Sr. Valnir pelo apoio técnico de campo.

Ao Mikael Martins e Renan Amanajás pela amizade e contribuições neste trabalho.

Ao curso de Pós-graduação Agricultura no Trópico Úmido por todo apoio e contribuição, em especial ao coordenador Dr. Rogério Hanada.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e enriquecerem o trabalho com suas avaliações e sugestões.

A todos os cidadãos que contribuem direta ou indiretamente para a ciência. Vamos em frente.

Obrigado.

## RESUMO

A dinâmica florestal pode ser condicionada pela variação microclimática e a competição por recursos resultando em mudanças fisiológicas que interferem no padrão de desenvolvimento das espécies. Neste estudo, avaliamos o efeito individual das variáveis micrometeorológica e os níveis de status competitivo sobre as taxas de crescimento em diâmetro do tronco de espécies arbóreas em ambientes de terra firme na floresta da Amazônia Central Brasileira. Durante quatro anos (2018-2021), o crescimento individual em diâmetro de 33 árvores ( $\geq 20$  cm DAP) de sete espécies foi medido por meio de bandas dendrométricas fixada ao tronco. Foram coletadas 5 variáveis micrometeorológica, sendo a radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação, déficit de pressão de vapor (mínima, média e máxima) e evapotranspiração, além do teor de umidade do solo. A análise de regressão por componentes principais foi aplicada para avaliar o efeito da variabilidade micro meteorológica no crescimento dos indivíduos. Além disso, testamos cinco índices de competição dependentes da distância amplamente utilizados que foram correlacionados com a taxa de incremento, a fim de estabelecer a relação competição-crescimento. Nossos principais resultados mostram que o padrão de crescimento individual variou significativamente ao longo do tempo com média de  $0.15 \text{ mm mês}^{-1}$  e teve a precipitação, o teor de umidade do solo como as principais responsáveis para o crescimento para a maioria das espécies. Por outro lado, o déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV) (mínimo e médio) foi o principal precursor do decréscimo em diâmetro. O DPV máximo e a temperatura mínima e máxima não foram significativos ( $p > 0.05$ ) para a influência no incremento médio. Não há correlações significativas na relação entre o incremento em diâmetro e os índices de competição avaliados que consideram apenas o DAP, altura e distância entre as árvores ( $p > 0.05$ ), logo foram inviáveis para estabelecer a relação competição-crescimento no fragmento florestal de alta densidade de indivíduos. Estes resultados indicam que mudanças associadas ao DPV podem limitar a capacidade fotossintética desacelerando o crescimento das árvores e, conseqüentemente, retardam a taxa de absorção dióxido de carbono no local, principalmente, durante os períodos mais secos e em temperaturas mais elevadas. Além disso, as relações competitivas parecem ser mais responsáveis quando as espécies amazônicas são analisadas através da inclusão de variáveis de obtenção mais complexas, como a área de copa. Nosso estudo reforça que a floresta é mais sensível a pressão exercida pelas variáveis micrometeorológica do que pela competição entre árvores.

**Palavras-chave:** Ambiente, competição, crescimento, manejo, performance

## ABSTRACT

Forest dynamics can be conditioned by micrometeorological variation and competition for resources, resulting in physiological changes that interfere with the pattern of species development. In this study, we evaluated the individual effect of micrometeorological variables and levels of competitive status on growth rates in trunk diameter of tree species in terra firme in the Central Brazilian Amazon Forest. For four years (2018-2021), the individual growth in diameter of 33 trees ( $\geq 20$  cm DBH) of seven species was measured with a digital caliper through dendrometric bands attached to the trunk. Five micrometeorological variables were collected, including photosynthetically active radiation, air temperature (minimum, average and maximum), precipitation, vapor pressure deficit (minimum, average and maximum) and evapotranspiration, in addition the soil moisture content. Principal component regression analysis was applied to assess the effect of micro meteorological variability on individual growth. In addition, we tested five widely used distance-dependent competition indices that were correlated with increment rate. Our main findings show that the individual growth pattern varied significantly over time with an average of 0.15 mm month<sup>-1</sup> and that precipitation and soil moisture content were the main factors responsible for growth for most species. On the other hand, the atmospheric vapor pressure (VPD) deficit (minimum and average) was the main precursor of the decrease in diameter. The maximum VPD and the minimum and maximum temperature were not significant ( $p>0.05$ ) for the influence on the mean increment. There are no significant correlations in the relationship between the increment in diameter and the evaluated competition indices that consider only DBH, height and distance between trees ( $p>0.05$ ), so they were unfeasible to establish the competition-growth relationship in the forest fragment with high density of individuals. These results indicate that changes associated with VPD can limit the photosynthetic capacity, slowing down the growth of trees and, consequently, delaying the rate of carbon dioxide absorption at the site, mainly during the driest periods and at higher temperatures. In addition, competitive relationships seem to be more responsive when Amazonian species are analyzed through the inclusion of more complex breeding variables, such as canopy area. Our study reinforces that the forest is more sensitive to pressure exerted by micrometeorological variables than by competition.

**Keywords:** Environment, competition, growth, management, performance



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
OBJETIVOS.....	15
Objetivo Geral .....	15
Objetivos específicos.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	16
Área de estudo.....	16
Material Vegetal.....	17
<i>Eschweilera bracteosa</i> .....	18
<i>Eschweilera coriacea</i> .....	19
<i>Eschweilera grandiflora</i> .....	19
<i>Goupia glabra</i> .....	20
<i>Gustavia augusta</i> .....	21
<i>Pourouma tomentosa</i> .....	22
<i>Pouteria reticulata</i> .....	22
Variáveis microclimáticas.....	23
Umidade do solo.....	25
Incremento mensal em diâmetro do tronco (IMD).....	26
Fenofase.....	27
Competição entre árvores.....	27
Análises estatísticas.....	31
RESULTADOS.....	32
Parâmetros microclimáticos.....	32
Incremento em diâmetros das árvores.....	40
Relação entre o incremento em diâmetros das árvores e os parâmetros microclimáticos....	49
Fenofase.....	55
Índices e Análise da competição.....	57
Diâmetro do tronco e características funcionais.....	58
Incremento em diâmetros das árvores.....	60
Relação entre o incremento em diâmetros das árvores e os parâmetros microclimáticos....	62
Fenofase.....	64
Características funcionais, índices e análise de competição entre árvores.....	66
REFERÊNCIAS.....	69

## INTRODUÇÃO

A Amazônia, bioma de maior diversidade biológica do mundo, é caracterizado por possuir dois grandes ecossistemas: a várzea e a de terra firme (EMBRAPA 2006). No tocante à sua composição florística, pode ser caracterizada como extremamente heterogênea, com milhares tipos de espécies, das quais muitas possuem um grande potencial econômico devido aos seus múltiplos usos. Além disso, abriga um grande estoque de carbono e de madeira comercial, possuindo também uma grande variedade de espécies não madeireiras incluindo ornamentais, oleaginosas, medicinais e frutíferas, que permite a manutenção de diversas comunidades humanas (Ribeiro *et al.* 2007).

Recentemente, a floresta amazônica vem sendo centro do debate global sobre bioeconomia, no qual tem sido baseada não somente em produtos florestais para usos madeireiros, mas também aqueles usos não madeireiros (Bergamo *et al.* 2022). A fabricação de produtos oriundos da Floresta Amazônica tem sido considerada altamente atraente para empresas com enorme potencial econômico (Costa *et al.* 2021). No Amazonas, alguns bioprodutos estratégicos como a castanha do Brasil, açaí, guaraná, fruticultura tropical, química fina, biocosméticos, fitoterápico, fitofármacos e insumos agroflorestais possuem afinidade para o mercado comercial. E essa bioeconomia é resultado direto dos desdobramentos de diferentes áreas do conhecimento, incluindo ciências básicas, tais como biologia molecular, microbiologia, biologia celular, genética, genômica, embriologia, fisiologia etc., e ciências aplicadas, tais como técnicas imunológicas, químicas e bioquímicas (Willerding *et al.* 2020).

No entanto, os serviços ecossistêmicos providos pela floresta são impactados pelo funcionamento do ecossistema através da regulação climática por meio do estoque e armazenamento de carbono e regulação do ciclo hidrológico pela evapotranspiração que, conseqüentemente, causa impactos econômicos e tecnológicos de inovação em biodiversidade (Costa *et al.* 2021). A mudança climática decorrente, principalmente, do desmatamento regional estão contribuindo para liberação de estoques de carbono do solo, alteração do ciclo hidrológico, influenciando a agricultura e agrava o aquecimento global (Fearnside 2006, 2008, dos Reis *et al.* 2021). O desmatamento da Amazônia brasileira bateu um recorde negativo em 2020 atingindo a maior taxa da década. De acordo com dados levantados pelo INPE (2020), dentre os anos de 2000 e 2018, a Amazônia foi o bioma brasileiro que mais perdeu sua cobertura vegetal natural, com redução de 269,8 mil km<sup>2</sup>. Essas intervenções nos ciclos naturais associados com os

períodos de seca têm contribuído para um enorme estresse ecológico à floresta tropical, bem como o aumento da ocorrência de incêndios e maiores emissões de carbono no leste do estado do Amazonas (Gatti *et al.* 2021).

A vegetação é intimamente dependente do clima, pois para a produção de sua energia as folhas absorvem o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) da atmosfera e transformam-o em biomassa por meio do processo de fotossíntese. A Amazônia é conhecida por funcionar como um sumidouro de carbono, e esse CO<sub>2</sub> atmosférico absorvido e armazenado facilita o crescimento em diâmetro das plantas, se tornando fundamental diversos processos ecológicos (Feldpausch *et al.* 2016). Nesse sentido, as variações climáticas influenciam diretamente o crescimento das árvores, visto que assimilação de CO<sub>2</sub> depende diretamente dos limites de temperatura do ar, afetando os processos de fotossíntese e respiração celular (Berry e Bjorkman 1980; Godoy *et al.* 2009).

Dentre as variações, o déficit hídrico atua como um dos efeitos mais prejudiciais e desencadeia estresses ambientais que trazem grandes desvantagens no desenvolvimento e produtividade das plantas (Lecoeur e Sinclair 1996). A baixa disponibilidade hídrica do solo influencia diretamente na diminuição da área foliar total e, conseqüentemente, reflete na redução da taxa transpiratória (Larcher 2006). Estudo recente de McDowell *et al.* (2018) mostra que altas temperaturas da floresta tropical em associação com baixa umidade relativa do ar têm formado um elevado déficit de pressão de vapor d'água na atmosfera, causando um maior fechamento dos estômatos limitando assim a transpiração. Essa condição hidráulica do processo estomático intensifica a falta de carbono para seus processos fisiológicos, sendo apontado como uma das principais causas do aumento da mortalidade de árvore nas Américas, principalmente durante a estação seca. Pois na seca, o déficit de vapor de água médio diário costuma ser mais alto do que na estação chuvosa, podendo inclusive gerar um balanço de carbono negativo, mesmo com disponibilidade de água no solo relativamente alta (Da Rocha *et al.* 2004; Zhao *et al.* 2013).

Durante o período de estação seca, com o aumento da radiação solar e diminuição das chuvas, a evapotranspiração e o fluxo de calor sensível da floresta tropical tendem a aumentar como forma de resfriamento da área foliar das plantas (Da Rocha *et al.* 2004; Bonan 2008). Estudos realizados na Amazônia mostram que nesta estação, em algumas partes da floresta, as árvores crescem mais devagar, tendo a precipitação (19,8%) e a radiação solar (16,3%) como os principais fatores sazonais interferentes sobre o diâmetro (Wagner *et al.* 2014). Por outro lado, o aumento da

irradiância na seca não levam ao aumento do crescimento de algumas espécies como *Eschweilera collina* e *Protium hebetatum*, mas houve uma tendência para que o crescimento das árvores aumentasse com o aumento da precipitação mensal e da umidade relativa mínima (Camargo e Marengo 2017). No entanto, Dias e Marengo (2016) mostraram que a precipitação mensal não influenciou a variável ao longo do ano na região para outras 28 espécies, levantando a hipótese de que na Amazônia a estação seca não é prolongada o suficiente para interferir no crescimento.

Um conjunto de condições endógenas e exógenas como fatores climáticos, edáficos, topográficos, genéticos e competitivos entre as árvores regulam o processo de crescimento e desenvolvimento das plantas (Prodan *et al.* 1997). A competição entre elas é a interação entre os indivíduos da mesma população resultante da concorrência por um recurso vital limitado, resultando na diminuição do crescimento e influenciando no desenvolvimento produtivo das espécies próximas e, conseqüentemente, na produção florestal (Begon *et al.* 1986). Alguns estudos abordando aspectos mecanicistas da competição no crescimento das árvores em florestas tropicais naturais mostram que, no geral, esta competição é maior à medida que se nota um maior incremento diamétrico nas árvores de maior diâmetro, por outro lado, árvores de sub-dossel, apresentam maior competição e menores taxas de crescimento, aumentando a probabilidade de mortalidade (Castro *et al.* 2014, Vatrax *et al.* 2018). Segundo Cunha e Finger (2013), as árvores de maior porte, devido a localização estratégica no estrato superior da floresta, apresentam melhores condições de iluminação de suas copas, e conseqüentemente menor competição, diferentemente das menores com maiores índices de esgotamento de recursos, alterando o seu desempenho fisiológico.

Entre árvores, a dinâmica de competição interespecífica de um indivíduo mais forte, em relação às suas vizinhas de espécies diferentes, possibilita estimar se a presença da espécie mais ativa é prejudicial à atividade da mais fraca dentro do povoamento florestal (Weiskittel *et al.* 2011). Os efeitos do contínuo estado de competição causam a redução de disponibilidade de recursos acima e abaixo da superfície do solo como a luz, água e nutrientes presentes no ambiente, alterando o comportamento das variáveis dendrométricas, possibilitando a mortalidade (Aschehoug *et al.* 2016).

Para quantificar a competitividade do ambiente de uma árvore são comumente utilizados índices de competição, que são considerados modelos eficientes de avaliação para o crescimento e desempenho das árvores, pois levam em consideração variáveis

individuais tanto da árvore avaliada quanto de árvores vizinhas, melhorando a precisão dos ajustes (Vanclay *et al.* 2013). Estudos realizados utilizando índices de competição observaram que a competição assimétrica reduziu o crescimento em diâmetro entre espécies arbóreas da floresta Amazônica, variando entre as diferentes classes de tamanho dos indivíduos (Cunha e Finger 2013). Em contrapartida, o trabalho de Schons *et al.* (2021) mostraram espécies com crescimento menos sensíveis à variação da competição. Essas diferenças podem estar associadas aos diferentes níveis de tolerância à luz apresentada por cada espécie (Tenzin *et al.* 2017). Todavia, são necessários estudos que consideram a relação dos índices de competição e o crescimento de espécies do trópico úmido trazendo à luz da influência de variáveis climáticas. Os modelos de crescimento utilizados atualmente, em geral, não levam em conta os efeitos climáticos e a interação entre espécies vizinhas, e essa ausência dessa sensibilidade climática e os recursos limitantes em modelos de crescimento pode resultar em projeções pouco confiáveis conforme o clima muda na Amazônia.

O incremento em diâmetro varia significativamente com a heterogeneidade tanto entre e dentro das espécies arbóreas na floresta, além da idade das árvores, sanidade, estações do ano e condições microclimáticas (Higuchi *et al.* 2003). A predição do crescimento dos diâmetros ao longo do fuste de uma árvore periodicamente por bandas dendrométricas é uma das medidas mais importantes a ser obtida de uma árvore, pois fornece a base para muitos outros cálculos como o volume das árvores e de seu povoamento, além de ser umas das formas de avaliar a capacidade de armazenamento de carbono presente da atmosfera (Phillips *et al.* 1998; Turton 2005; Machado 2009). Levado em consideração a ampla biodiversidade encontrada na Amazônia, estudos de Dias e Marengo (2016) mostram diferenças nos padrões de crescimento em diâmetro mais rápido em algumas espécies, como por exemplo, *Inga laurina*, *Scleronema micranthum* e *Tachigali venusta*, do que em outras como *Gustavia augusta*, *Mezilaurus itauba* e *Theobroma sylvestre*. Diante disso, pesquisas sobre os padrões de crescimento de longo prazo de outras espécies arbóreas nos permite coletar informações sobre a dinâmica florestal e permitindo prever seu desenvolvimento em condições variáveis de clima, possibilitando formular critérios de planos de manejo, como ciclos de intervenção.

A dinâmica das florestas em regiões tropicais pode variar de acordo com sua localização geográfica e os fatores ambientais locais (Nogueira *et al.* 2008). E essa

interação com fatores abióticos do meio, como a temperatura, umidade, luz e competição, em conjunto com as características das espécies, apresenta grande destaque na modulação do potencial de crescimento de árvore, e consequência interferindo na dinâmica das florestas (Vieira *et al.* 2004; Rüger *et al.* 2012). Na região, dados do crescimento do diâmetro e densidade da madeira das árvores possibilitam estimar a biomassa das árvores e os estoques de carbono local, podendo inclusive definir um amplo gradiente de biomassa em toda a Amazônia, além de fornecer informações sobre o estágio sucessional da floresta em um determinado local (Baker *et al.* 2004; Chave *et al.* 2006; Nogueira *et al.* 2008).

Neste contexto, investigar os efeitos ecofisiológicos de árvores da floresta tropical, é de primordial importância hoje, dado as mudanças do clima, principalmente os aumentos de temperatura esperados nas próximas décadas. Nesse sentido, para uma melhor compreensão da dinâmica da floresta amazônica, é de fundamental importância estudos determinando a resposta desse ecossistema em relação às variáveis micrometeorológicas, contribuindo tanto para informações sobre o acúmulo de carbono quanto para práticas e estratégias de planos de manejo florestal. Além disso, tais estudos podem contribuir para condução e elaboração de modelos que propõem prever de como árvores da Amazônia responderão às modificações na temperatura, irradiância, déficit hídrico, déficit de pressão de vapor e a sua interação entre espécies arbóreas de terra firme, especialmente daquelas de maior interesse ecológico e econômico.

As variáveis micrometeorológicas que modulam o crescimento das árvores estão muitas vezes correlacionadas, portanto para a condução de uma análise de regressão, as variáveis podem não ser determinado de forma única, pois incluem grande parte da mesma variância da variável de resultado, o que dificulta elucidar os efeitos individuais de cada variável (Montgomery *et al.* 2012; Wagner *et al.* 2014). Segundo Marengo e Antezana-Vera (2021) uma das formas de quantificar o efeito individual das variáveis microclimáticas no crescimento das árvores na Amazônia central pode ser obtida utilizando o método de regressão por componentes principais (PCR), que exclui as dimensões que contribuem para causar problema de colinearidade. Diante do exposto, este trabalho busca avaliar como as mudanças micrometeorológicas e a competição interespecífica influenciam a ecofisiologia de espécies arbóreas em ambientes de terra firme na floresta da Amazônia Central.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Investigar o efeito individual das variáveis micrometeorológicas e da competição interespecífica no crescimento de espécies de uso múltiplo em ambientes de terra firme na floresta da Amazônia Central.

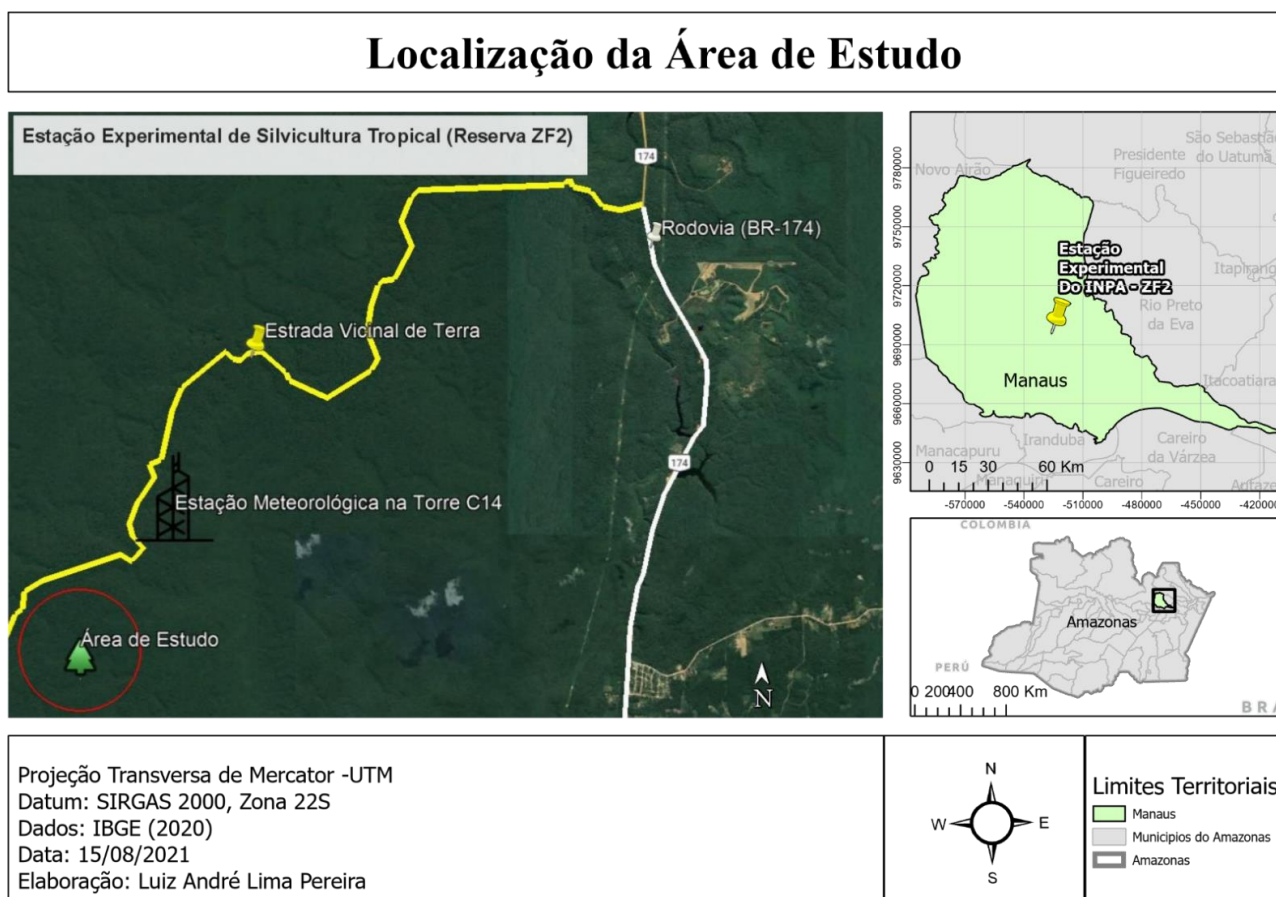
### **Objetivos específicos**

1. Determinar quais são as variáveis micrometeorológicas mais influentes no incremento mensal de sete espécies de árvores;
2. Determinar como as variações micrometeorológicas das espécies influenciam no incremento em diâmetro das árvores;
3. Selecionar o melhor índice de competição para as árvores de estudo e avaliar a existência de interações competitivas de árvore individual e sua relação com o crescimento das espécies em função das variáveis micrometeorológicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O projeto foi conduzido na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (Reserva ZF2 – 60 km ao norte de Manaus, Amazonas, Brasil – 02°36'21" S, 60°08'11" W), pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), como parte subsequente do projeto de pesquisa que vem sendo realizado pelo Laboratório de Ecofisiologia de Árvores sobre a fisiologia e crescimento de árvores numa floresta de terra-firme da Amazônia Central. Nesse sentido, foram utilizados dados coletados de anos anteriores (2018 a 2020) somados com dados coletados durante o período do mestrado (2021 a 2022). O acesso à reserva é feito via rodovia (BR-174), Km 50, seguido de mais 18 km de estrada vicinal de terra no ramal da ZF2, como ilustrado na Figura 1. A topografia apresenta sequência de platô, vertente e baixio. A área é um planalto de floresta tropical primária de terra firme sem intervenção, com elevação em torno de 125 m acima do nível do mar e com características típicas da parte central da região amazônica, com grande diversidade de espécies lenhosas e herbáceas.



**Figura 1.** Localização da área de estudo



A temperatura média da área é 26 °C e possui irradiância média máxima cerca de 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  acima do dossel. Apresenta dois períodos sazonais distintos quanto ao regime pluviométrico, com uma estação seca moderada caracterizado por precipitação  $\leq 100$  mm/mês, entre agosto e outubro, e uma estação chuvosa, com maiores níveis de precipitação, variando entre 250 e 300mm/mês entre novembro e maio (Dias e Marengo 2016). De acordo com Camargo e Marengo (2017) a precipitação anual média é de 2.848 mm. A umidade relativa média do ar (UR) é 85,8%, exibindo médias de 73,8% e 82,8%, nos períodos sazonais de seca e chuva, respectivamente (Tribuzy 2005; Camargo e Marengo 2017). Conforme a classificação de Köppen, o clima do local é do tipo Af, isto é, tropical chuvoso, com precipitação anual elevada e predominantemente forte, com temperatura elevada, e caracterizado por não ter praticamente um período de seca definida (Alvares *et al.* 2013).

O solo é representado pelo tipo Latossolo Amarelo de textura argilosa (areia 11%, limo 15% e argila 74%), com pH 4,0 e baixa fertilidade. A altura do dossel das árvores da área de estudo pode atingir mais de 30 m de altura, mas também com árvores emergentes com copas que crescem acima da floresta que podem alcançar 45 m de altura. O índice de Área Foliar (IAF) varia entre 4,5 e 5,7 (Mendes e Marengo 2017).

## **Material Vegetal**

Espécies arbóreas da floresta tropical úmida de terra firme foram selecionadas na área de estudo seguindo os critérios de ocorrência, de abundância e seus usos múltiplos, abrangendo como fatores de seleção a relevância econômica, medicinal e ecológica. Nesse sentido, foram estudadas sete espécies (Tabela 1), cada uma com pelo menos três indivíduos, totalizando 33 árvores, com altura entre 18 e 35 metros, pertencentes as quatro famílias com maiores relevância agrícola e mais abundantes na área de estudo, com DAP  $\geq 15$  cm foram selecionadas para este projeto, recebendo luz solar direta ou ainda sobrepostas por indivíduos adjacentes.

**Tabela 1** - Nomes científicos das espécies, número de árvores (N), famílias e o uso econômico para as sete espécies estudadas.

Espécies	Sigla	N	Família	Camada do estrato vertical	Potencial de Uso
<i>Eschweilera bracteosa</i>	Ebra	13	Lecythidaceae	sub-dossel	Ecológica , Madeireira (Oliveira e Amaral 2004, Condé <i>et al.</i> 2016)
<i>Eschweilera coriacea</i>	Ecor	4	Lecythidaceae	dossel	Ecológica , Madeireira (Alvino <i>et al.</i> 2005)
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Egra	3	Lecythidaceae	sub-dossel	Madeira, Medicinal (Corrêa 1984, Shanley e Rosa 2004)
<i>Goupia glabra</i>	Ggla	3	Goupiaceae	dossel	Alimentícia, Ecológica, Madeira, Medicinal (Duke e Martinez 1994, Lopez <i>et al.</i> 2001, Oliveira e Amaral 2004)
<i>Gustavia augusta</i>	Gaug	3	Lecythidaceae	sub-dossel	Ecológica e Medicinal (Souza <i>et al.</i> 2001)
<i>Pourouma tomentosa</i>	Ptom	3	Urticaceae	dossel	Alimentícia (Yáñez 1999)
<i>Pouteria reticulata</i>	Pret	4	Sapotaceae	dossel	Comestível Alimentícia, Ecológica, Madeira (Monteiro <i>et al.</i> 2007, Muller-Landau <i>et al.</i> 2008, Reis <i>et al.</i> 2013)

### *Eschweilera bracteosa*

Conhecida popularmente como ‘matamatá amarela’, *E. bracteosa* é uma espécie cujo porte pode variar de pequeno a grande, podendo atingir até 25 metros, sem sustentação. Pertencente à família Lecythidaceae é amplamente distribuída na América do Sul, em regiões tropicais e subtropicais, em países como Colômbia (Caquetá), Venezuela e Peru e nas partes Central e Ocidental da Amazônia, compreendendo estados como Amazonas e Rondônia. Morfologicamente, a espécie apresenta casca lisa cinzenta, com aspecto externo de casca menor que 1 mm de espessura e interno com 2 mm na cor amarelo vivo ou, às vezes, tingido em tom de laranja. Possui folhas relativamente grandes e flores com 4-5 cm de diâmetro. O pico de floração ocorre de julho a novembro, mas as coleções de flores também vêm de fevereiro, março e abril. Seu fruto é amplamente turbinado em forma de concha ou taça. Cresce, principalmente, nos biomas tropicais úmidos, sendo comum em florestas de areia branca e outras áreas mais abertas. A espécie é economicamente importante, pois apresenta um dos maiores valores de importância Índice de Valor de Importância (IVI) em trabalhos locais, bem como tem relevante interesse para o equilíbrio ecológico florestal (Prance and Mori 1979).

*Eschweilera coriacea*

Conhecida popularmente como ‘matamatá-verdadeira’, também recebe o nome de mata-matá, mata-matá branco, mata-matá roxo. *E. coriacea* é uma espécie cujo porte pode variar de médio a grande, normalmente com sapopemas, podendo atingir até 37 metros, sem sustentação. Pertencente à família Lecythidaceae é amplamente distribuída na América Central e Tropical, principalmente, na Amazônia, nas Guianas, na Colômbia e na Venezuela, típica de clima tropical e subtropical. Morfologicamente, a espécie apresenta casca marrom a marrom muito escura, quase preta, áspera ou mais ou menos lisa, a casca externa com até 1 mm de espessura, a casca interna com 5-7 mm de espessura, branco amarelado a marrom amarelado. Ritidoma escuro com linhas de lenticelas verticais. Possui flores de 3,5 a 5 cm de diâmetro. O pico de floração ocorre de agosto a dezembro nas Guianas e na Amazônia., mas as coleções de flores também vêm de janeiro a setembro no oeste dos Andes. Suas sementes, oleaginosas, são muito procuradas por animais silvestres, e acabam servindo como dispersores das mesmas. Cresce principalmente nos biomas tropicais úmidos, e conhecida como uma das árvores mais comuns em platô, em ambientes não inundados. A espécie apresenta um dos maiores valores de densidade na categoria de madeiras de alto valor comercial. É uma típica árvore madeireira com elevado potencial de utilização, conhecida como uma das espécies comercialmente importantes e de uso econômico da Amazônia, e entre a espécie da família mais frequentes nas florestas de terra firme na Amazônia Central. Além disso, também é usada em alimentação e para tratamentos medicinais. São muito frequentes em áreas de clareira e de sub-dossel. É uma espécie com boa regeneração e tolerantes à sombra quando em ambientes fechados (Moutinho *et al.* 2010) (Ribeiro *et al.* 2000).

*Eschweilera grandiflora*

Conhecida popularmente como ‘matamatá-rósea’. *E. grandiflora* é uma espécie cujo porte pode variar de pequeno a médio, normalmente sem sapopemas, podendo atingir até 22 metros, sem sustentação. Pertencente à família Lecythidaceae é amplamente distribuída em florestas não inundadas nas planícies da Guiana Francesa

para o leste e oeste da Amazônia brasileira até a Amazônia do Peru, principalmente nos estados do Amapá, Amazonas e Pará, típica de clima tropical e subtropical. Morfologicamente, a espécie apresenta casca marrom a marrom muito escura, quase preta, áspera ou mais ou menos lisa, a casca externa com até 1 mm de espessura, a casca interna com 5-7 mm de espessura, branco amarelado a marrom amarelado e com uma camada vermelha entre casca viva e morta. Folhas com estrias longitudinais distintas, também é uma característica única para a espécie. Flores com capuz de androceu enrolado, aproximadamente de 20-30 x 20-30 mm, branco ou amarelo por fora, amarelo mais intenso por dentro, duplamente enrolado, os apêndices sem anteras. Ritidoma escuro. Possui flores de 4,5-6 cm de diâmetro. O pico de floração ocorre de outubro a janeiro e amadurece seus frutos de janeiro a março nas Guianas. Possuem de 1 à várias sementes por fruto, redondas na seção transversal, tornando-se verde-azuladas quando cortadas. Frutos globosos deprimidos, 2,5-4 x 5-6 cm. Cresce principalmente nos biomas tropicais úmidos. Apresentam valor madeireiro, possuindo propriedades físicas anatômicas com a de outras geralmente utilizadas na fabricação de pisos e móveis Além disso, também é usada para fins medicinal (Ribeiro *et al.* 2000).

### *Goupia glabra*

Conhecida popularmente como ‘Cupiúba’. Também chamada de cachaceiro, copiúva, cupiúba-rosa, peniqueiro, peroba-do-norte, peroba-fedida, vinagreiro. *G. glabra* é uma espécie de grande porte e crescimento rápido, tronco cilíndrico, base reta a acanalada, podendo atingir até 50 metros, sem sustentação, com tronco de até 1,3 m de diâmetro e na base, 2 m de diâmetro. Pertencente à família Goupiaceae é amplamente distribuída na América do Sul tropical, no norte do Brasil, principalmente Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia, e em outros países como Colômbia, Guiana Francesa, Guiana, Suriname e Venezuela. Morfologicamente, a espécie apresenta casca geralmente cinza-prateada a cinza-avermelhada, fibrosa, de superfície escamosa. Geralmente é perene, mas pode ser caducifólia na estação seca. Espécie de fácil identificação pelas folhas assimétricas, com nervuras secundárias fortemente ascendentes e terciárias perpendiculares à central. Possuem de 5 a 10 sementes por fruto. As folhas ficam enegrecidas quando secas. As flores são pequenas, amarelo-esverdeadas, com cinco sépalas e pétalas; eles são produzidos em cachos e são

polinizados pelo vento. *Ritidoma* rosa-esbranquiçado. O fruto é uma drupa semelhante a uma baga vermelho-alaranjada com 5 mm de diâmetro. Seus frutos são muito procurados por animais silvestres, e acabam servindo como dispersores das sementes. Suas flores são produzidas em cachos e são polinizadas pelo vento. Cresce principalmente nos biomas tropicais úmidos. Caracterizada como espécie que demonstra boa aptidão para o manejo florestal, contendo alto de valor comercial, visto que é boa qualidade nas propriedades físico-mecânicas, como pesada, dura, textura média, grã irregular a revessa, apresenta boa resistência mecânica e ao apodrecimento. Essa espécie é bastante utilizada na construção naval e civil, pois possui múltiplos usos, incluindo construção externas como estruturas, postes e cruzetas; em construções internas como vigas, ripas, tacos e tábuas de assoalho, batentes de portas e janelas; mobiliário de madeira sólida. Sua madeira apresenta cheiro característico e desagradável quando fresca. Além disso, sua casca é usada como analgésico oral e suas folhas para catarata e para tingir a pele e o cabelo. (Ribeiro *et al.* 2000, Gurgel *et al.* 2015).

### *Gustavia augusta*

Conhecida popularmente como “Geniparana”, nome geniparana deriva do Tupi-guarani e que significa árvore semelhante ao jenipapo. Também recebe o nome de japaranduba, jandiparana, pau-fedorento, general, mucurão, castanha fedorenta, janipara, pau-bosta, china-pavana. *G. augusta* é uma espécie de médio porte, com copa globosa de folhagem densa e perene, podendo atingir até 10 metros de altura, porém no cultivo alcança 4 metros. Pertencente à família Lecythidaceae é amplamente distribuída em floresta primária e secundária, típica de clima tropical e subtropical, com origem no norte do Brasil, Guianas, Bolívia, Peru, Venezuela, Costa Rica, Panamá e Colômbia, encontrada frequentemente nos estados do Acre, Amazônia e Pará, mas se mostra bastante resistentes e adaptadas para crescer em qualquer região, mesmo no sul, suportando geadas leves. É típica de solos úmidos vermelhos e arenosos com boa drenagem da água das chuvas e com boas profundidades que mantenham unidade no subsolo. De luminosidade de sol pleno ou/e de sombra. Morfologicamente, a espécie apresenta cor da flor Branco-róseo com folhagem verde médio. Suas folhas são atrativos para abelhas e borboletas, além de atrair pássaros e macacos-aranha para se alimentar da polpa de seus frutos. Quando localizadas em ambientes de várzeas, seus frutos são

usados como alimentos para como alguns peixes, como o tambaqui, o pacu e o curimatá, principalmente ao longo do rio Yanayacu, no Equador e Peru. O pico de floração ocorre de outubro a novembro. Caracterizada como uma das mais importantes do gênero *Gustavia* por suas características botânicas e larga distribuição. Possui um odor fétido de mau cheiro de sua madeira. Os seus frutos (amêndoas), cascas e/ou folhas jovens são comumente preparados, em emplastos, como um remédio contra a leishmaniose, além de serem usados pela população nativa em água fria para fazer um remédio contra vômito, misturado com caulim (Prance e Mori 1979).

#### *Pourouma tomentosa*

Conhecida popularmente como ‘Embaúba-Da-Mata’, também recebe o nome de Imbaúba Do Vinho. *P. tomentosa* é uma espécie cujo porte pode variar de médio a grande, com lâmina inteira, base arredondada a truncada ou subcordada., podendo atingir até 30 metros, sem sustentação. Pertencente à família Urticaceae é amplamente distribuída em quase toda bacia Amazônica, embora tenda a desenvolver melhor dentro das florestas, primárias e secundária, com pouca ou nenhuma inundação, além de serem encontradas também nas Guianas e leste da Venezuela. A população juvenil tende a ser maior nas florestas secundarias. De luminosidade de sol pleno ou/e de sombra. Morfologicamente, a espécie apresenta suas folhas sésseis ou pediceladas, densamente glomeradas em cabeças (sub)globosas com 3 a 5 mm de diâmetro. O pico de floração ocorre de outubro e dezembro, enquanto o maior pico de produção de frutos maduros é entre período de janeiro a março. Seu fruto é perianto preto ou roxo, oblongo a elipsóide a ovóide, 1,5-2 × 0,8-1,5 cm, predominantemente denso. Cresce em floresta primária e secundária, típica de clima tropical e subtropical. (Ribeiro *et al.* 2000).

#### *Pouteria reticulata*

Conhecida popularmente como ‘Abiurana-cascuda’, também recebe o nome de fruta-bolacha-recheada, Abionana-preta, Guapeva-mirim, Fruta de Pacú e Pau-pereira. *P. reticulata* é uma espécie cujo porte pode variar de médio a grande porte, com base acanalada ou com sapopemas, podendo atingir até 30 metros de altura e 50 cm de

diâmetro, com látex branco abundante, porém no cultivo não passa de 6 metros. Após o plantio a planta cresce lentamente nos primeiros 2 anos e não necessita de cuidados especiais, devendo-se apenas cobrir a superfície com capim cortado e eliminar possíveis erva daninha. Bastante resistentes e adaptadas, pois aprecia qualquer tipo de solo com alguma textura arenosa, fracos ou com boa fertilidade natural, que sejam profundos e de rápida drenagem da água das chuvas, suportando até solos argilosos e mal drenados, podendo ser cultivada em todo o Brasil. Pertencente à família Sapotaceae é amplamente distribuída em todo os ambientes da Neotropical, amplamente distribuídos pelos estados brasileiros, inclusive em diferentes biomas. Morfologicamente, a espécie apresenta casca grossa e fendilhada de cor acinzentada. Nervuras secundárias quase em ângulo reto com a nervura central, intersecundárias curtas e numerosas; veias de ordem superior são densamente reticuladas (forma de rede) em ambas as faces da folha. Possui flores espiraladas e glabras com a base arredondada, de cor branco-esverdeadas, geralmente perfumadas. Ritidoma pode ser liso, estriado ou escamoso. O pico de floração ocorre de outubro e novembro na região central Amazônia. Seus frutos são arredondados e mede 1,5 a 4 centímetros com casca fina amarelada e polpa farinácea igual bolacha. Frutifica nos meses de fevereiro a abril. Possuem de 1 ou 2 sementes por fruto, redondas com casca clara e lisa e com cicatriz, medindo 1 cm de comprimento por 1 cm de largura. São recalcitrantes, perdendo o poder germinativo se forem secadas, por isso devem ser plantadas logo que despulpadas. A espécie apresenta bons frutos para consumo in natura, com sabor característico de bolacha doce recheada sabor baunilha. O fruto pode ser despulpado e a polpa utilizada para fazer sorvetes ou sucos, além de serem atrativos para diversas espécies de animais e pássaros se alimentarem (Ribeiro *et al.* 2000).

### **Variáveis micrometeorológicas**

Foram coletadas e armazenadas informações de dados climáticos por meio de sensores específicos conectados a um datalogger que registraram as condições atmosféricas locais acima do dossel da floresta. Esses dados foram obtidos a partir de uma estação meteorológica instalada na C14 (Figura 1), uma torre de observação com 50 m de altura, localizada no km 14 da estrada vicinal de terra no ramal da Reserva ZF2 (coordenadas 02°35'21" S, 60°06'53" W).

As variáveis micrometeorológicas analisadas neste estudo foram radiação fotossinteticamente ativa, umidade relativa do ar (mínima, média e máxima), temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação, déficit de pressão de vapor (mínima, média e máxima) e evapotranspiração.

A temperatura (°C) e umidade do ar (%) foram mensuradas por um sensor de temperatura-umidade (Humitter 50y, Oy Vaisala, Finland), conectados a um datalogger (LI-1400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA), medidas de maneira automática e contínua, com aparelhos configurados para registro dos dados a cada 15 minutos (leitura instantânea), 24 horas por dia. Um segundo sensor térmico adicional foi instalado (Thermo Recorder TR-52, T&D Corporation, Japan) na altura do dossel da floresta (35 metros) para medir e registrar as temperaturas diárias da copa das árvores. Para a mensuração da irradiância (Radiação Fotossinteticamente Ativa - PAR) foi utilizada um sensor quântico (Li-190SA, Li-Cor, NE, USA), configurado para a registro de dados a cada 15 min, entre às 05:30 h e 18:30 h do dia. Os dados da PAR foram integrados ao longo do tempo para se obterem valores diários ( $\text{mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ).

Os dados da precipitação (mm/mês) foram obtidos diariamente utilizando um pluviômetro (Em5b, Decagon, WA, USA). Um segundo pluviômetro convencional foi instalado para a coleta da chuva mensal acumulada, servindo de fonte secundária de dados em caso de problemas técnicos com o pluviômetro digital. Todas as variáveis climáticas foram mensuradas ininterruptamente durante 24 meses, proporcionando a observação da sazonalidade regional.

A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) do ecossistema, obtida de acordo com o método descrito por Hargreaves e Samani (1985). Para tanto, foi calculada com base nos dados adquiridos de irradiância e temperatura local, onde os valores para a  $ET_o$  (mm) foram obtidos e expressos por meio da fórmula:

$$ET = 0.0023 \times Ra (T_{\text{mean}} + 17.8) (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5}$$

Em que:

$a = 0,0023$  (é um parâmetro constante);

$Ra$  = radiação solar extraterrestre ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$  = diferença entre a temperatura máxima e mínima do dia (°C);

$T_{\text{mean}}$  = temperatura média do dia (°C).



O déficit de pressão de vapor (DPV) da área de estudo, relação da temperatura ambiente e umidade que mede a pressão criada pelo vapor d'água na atmosfera, foi estimado de acordo com o método descrito por método Buck (1981). Para tanto, o DPV (hPa) foi obtido pela diferença entre:  $e_s - e_a$ , onde:

O valor para  $e_s$  (hPa), pressão de saturação do vapor, foi obtido e expresso por meio da fórmula:

$$e_s = 10 * 0,613 \exp\left(\frac{17,502 * T}{T + 240,97}\right)$$

Em que:

T = Temperatura (°C).

O valor para  $e_a$  (hPa), pressão atual ou parcial de vapor, exercida pelo vapor d'água na condição de ar não saturado foi obtido e expresso por meio da fórmula:

$$e_a = UR * e_s / 100$$

Em que:

UR = Umidade relativa do ar (%);

$e_s$  = Pressão de saturação do vapor (hPa) (100% da umidade relativa)

### **Umidade do solo**

Para determinar os dados de umidade do solo foram coletadas amostras na camada superficial do solo, entre 0 e 20 cm de profundidade, próximo das espécies de estudo na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF2) por meio de cilindros volumétricos com área de 113,10 cm<sup>3</sup>. Cilindros com as amostras foram transportados em embalagem vedada e impermeável para as dependências do Laboratório de Ecofisiologia de Árvores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), onde foram pesados e transferidos para estufa a 105 °C, mantidos nesta temperatura até

atingirem massa constante. Amostras de solo ( $n= 12$ ) foram coletadas duas vezes ao mês, representando um total de 24 amostras por mês, totalizando 288 por ano. A localização da coleta foi variando ao longo do experimento de acordo com a proximidade e quantidade dos indivíduos. O teor de umidade do solo foi estimado seguindo o método descrito por Donagemma *et al.* (2011), pela diferença de peso (g) do solo úmido e seco, expressos por meio da fórmula:

$$\text{Umidade total} = \left( \frac{\text{solo úmido} - \text{solo seco}}{\text{volume da amostra do solo}} \right) \times 100$$

### **Incremento mensal em diâmetro do tronco (IMD)**

Para determinar os efeitos das variáveis climáticas no crescimento mensal das árvores foi realizada a medição no incremento mensal em diâmetro (IMD) do tronco a partir da dendrometria de 33 árvores pertencentes a sete espécies (Tabela 1). As medições das árvores foram feitas com auxílio de cinta de aço inoxidável (banda dendrométrica), instalada aproximadamente quinze anos antes do início do estudo (Dias e Marengo 2016). A medida foi realizada a partir de uma árvore em pé e realizada a 1,30 m de altura em relação ao nível do solo, diâmetro à altura do peito (DAP).

Os valores para o DAP (cm) foram obtidos pela relação de circunferência à altura do peito (CAP) e por  $\pi$ , expressos por meio da fórmula:

$$DAP = CAP / \pi$$

Em que:

CAP = Circunferência a Altura do Peito (cm);

$\pi \approx 3,1416$ .

O instrumento utilizado para a medição direta do diâmetro do tronco foi um paquímetro digital (Mitutoyo Sul Americana, São Paulo, Brasil) com precisão de 0,01 mm. Somente foram utilizadas árvores com  $DAP \geq 15$  cm, média do diâmetro de corte das espécies utilizadas. A determinação do incremento mensal em diâmetro foi medida mensalmente durante 48 meses. O IMD foi calculado por meio da diferença entre duas medições mensais consecutivas para confirmação da precisão dos valores.

## **Fenofase**

Dados fenológicos foram obtidos a partir de observações visuais com auxílio de binóculos duas vezes ao mês durante 24 meses (julho/20 a junho/22) foram observadas a mudança foliar de 33 árvores de 7 espécies diferentes. As análises fenológicas foram realizadas considerando as fenofases vegetativas: floração, frutificação e perda e a renovação foliar e. A fenofase foi analisada por meio da adaptação da classificação de Alencar *et al.* (1979), o qual propõe a modificação foliar da copa das árvores durante o ano em tipos de categorias que vão de 0 a 6, onde: (1) copa com poucas folhas e somente velhas; (2) copa cheia com folhas novas aparecendo; (3) copa somente com folhas novas; (4) copa cheia e somente com folhas velhas; (5) copa sem folhas e; (6) copa com poucas folhas e somente novas.

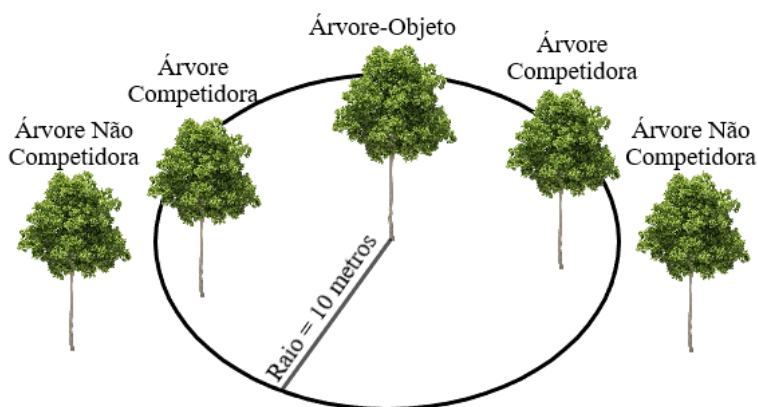
## **Competição entre árvores**

Para quantificar a competição das árvores vizinhas em relação as árvores-objeto do estudo foi medido o índice de competição (IC) dependente da distância. Isto é, medida incorporada através de informações espaciais de árvores vizinhas dentro da área de estudo, expressando assim a posição hierárquica da árvore dentro do povoamento e representando quanto cada árvore é afetada por sua vizinhança. Para isso, os números de competidores foram definidos em função do raio da copa e a distância entre árvores. Foram considerados competidores todos os indivíduos localizados à distância do raio fixo de 10 metros das árvores-objeto, equivalente a duas vezes o raio médio da copa das árvores da área, além das competidoras apresentarem, necessariamente, diâmetro igual ou superior a 15 cm. Para cada competidor foi medido o diâmetro do tronco (cm), a altura, a distância entre fustes em relação à árvore-objeto (m) e a área de projeção do diâmetro da copa (m).

As distâncias das árvores-objeto do estudo em relação os fustes dos vizinhos foram medidos com o auxílio de uma fita métrica (trena). As alturas foram obtidas por um escalador que escalou as árvores e com uma fita métrica mediu o tronco vertical, considerando a distância do solo até o ponto de inserção da copa. O diâmetro da copa foi obtido a partir de 4 raios segundo medidas angulares dos pontos cardeais (leste,

oeste, norte, sul), determinado pela distância do fuste da árvore-objeto de estudo e a projeção de sua copa. No caso de copas bastante irregulares foram medidos 8 raios, segundo os pontos cardeais e colaterais (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO). O diâmetro médio da copa (dc), em metros, foi determinado pela multiplicação do valor do raio médio da copa em metros por dois ( $2.rc$ ). Segundo Moravie *et al.* (1999) a capacidade de estimativa dos índices de competição espacial está fortemente relacionada com a espécie das árvores e as condições ecológicas do ambiente, visto que árvores compartilham recursos diferentes, cuja disponibilidade é limitada. Zhao *et al.* (2004) recomendam que, para modelar a competição de florestas tropicais, onde o povoamento é inequiano, isto é, no qual as árvores pertencem à diferentes classes de idade e diferentes misturas de espécies, é mais aconselhável utilizar índices de competição que são dependentes da distância, visto que o efeito de árvores vizinhas sob o crescimento da árvore-objeto diminui com a distância.

Nesse sentido, foram selecionados 5 índices dependentes da distância (IDD) com base em um conjunto de índices que mais se correlacionam com crescimento para árvores tropicais segundo a literatura. A partir disso identificamos aquele que melhor se aplica às espécies e às áreas estudadas neste trabalho. Os efeitos competitivos para cada espécie foram obtidos pela correlação nos modelos dependentes da distância com o DAP de cada árvore vizinha competidora. Um esquema representando a área de competição pode ser visualizado na Figura 2.



**Figura 2.** Representação do raio de competição dos índices dependentes da distância.

O índice de Moore *et al.* (1973) analisa a área potencial disponível, através da zona de influência primária para uma árvore individual de acordo com o conflito com árvores circundantes, onde quanto menor o índice, maior será a competição sobre a árvore *i.*, é expresso por meio da fórmula:

$$IC1 = \sum_{j=1}^n \frac{di^2}{di^2 + dj^2} * Lij$$

Em que:

$n$  = número de árvores competidoras;

$J$  = árvore competidora (cm);

$Lij$  = distância entre a árvore-objeto e a árvore competidora (cm);

$dj$  = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore competidora (cm);

$di$  = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore-objeto (cm).

O índice de Hegyi (1974) se baseia que o efeito competitivo de uma árvore vizinha aumenta tanto com a proximidade quanto com o aumento do tamanho em diâmetro, onde quanto maior o índice, maior será a competição sobre a árvore-objeto, é expresso por meio da fórmula:

$$IC2 = \sum_{j=1}^n \frac{dj}{di * Lij}$$

Em que:

$n$  = número de árvores competidoras;

$J$  = árvore competidora (cm);

$Lij$  = distância entre a árvore-objeto e a árvore competidora (cm);

$dj$  = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore competidora (cm);

$di$  = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore-objeto (cm).

O índice de Martin e Ek (1984), onde quanto menor o índice, maior será a competição sobre a árvore-objeto, é expresso por meio da fórmula:

$$IC3 = \sum_{j=1}^n \frac{dj}{di} * \frac{1}{(Lij + 1)}$$

Em que:

$n$  = número de árvores competidoras;

$J$  = árvore competidora (cm);

$Lij$  = distância entre a árvore-objeto e a árvore competidora (cm);

1= é adicionado para evitar a divisão por zero nos casos em que a distância é igual a zero (por exemplo, árvores bifurcadas);  
 dj = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore competidora (cm);  
 di = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore-objeto (cm).

O índice de Pukkala and Kolström (1987) se baseia que o efeito competitivo de uma árvore vizinha aumenta tanto com a proximidade quanto com o aumento do tamanho em altura, é expresso por meio da fórmula:

$$IC4 = \sum_{j=1}^n \frac{h_j}{h_i * L_{ij}}$$

Em que:

n = número de árvores competidoras;  
 J = árvore competidora (cm);  
 L<sub>ij</sub> = distância entre a árvore-objeto e a árvore competidora (cm);  
 h<sub>j</sub> = altura da árvore competidora (m);  
 h<sub>i</sub> = altura da árvore-objeto (m).

O índice de Rouvinen e Kuuluvainen (1997) sugere uma modificação do índice de Hegyi, atribuindo maior peso para a relação de diâmetros, onde quanto maior o índice, maior será a competição sobre a árvore-objeto, é expresso por meio da fórmula:

$$IC5 = \sum_{j=1}^n \left( \frac{d_j}{d_i} \right)^2 * \frac{1}{L_{ij}}$$

Em que:

n = número de árvores competidoras (cm);  
 J = árvore competidora (cm);  
 L<sub>ij</sub> = distância entre a árvore-objeto e a árvore competidora (cm);  
 d<sub>j</sub> = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore competidora (cm);  
 d<sub>i</sub> = diâmetro à Altura do Peito (DAP) da árvore-objeto (cm).

A competição é definida tanto pela disputa por recursos acima (principalmente competição por luz) e abaixo da superfície do solo (água e nutrientes do solo) (Weiskittel *et al.* 2011). Os índices IC2 e IC5, por reconhecer como competidoras árvores com diâmetro maior que a árvore objeto, representam a competição unilateral (luz), enquanto aos demais correspondem à competição bilateral. Um esquema visual da

influência de cada índice de competição pode ser observado no trabalho de Contreras *et al.* (2011).

### **Análises estatísticas**

Para avaliar a variação das diferenças entre espécies referente ao incremento em diâmetro das árvores, bem como a variação entre as características funcionais das espécies foi usada a análise de variância (ANOVA) repetida, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado, com 7 tratamentos (espécies) e no mínimo 3 repetições. Em relação as características funcionais, também foi realizada ao nível de espécie, dado as diferenças comportamentais. Antes de serem realizadas, os valores das variáveis foram padronizados, pela seguinte fórmula  $z = (x - \mu) / \sigma$ , onde  $x$  é o valor de medição,  $\mu$  é a média aritmética e  $\sigma$  é o desvio padrão, isto é particularmente recomendado quando as variáveis são medidas em diferentes escalas. As análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas utilizando o software R versão 3.6.3 (R Development Core Team 2020), utilizando o pacote PLS (Mevik e Wehrens 2015) e o software Sigma Plot 11.0.

Para determinar o efeito da sazonalidade das variáveis micrometeorológicas (temperatura, umidade, precipitação e irradiância) e características funcionais sobre o incremento em diâmetro das árvores foram realizadas análises de regressão por componentes principais, visando remover a colinearidade entre as variáveis. Nestas análises, foi utilizado o IMD corrigido, tirado a tendência temporal (o crescimento de amanhã depende do efeito de hoje), ou seja, o efeito do tempo no incremento em diâmetro foi removido (Marengo e Antezana-Vera 2021). Dessa forma, o crescimento em diâmetro dos indivíduos associado à variabilidade climática ( $IMD_D$ ), ou seja, o crescimento sem tendência temporal foi obtido pela diferença entre o crescimento observado ( $IMD_O$ ) subtraído pelo crescimento esperado ( $IMD_E$ , análise de regressão). Sendo assim:  $IMD_D = IMD_O - IMD_E$ . Para determinar o número de Principal Componentes (PC) a ser considerado foi adotado o critério de seleção que tem como base o número de PCs que leva ao maior valor de  $R_2$  ajustado (Jolliffe 2002), realizando assim a regressão com os componentes restantes.

Para a seleção do índice de competição mais responsivo para a área foi realizada através da correlação do coeficiente de correlação de Pearson entre os índices selecionados e a taxa de incremento em diâmetro entre as medições de 2018 e 2021, bem como a significância ou não das correlações pelo teste t, a 95% de probabilidade. A correlação entre os valores dos índices de competição e alguma característica de crescimento da árvore-objeto, como por exemplo, incremento em diâmetro, altura ou área transversal, é frequentemente utilizada para avaliar o desempenho de índices (Daniels 1976, Chassot *et al.* 2011, Castro *et al.* 2014, Tenzin *et al.* 2017). Neste trabalho, os índices de competição serviram como preditores no modelo de crescimento sendo correlacionados com a taxa de incremento observada durante o período de estudo. A utilização da correlação simples entre variáveis é um critério comum para a seleção do índice de competição mais responsivo (Daniels 1976). Foram calculadas correlações considerando 3 grupos de espécies de taxas significativamente similares de crescimento anual.

## **RESULTADOS**

### **Parâmetros micrometeorológicos**

Os resultados correspondentes as variáveis micrometeorológicas estão apresentadas como média para de janeiro de 2018 a dezembro de 2021. A precipitação (chuva) média anual foi 2587,7 mm, tendo os meses de junho a setembro as menores taxas de precipitação mensal (Figura 3), com o mínimo de chuva registrado de 58,00 mm no mês de setembro de 2018 (Figura 4A) e o máximo de 421,1 mm em janeiro de 2018 (Figura 4A). O ano com a menor taxa de precipitação foi 2020 com valores de 1930,5 mm, apresentando a menor quantidade de chuva na época de seca mais intensa na Amazônia (julho a setembro) com média mensal de 92,0 mm. O ano de 2021, apresentou a maior taxa de precipitação com 2926,4 mm, sendo o mês de março o único a apresentar precipitação média mensal superior a 350,60 mm (Figura 4D).



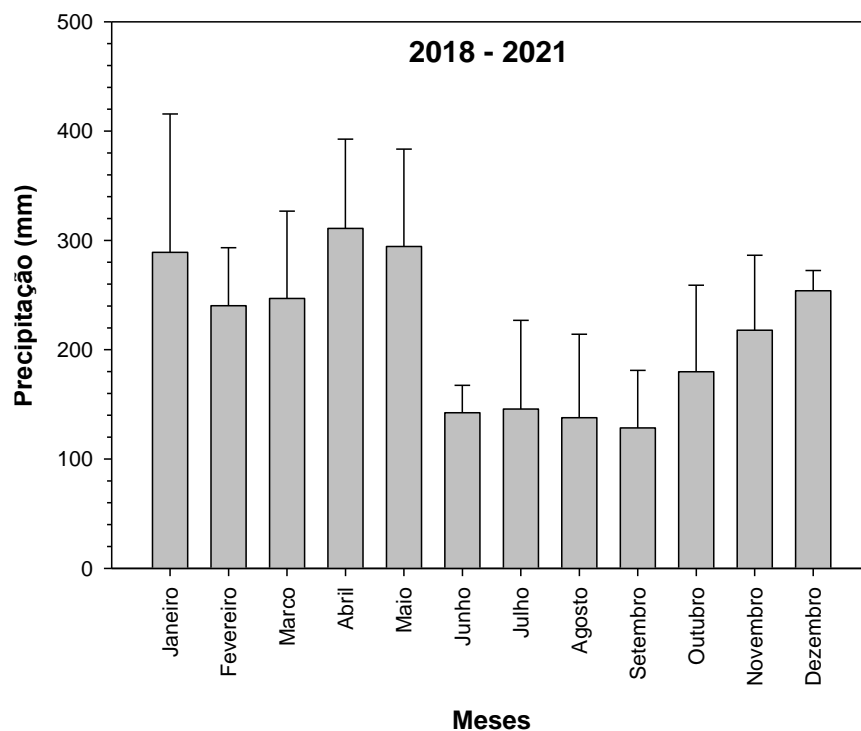


Figura 3 – Precipitação média mensal coletada na área de estudo de 2018 a 2021. Para cada mês, a média (e desvios padrão).

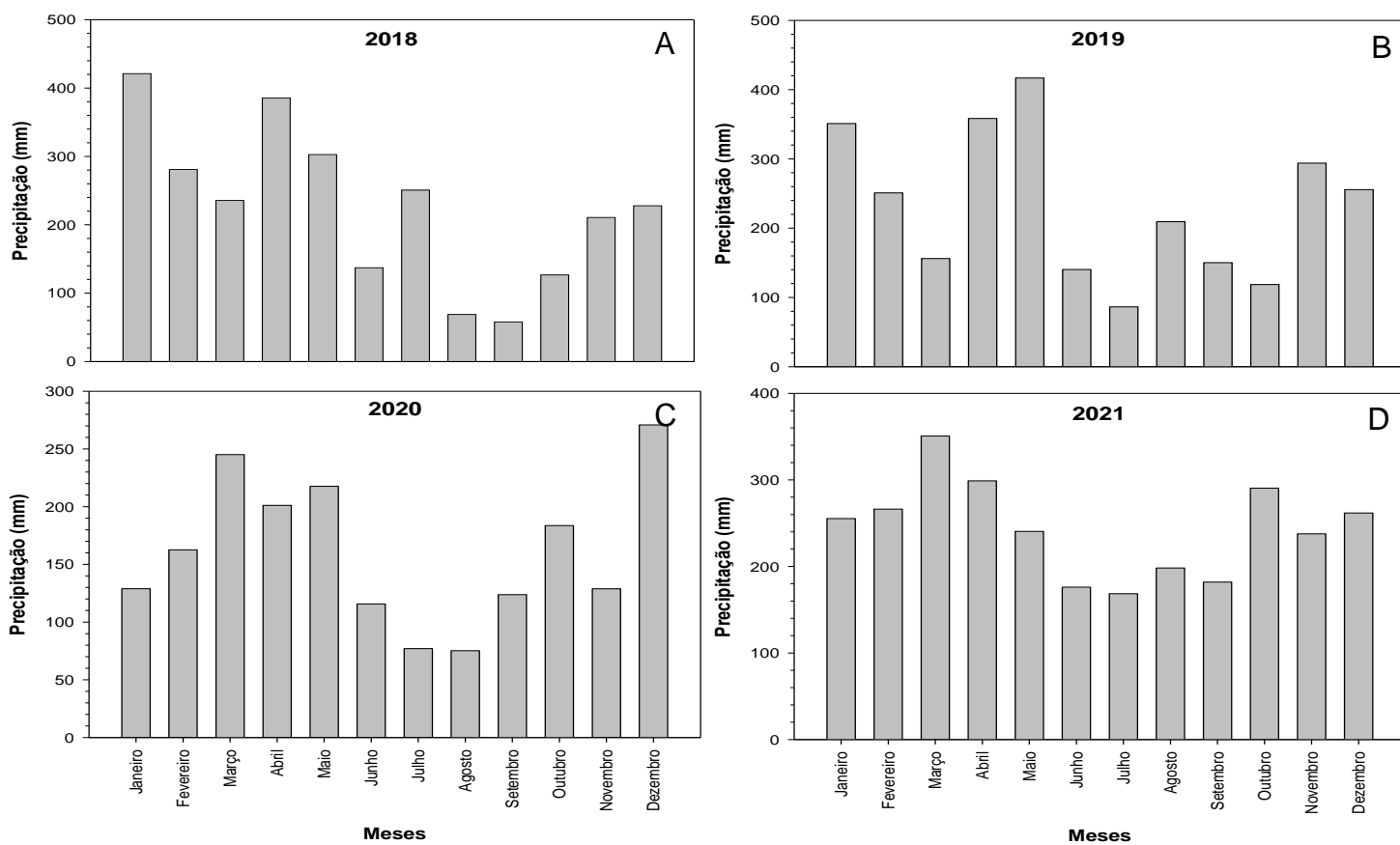


Figura 4 – Precipitação mensal coletada na área de estudo entre 2018 e 2021.

A temperatura média do ar ( $T_{med}$ ) foi de  $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com a média mínima ( $T_{min}$ ) de  $22,98\text{ }^{\circ}\text{C}$  e máxima ( $T_{max}$ ) de  $29,93\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os anos com as maiores temperaturas médias foram 2018 e 2019 com  $26,0$  e  $25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 6), respectivamente, apresentando, nos seus meses mais secos (julho a setembro). A média da temperatura mínima de  $22,11\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a média da temperatura máxima de  $31,52\text{ }^{\circ}\text{C}$  para 2019 e  $22,16$  e  $32,36\text{ }^{\circ}\text{C}$  para 2020 (Figura 5B e 5C). Nos meses mais chuvosos (dezembro a abril), as  $T_{min}$  e  $T_{max}$  foram  $23,72$  e  $28,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  para 2019 e  $22,78$  e  $30,43\text{ }^{\circ}\text{C}$  para 2020, respectivamente (Figura 5B e 5C). Já o ano de 2021 registrou a menor temperatura média com  $25,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tendo a média da temperatura mínima de  $22,36\text{ }^{\circ}\text{C}$  e média da temperatura máxima de  $30,89\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 6). Nos meses mais secos, as temperaturas mínima e máxima foi de  $21,86$  e  $32,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Nos meses mais chuvosos, as temperaturas mínimas e a máxima foram respectivamente  $22,52$  e  $29,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

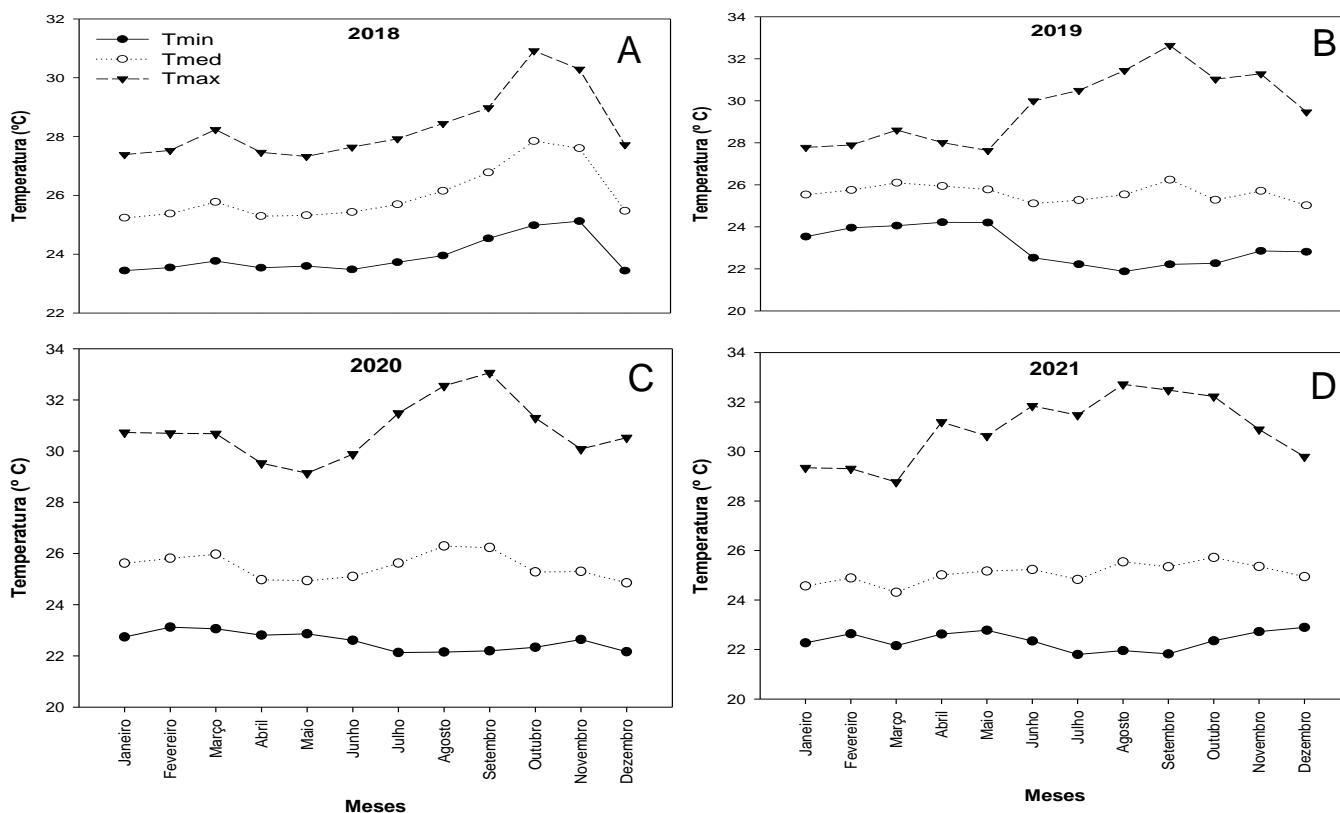


Figura 5 – Temperatura média mensal coletada na área de estudo entre 2018 e 2021.

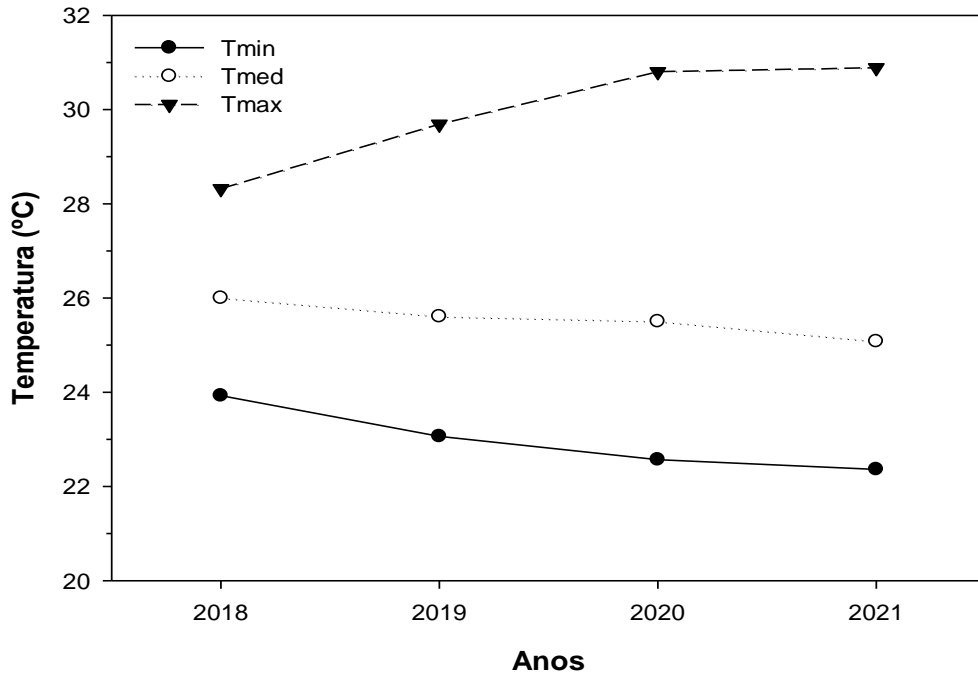


Figura 6 – Temperatura média anual coletada na área de estudo.

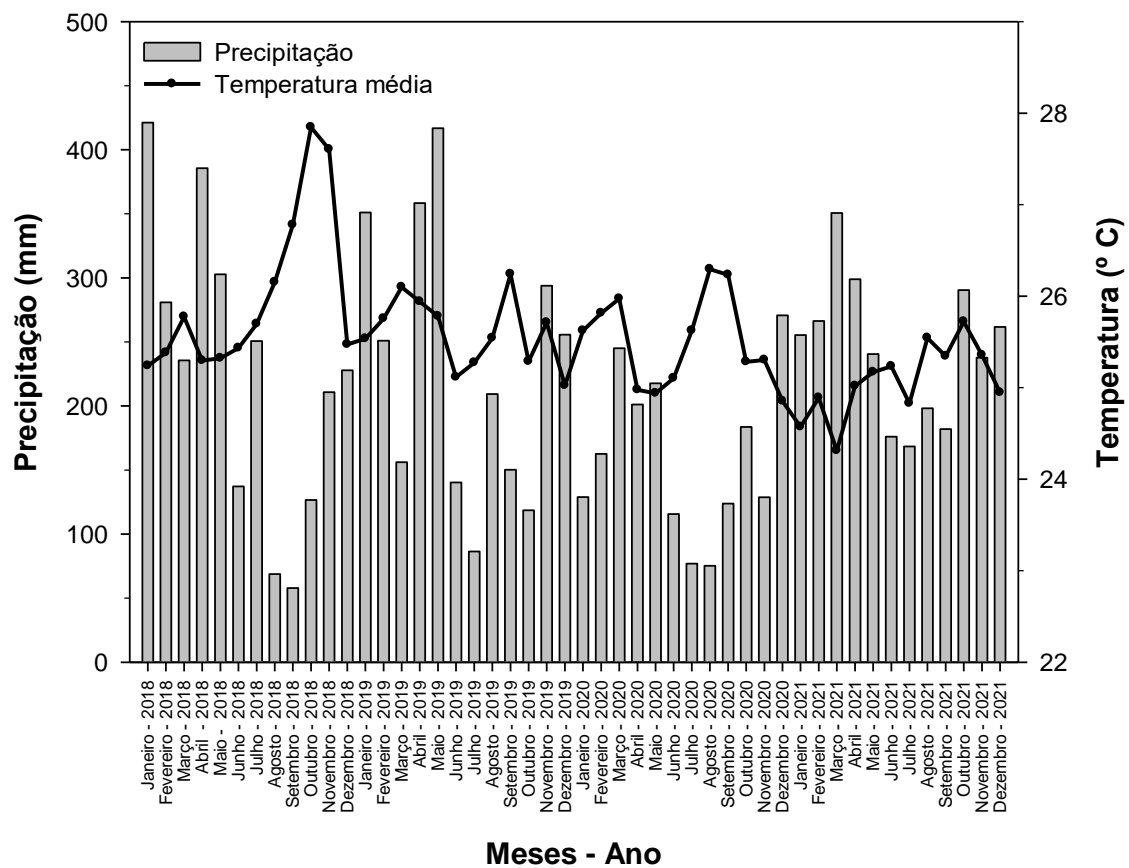


Figura 7 – Precipitação e temperatura média mensal coletada na área de estudo.

A Figura 7 mostra que durante a estação seca (junho a novembro), onde observaram as maiores temperaturas (média de 25,77 °C), as taxas de precipitação foram menores (158,67 mm). Por outro lado, nos meses de estação chuvosa (dezembro a maio), as temperaturas médias permaneceram elevadas (25,32 °C), porém as chuvas foram mais constantes (272,60 mm).

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante os quatro anos de amostragem foi em média 25,2 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (Figura 8). Já a média mensal da RFA acumulada por dia foi de 23,74 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, variando de 0 – 1606 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> entre 6 h – 12 h, atingindo os maiores valores diários nos meses secos, por volta de 12 h, principalmente durante o mês de setembro para todos os anos.

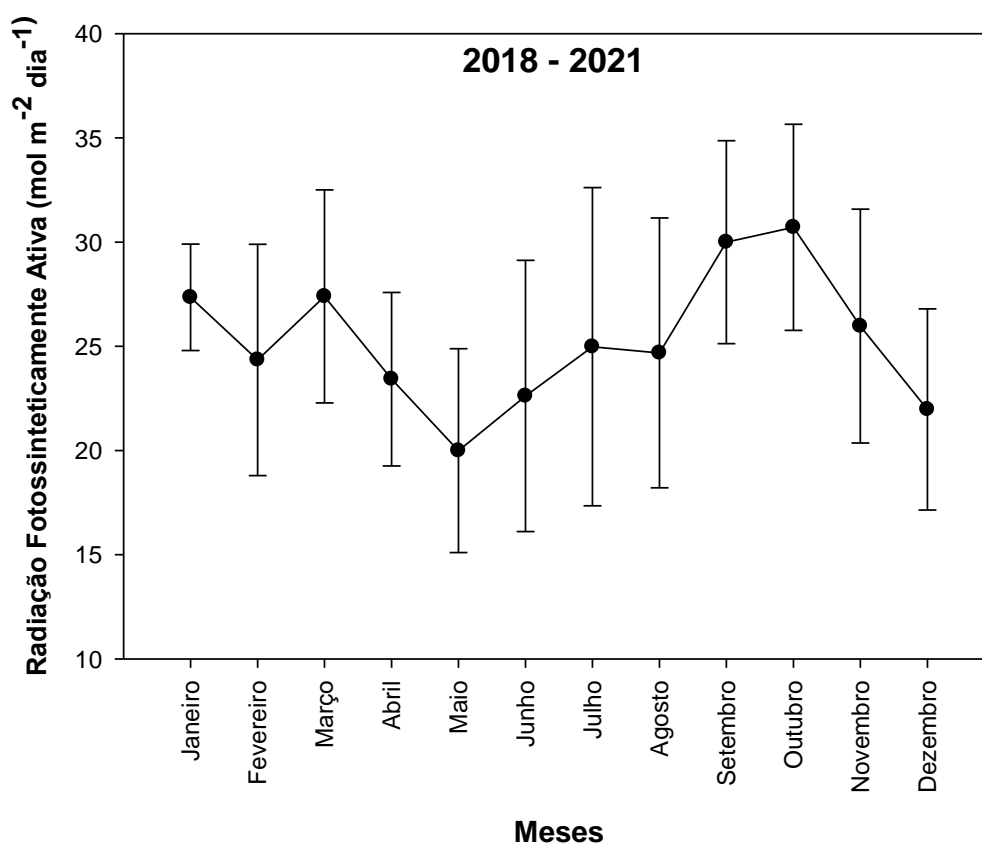


Figura 8 – Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) coletada na área de estudo entre 2018 e 2021. Para cada mês, a média (e desvios padrão) de quatro anos (2018 – 2021).

Os valores de DPVmed e a RFA acompanharam o efeito da variação mensal da temperatura, correlacionando-se positivamente e interagindo de forma coordenada, seguindo assim uma curva semelhante para ambas as variáveis (Figura 9).

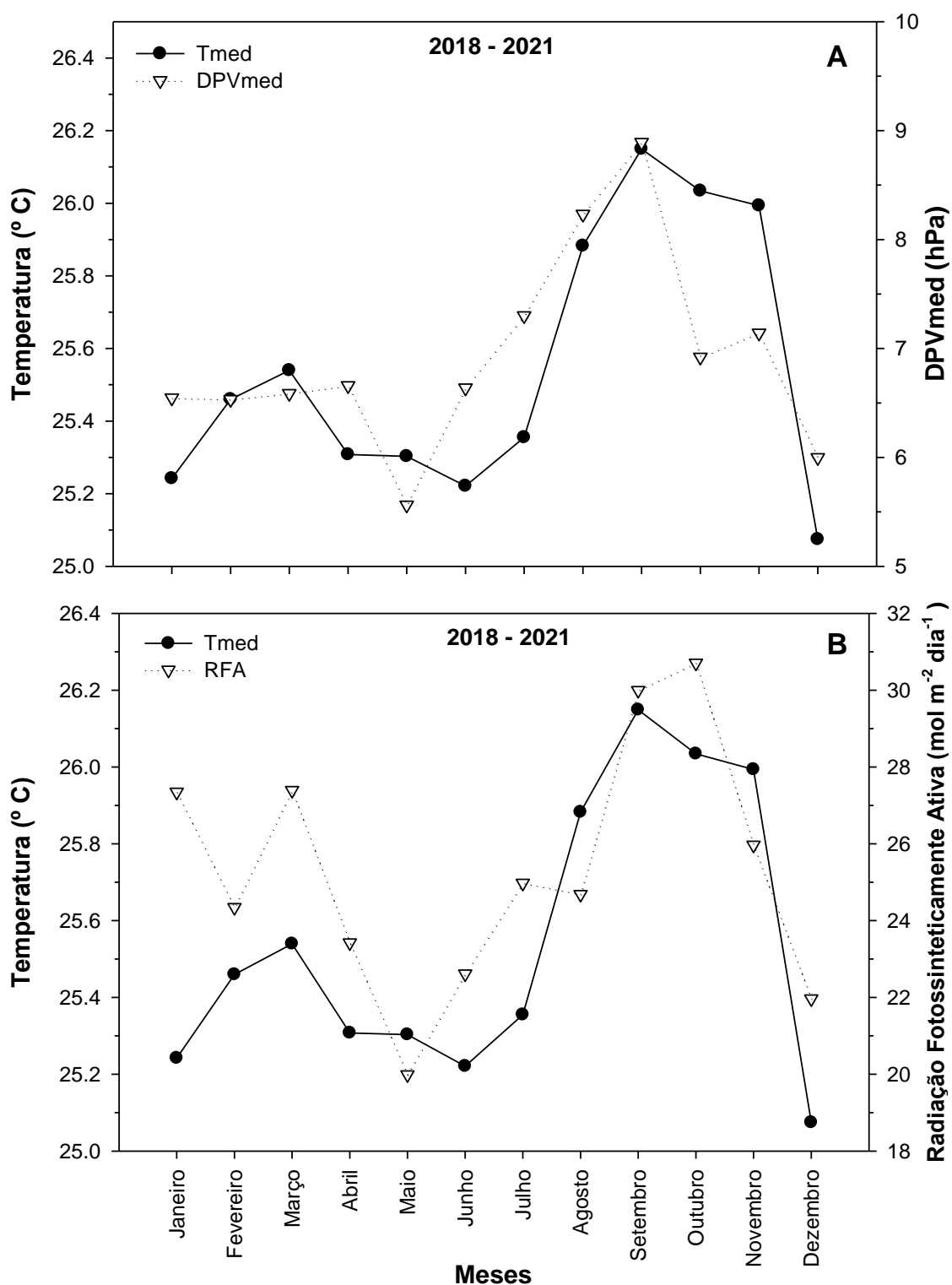


Figura 9 – Relação entre Temperatura e Déficit de Pressão de Vapor (DPVmed) (A) e Temperatura e Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) (B) coletada na área de estudo de 2018 a 2021.

A umidade relativa média do ar (UR) foi de 79,05 %, tendo as menores taxas de URmed nos meses de seca mais intensa, como julho (77%), agosto (75%) e setembro (73%), com um mínimo de 62,67 % (URmin) ao meio-dia e máximo de 91,48 % (URmax) após às 18:00 h da noite, sempre muito próxima de 100% em todos os meses (Figura 10).

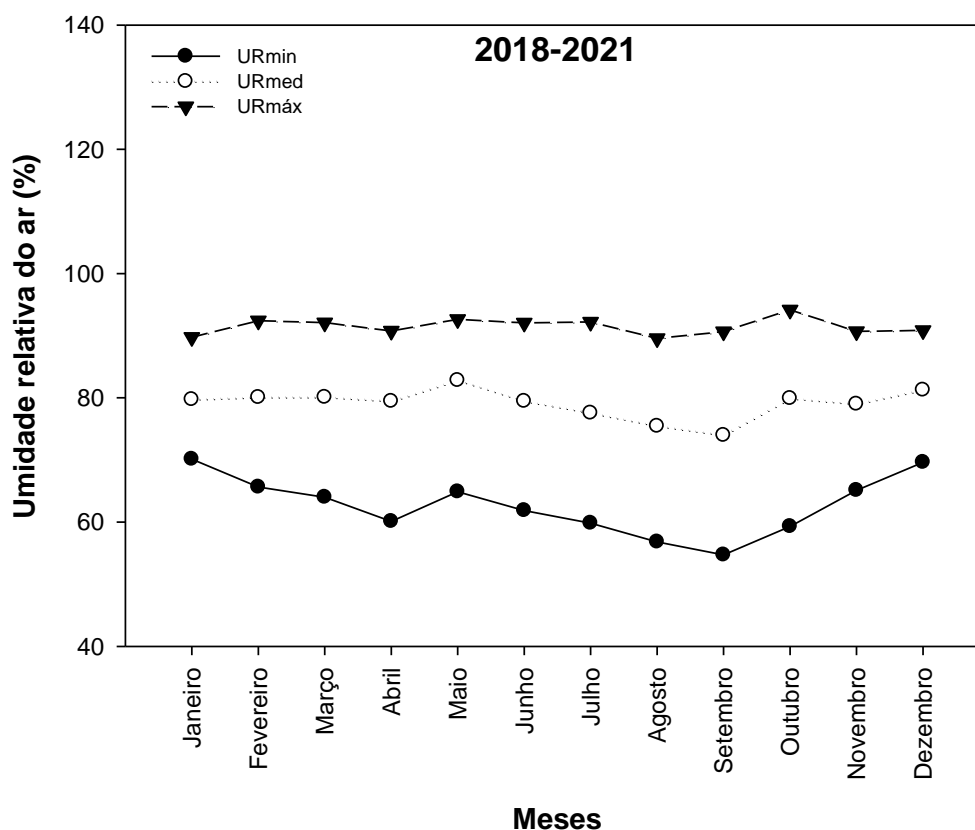


Figura 10 – Umidade relativa do ar coletada na área de estudo de 2018 a 2021. Umidade relativa mínima (URmin; círculos fechados preto), umidade relativa média (URmed; círculos abertos branco) e umidade relativa máxima (URmáx; triângulo invertido).

O teor de água no solo (TAS) variou entre 39,34% (v/v) e 52,46% (v/v), durante os meses de setembro e janeiro, respectivamente, com média de 46,6% durante o período analisado. No período seco de 2018, durante o mês de agosto, foi registrado o menor teor de água no solo com 39% (v/v) e o máximo de 52,5% (v/v) em março de 2021. Conforme mostra a Figura 11, o TAS acompanhou a média mensal da precipitação.

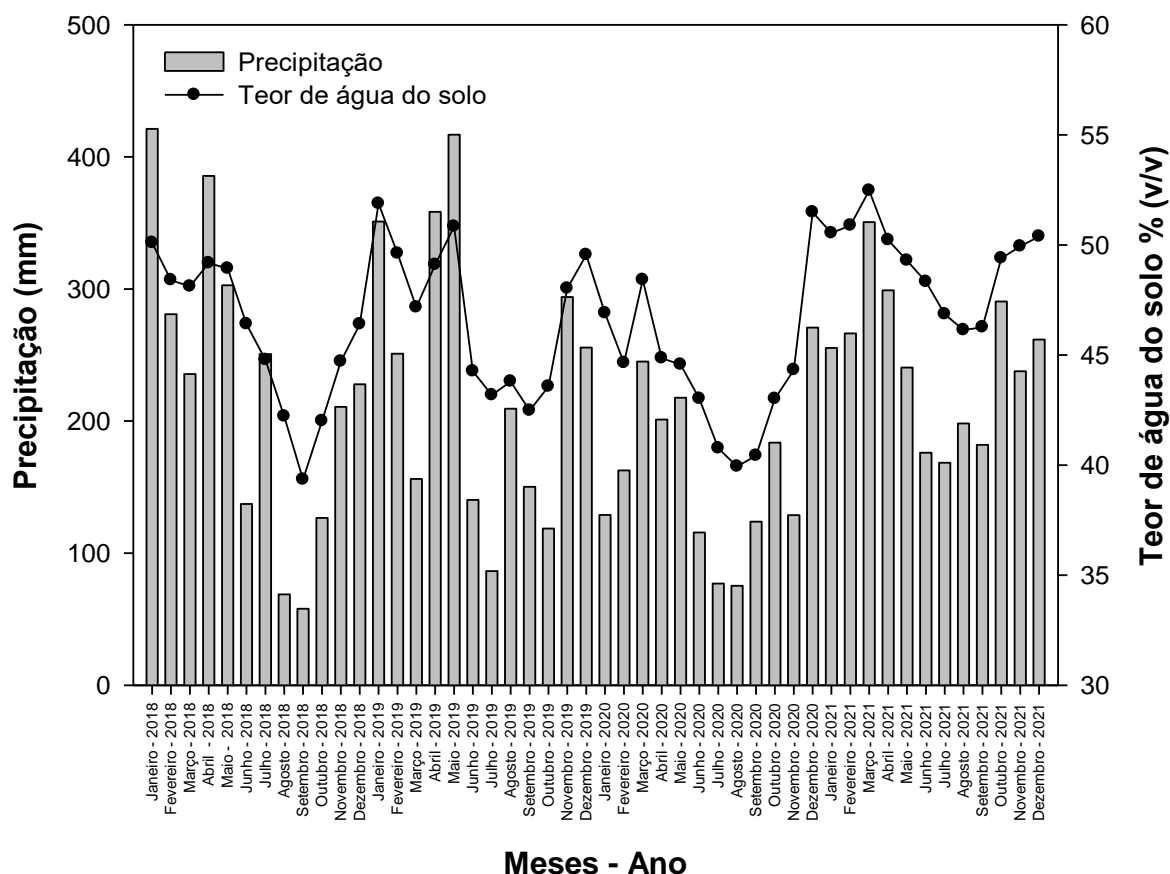


Figura 11 – Precipitação mensal e teor de água do solo coletada na área de estudo de 2018 a 2021.

No período analisado, mensalmente, o Déficit de Pressão de Vapor (DPV<sub>med</sub>) apresentou média de 6,92 hPa, com mínimo de 2,44 hPa e máximo 16,16 hPa, enquanto a média da evapotranspiração de referência (EVT<sub>0</sub>) foi de 115,83 mm mês<sup>-1</sup>, com um mínimo e máximo de 79,60 e 151,78 mm mês<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Dados mensais de déficit de pressão de vapor mínimo (DPVmin), médio (DPVmed) e máximo (DPVmax) e evapotranspiração de referência (EVT<sub>0</sub>). Para cada mês, a média ( $\pm$  desvios padrão) de quatro anos (2018 – 2021).

Mês	DPVmin (hPa)	DPVmed (hPa)	DPVmax (hPa)	EVT <sub>0</sub> (mm/mês)
Janeiro	2,90 $\pm$ 0,57	6,55 $\pm$ 0,52	12,05 $\pm$ 3,28	110,79 $\pm$ 19,5
Fevereiro	2,21 $\pm$ 1,28	6,53 $\pm$ 1,16	13,90 $\pm$ 3,74	101,70 $\pm$ 18,7
Março	2,32 $\pm$ 1,44	6,59 $\pm$ 1,55	14,63 $\pm$ 3,19	114,64 $\pm$ 14,9
Abril	2,65 $\pm$ 1,64	6,66 $\pm$ 2,40	16,50 $\pm$ 7,54	103,90 $\pm$ 20,2
Mai	2,10 $\pm$ 1,95	5,56 $\pm$ 2,83	14,21 $\pm$ 6,87	96,44 $\pm$ 18,8
Junho	2,22 $\pm$ 2,12	6,64 $\pm$ 2,98	16,43 $\pm$ 6,91	103,38 $\pm$ 16,9
Julho	2,20 $\pm$ 1,84	7,30 $\pm$ 1,63	17,69 $\pm$ 4,62	114,45 $\pm$ 19,9
Agosto	2,96 $\pm$ 2,69	8,23 $\pm$ 2,14	20,05 $\pm$ 4,54	130,31 $\pm$ 23,9
Setembro	2,66 $\pm$ 1,58	8,89 $\pm$ 1,58	21,68 $\pm$ 6,01	136,38 $\pm$ 25,6
Outubro	1,77 $\pm$ 2,24	6,92 $\pm$ 2,78	18,78 $\pm$ 1,91	138,59 $\pm$ 11,8
Novembro	2,73 $\pm$ 1,89	7,14 $\pm$ 1,65	15,43 $\pm$ 2,30	123,15 $\pm$ 10,7
Dezembro	2,58 $\pm$ 1,52	6,00 $\pm$ 0,91	12,60 $\pm$ 3,30	116,23 $\pm$ 15,1
Média	2,44 $\pm$ 1,73	6,92 $\pm$ 1,84	16,16 $\pm$ 4,52	115,83 $\pm$ 18,0

### Incremento em diâmetros das árvores

O incremento mensal em diâmetro (IMD) representa a taxa de crescimento individual de árvores na floresta de terra-firme. Nesse sentido, o incremento mensal em diâmetro (IMD) das 33 árvores estudadas entre os anos de 2018 e 2021 foi na média de 0,15 mm mês<sup>-1</sup>, tendo os menores valores de IMD nos meses de junho (0,07 mm mês<sup>-1</sup>), julho (0,06 mm mês<sup>-1</sup>) e agosto (0,08 mm mês<sup>-1</sup>). Já a maior taxa de IMD foi em outubro (0,23 mm mês<sup>-1</sup>), seguido dos meses de dezembro (0,20 mm mês<sup>-1</sup>), janeiro (0,20 mm mês<sup>-1</sup>) e fevereiro (0,19 mm mês<sup>-1</sup>), conforme mostra a Figura 12.



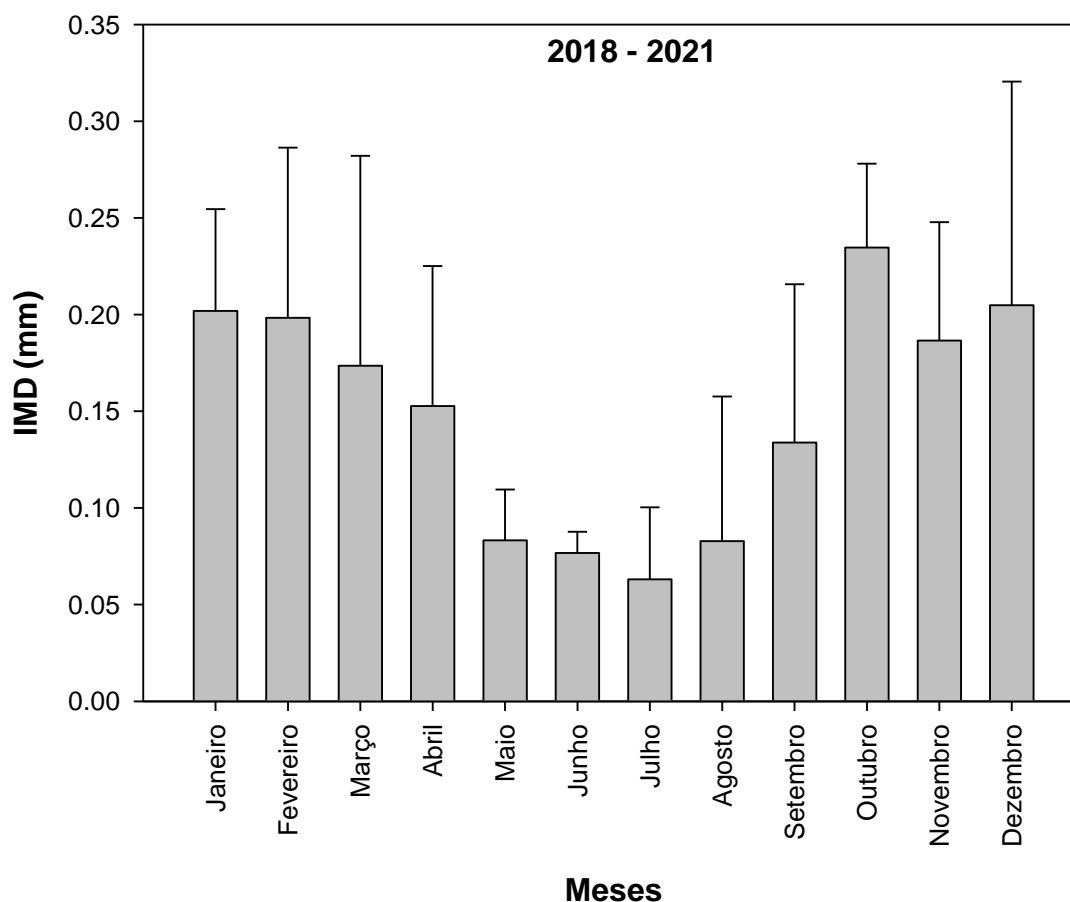


Figura 12 – Variação do incremento mensal em diâmetro (IMD)(mm/mês) das 33 árvores na área de estudo de 2018 a 2021. Para cada mês, a média (e desvios padrão).

Os anos com as maiores taxas de IMD foram 2019 e 2020 com crescimentos médios semelhantes de  $0,17 \text{ mm mês}^{-1}$  para ambos os anos, apresentando, nos seus meses de janeiro e dezembro os maiores incremento de  $0,21$  e  $0,33 \text{ mm mês}^{-1}$ , respectivamente para 2019 e  $0,24$  e  $0,28 \text{ mm mês}^{-1}$ , respectivamente para 2020 (Figura 13). Já o 2018 foi o ano que apresentou a menor taxa de crescimento nas árvores do estudo com média de  $0,12 \text{ mm mês}^{-1}$ , seguido de 2021 com  $0,13 \text{ mm mês}^{-1}$ .

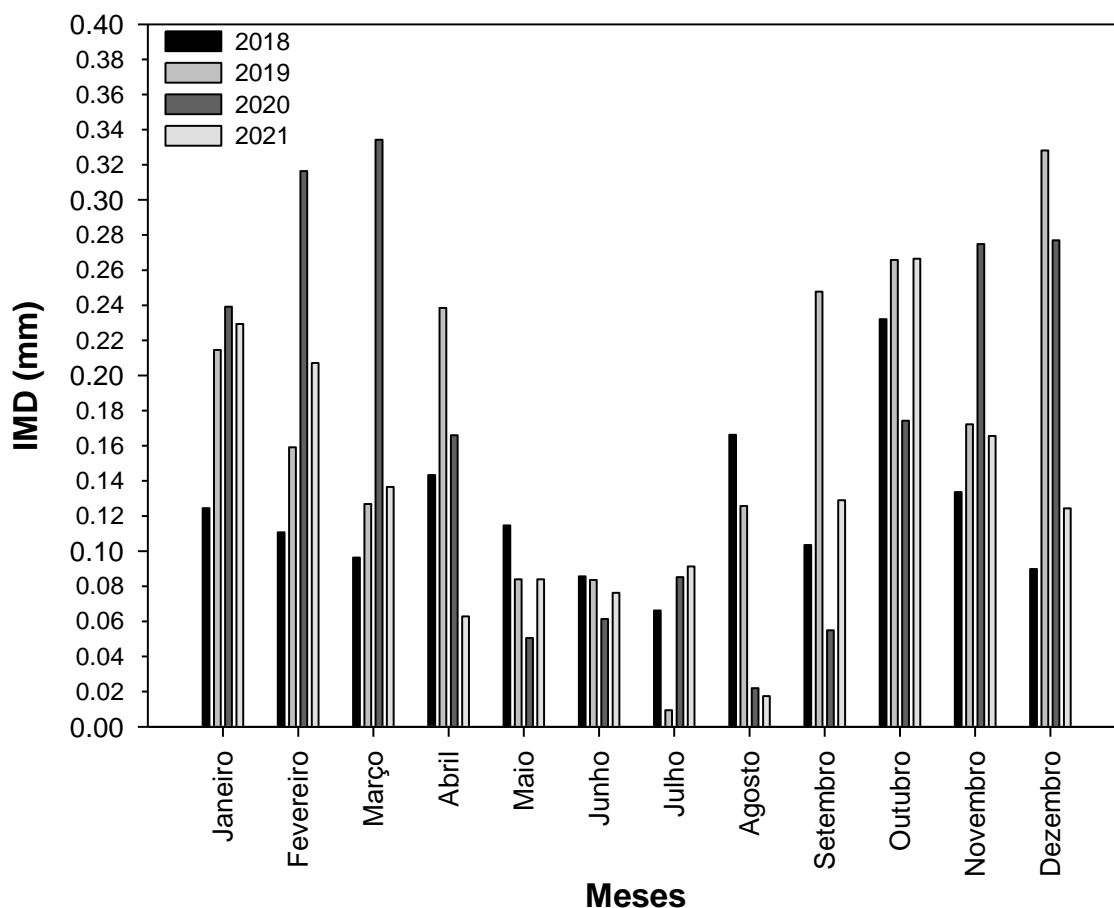


Figura 13 – Variação do incremento mensal em diâmetro (IMD)(mm/mês) das árvores entre 2018 e 2021.

Entre os anos estudados (2018 - 2021) as taxas de incremento mensal em diâmetro (IMD) variaram entre espécies (Figura 14). As espécies que tiveram o maior IMD foram *Goupia glabra* com  $0,29 \text{ mm m\textsuperscript{-1}}$  e *Pourouma tomentosa* com  $0,20 \text{ mm m\textsuperscript{-1}}$ , enquanto o menor valor foi observado na *Gustavia augusta* com  $0,05 \text{ mm m\textsuperscript{-1}}$ . As espécies *Eschweilera grandiflora* e *Pouteria reticulata* tiveram um IMD de  $0,14$  e  $0,16 \text{ mm m\textsuperscript{-1}}$ , respectivamente. Já as espécies *Eschweilera coriacea* e *Eschweilera bracteosa* apresentaram valores semelhantes de  $0,10$  e  $0,11 \text{ mm m\textsuperscript{-1}}$ , respectivamente (Tabela 3).

Acompanhando os dados do IMD o incremento periódico anual em diâmetro (IPAD) também teve como a *Goupia glabra* o maior incremento por ano com  $3,50 \text{ mm ano}^{-1}$  (Tabela 3), seguida da *Pourouma tomentosa* e *Pouteria reticulata* com  $2,42$  e  $1,89 \text{ mm ano}^{-1}$ , respectivamente. Já a espécie *Gustavia augusta* teve o menor IPAD com  $0,60 \text{ mm ano}^{-1}$ .

**Tabela 3.** Espécies e suas respectivas quantidades; dados da altura (Alt); diâmetro médio da copa (DC); diâmetro a altura do peito (DAP); incremento mensal em diâmetro (IMD) e incremento periódico anual em diâmetro (IPAD). Para cada espécie, a média ( $\pm$  desvios padrão) de quatro anos (2018 – 2021).

Espécie	Alt(m)	DC (m)	DAP (cm)	IMD (mm mês <sup>-1</sup> )	IPAD (mm ano <sup>-1</sup> )
<i>Eschweilera bracteosa</i>	22.3 $\pm$ 2.89	8.51 $\pm$ 1.31	20.29 $\pm$ 5.06	0.10 $\pm$ 0.08	1.18 $\pm$ 0.32
<i>Eschweilera coriacea</i>	23.5 $\pm$ 3.95	9.81 $\pm$ 0.64	25.62 $\pm$ 9.00	0.11 $\pm$ 0.14	1.26 $\pm$ 0.59
<i>Eschweilera grandiflora</i>	27.0 $\pm$ 5.08	9.13 $\pm$ 1.91	32.35 $\pm$ 17.16	0.14 $\pm$ 0.13	1.69 $\pm$ 0.52
<i>Goupia glabra</i>	20.1 $\pm$ 4.63	7.83 $\pm$ 0.77	18.98 $\pm$ 5.45	0.29 $\pm$ 0.24	3.50 $\pm$ 1.04
<i>Gustavia augusta</i>	21.1 $\pm$ 2.83	5.67 $\pm$ 1.15	17.16 $\pm$ 4.10	0.05 $\pm$ 0.12	0.60 $\pm$ 0.50
<i>Pourouma tomentosa</i>	25.7 $\pm$ 1.89	5.98 $\pm$ 1.58	25.76 $\pm$ 3.97	0.20 $\pm$ 0.13	2.42 $\pm$ 0.17
<i>Pouteria reticulata</i>	24.0 $\pm$ 9.04	9.68 $\pm$ 1.25	29.56 $\pm$ 20.93	0.16 $\pm$ 0.16	1.89 $\pm$ 0.71
<b>Média</b>	23.39 $\pm$ 4.33	8.09 $\pm$ 1.23	24.24 $\pm$ 9.36	0.15 $\pm$ 0.14	1.80 $\pm$ 0.27

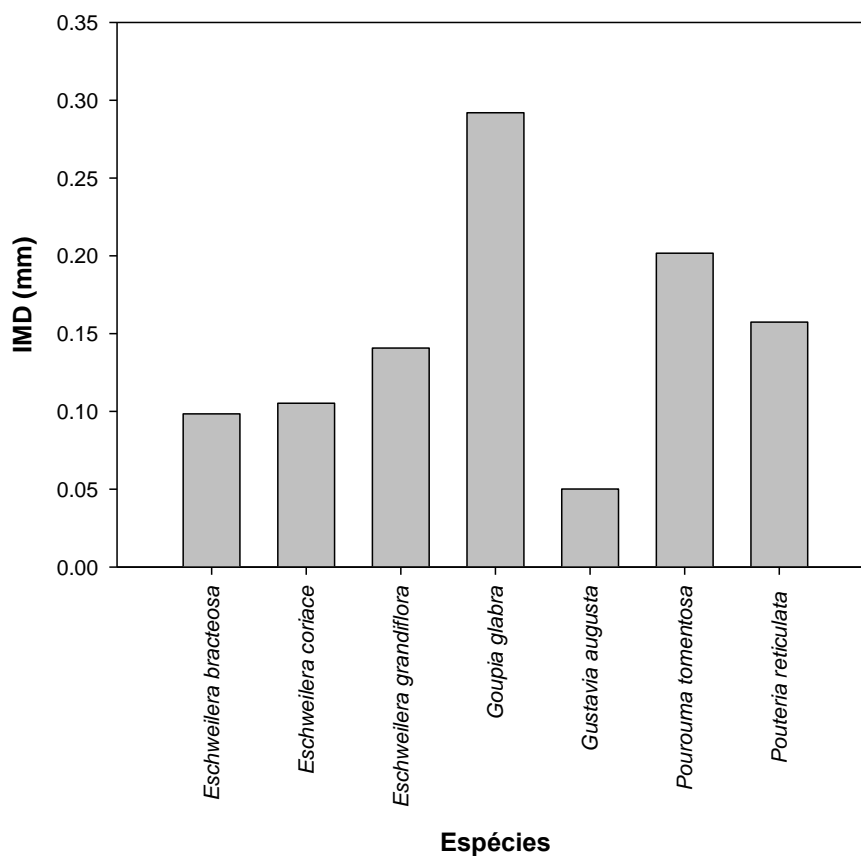


Figura 14 – Variação do incremento mensal em diâmetro (IMD) (mm/mês) das sete (7) espécies na área de estudo de 2018 a 2021.

Não foi verificado efeito significativo da relação das variações do IMD (mm mês<sup>-1</sup>) entre espécies (p=0.068), mostrando que todas as espécies tiveram o mesmo comportamento durante o tempo (48 meses). Foi observada diferença significativa na relação do IMD das espécies tanto durante os meses (p<0,001) quanto ao longo dos anos (p=0.007) (Tabela 9 – mais detalhe no apêndice), indicando que em um ou mais meses o comportamento do IMD foi diferente em pelo menos uma das espécies, que pode ser observado nitidamente na Figura 15.

No geral, os principais resultados apontam que, após o final do mês de seca mais intensa na Amazônia (setembro), pode-se notar rápido crescimento em diâmetro para todas as espécies no mês de outubro, apresentando um IMD sempre acima de 0.20 mm mês<sup>-1</sup> (média de todos os meses de outubro), exceto para *Gustavia augusta* que apresentou a média de 0.05 mm mês<sup>-1</sup>. Após o mês de Outubro as espécies tiveram um leve decréscimo em seus diâmetros em Novembro, com exceção da *Goupia glabra* que manteve seu crescimento constante até Janeiro. No início do inverno amazônico (estação chuvosa) (dezembro), a maioria das espécies tiveram um leve acréscimo em seu IMD, no entanto, apenas a *Eschweilera bracteosa*, *Goupia glabra* e *Gustavia augusta*, conseguiram atingir o incremento em diâmetro do tronco acima do obtido no mês de anterior. Em Janeiro todas as espécies começaram a ter seu crescimento diminuídos levemente. No entanto, ao chegar em Março todas tiveram continuamente seus IMD diminuídos. Houve uma diminuição brusca do IMD no início do mês de Maio a Julho. O outro extremo foi observado para *Goupia glabra*, onde o IMD foi constantemente variável ao longo dos meses do ano, apresentando um padrão de crescimento constante acompanhando a sazonalidade (Figura 15 - *Goupia glabra*). As demais espécies apresentaram uma variação sutil no incremento mensal do tronco, apesar de não apresentarem periodicidade na série temporal. A variação do incremento mensal em diâmetro (IMD)(mm/mês) de cada espécie está apresentada na Figura 15. Média detalhada do incremento médio mensal durante 48 meses (2018-2021) das 7 espécies estudadas está apresentada na tabela 8 do apêndice.

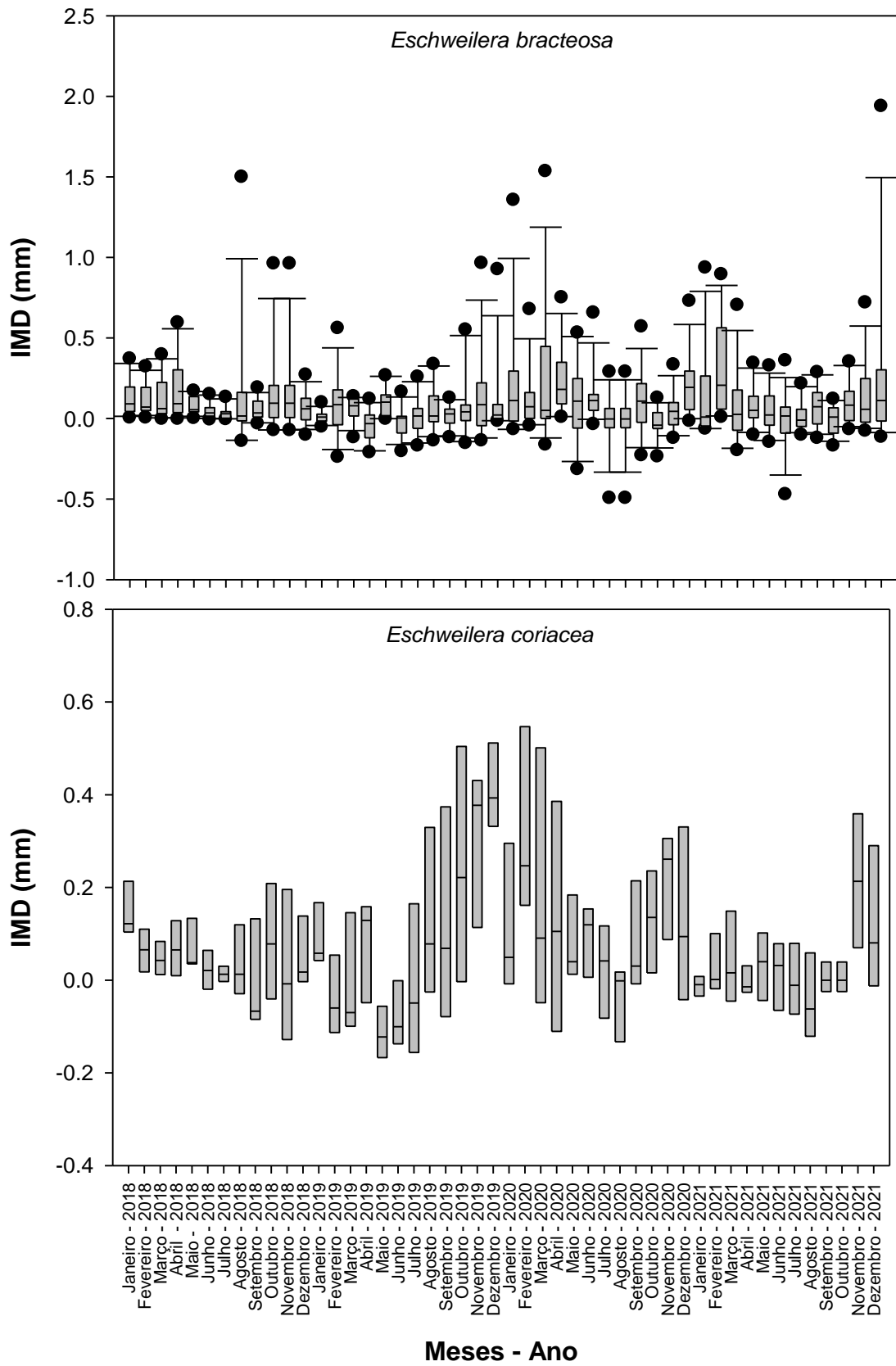


Figura 15 continuação...

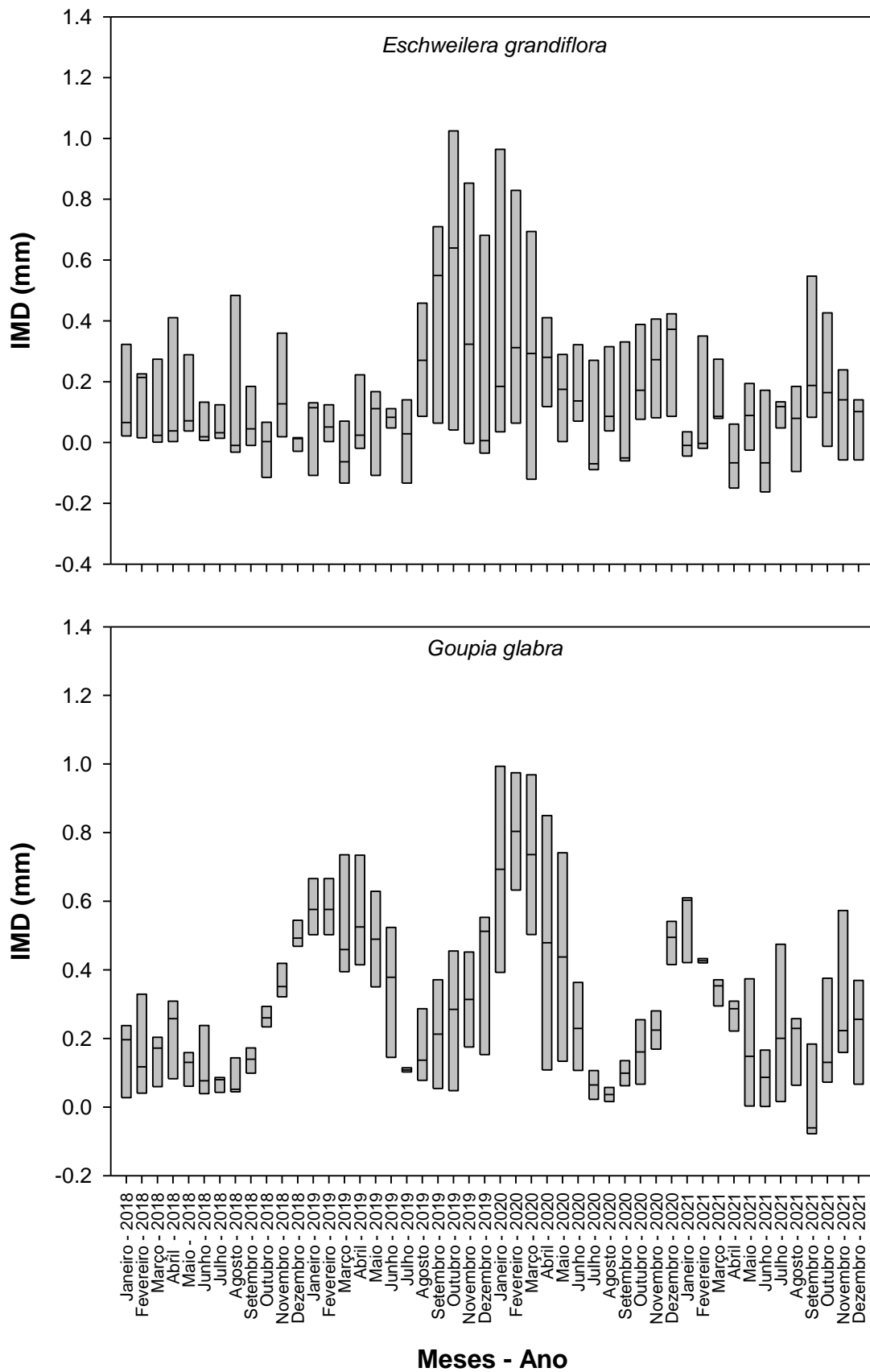


Figura 15 continuação...

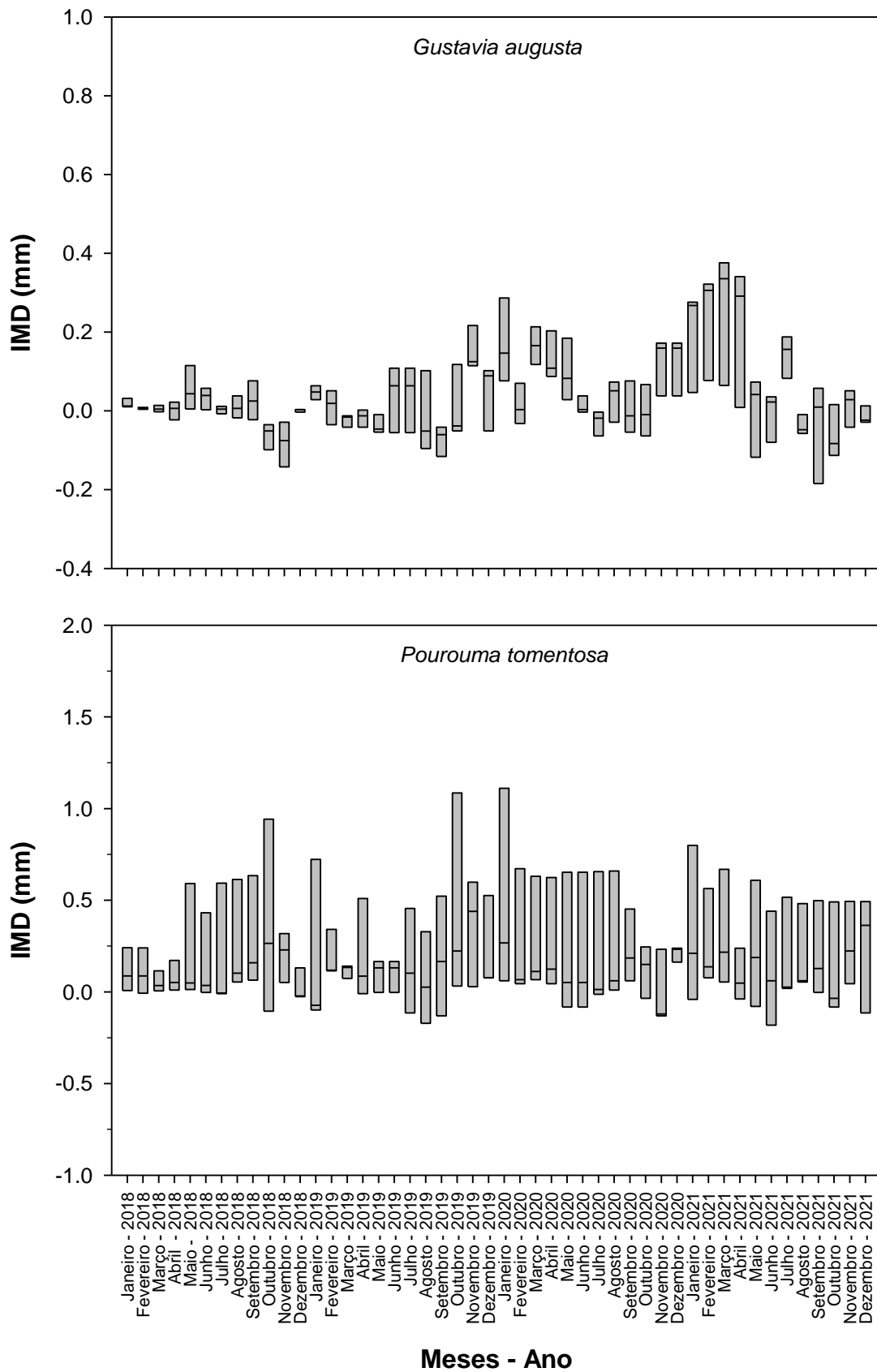


Figura 15 continuação...

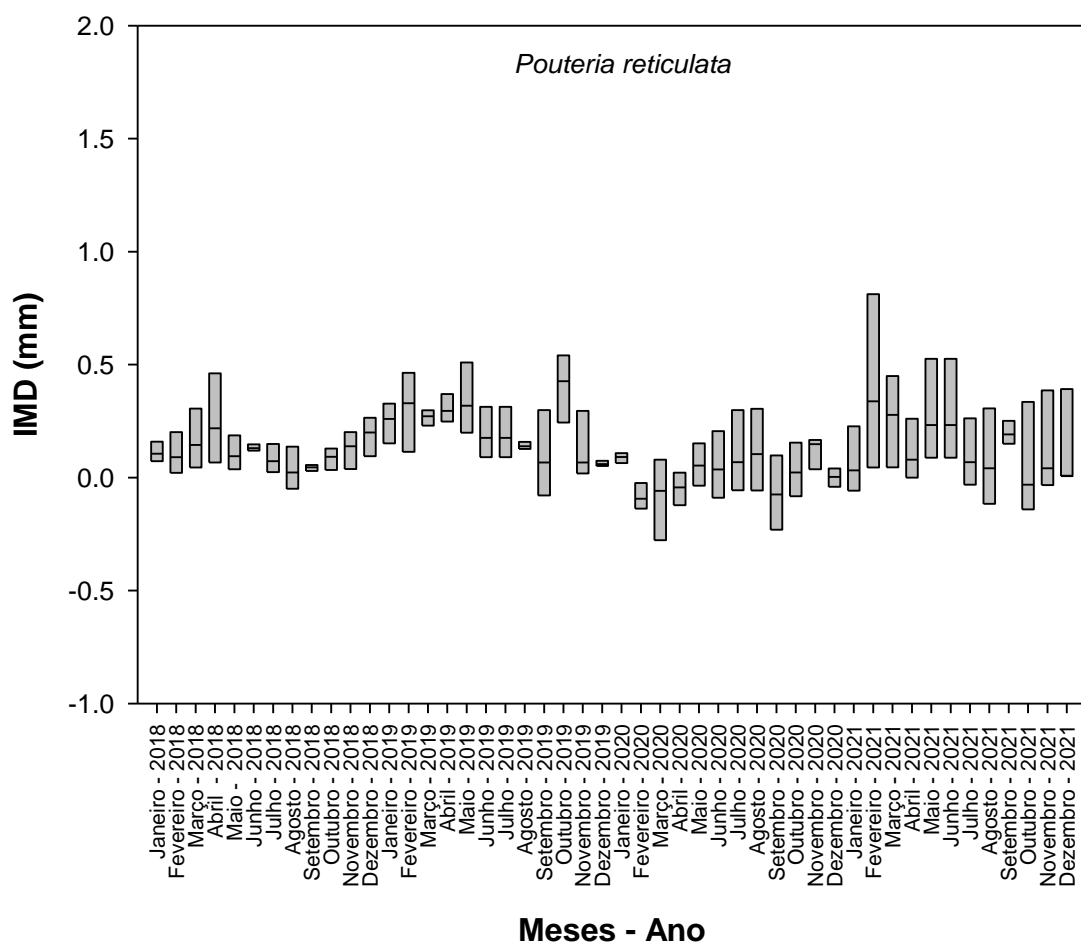


Figura 15 – Variação do incremento mensal em diâmetro (IMD) (mm/mês) de cada espécie na área de estudo de 2018 a 2021. Na parte superior de cada painel encontra-se a indicação da espécie observada. Cada valor corresponde à média de um mínimo de três árvores por espécie. Os limites da caixa indicam o 25° e 75° percentil, a linha sólida dentro da caixa mostra a mediana. O número de repetições por espécie está descrito na Tabela 3.

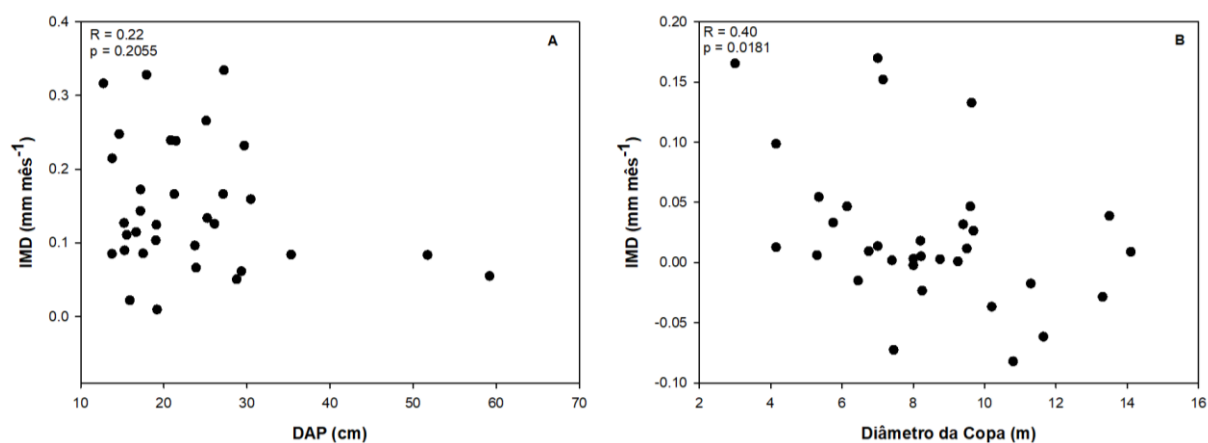


Figura 16 – Relação entre o incremento mensal em diâmetro (IMD em milímetros) com o diâmetro a altura do peito (DAP) (A) e com o diâmetro da copa das árvores (B). Cada ponto representa uma árvore de um total de 33 árvores.



Não houve uma relação entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e IMD (Figura 16A). Logo, a estrutura diamétrica não se mostrou um bom parâmetro para explicar a variação média do incremento periódico entre espécies. No entanto, o diâmetro da copa influenciou no incremento do tronco significativamente ( $p=0.0181$ ) (Figura 16B).

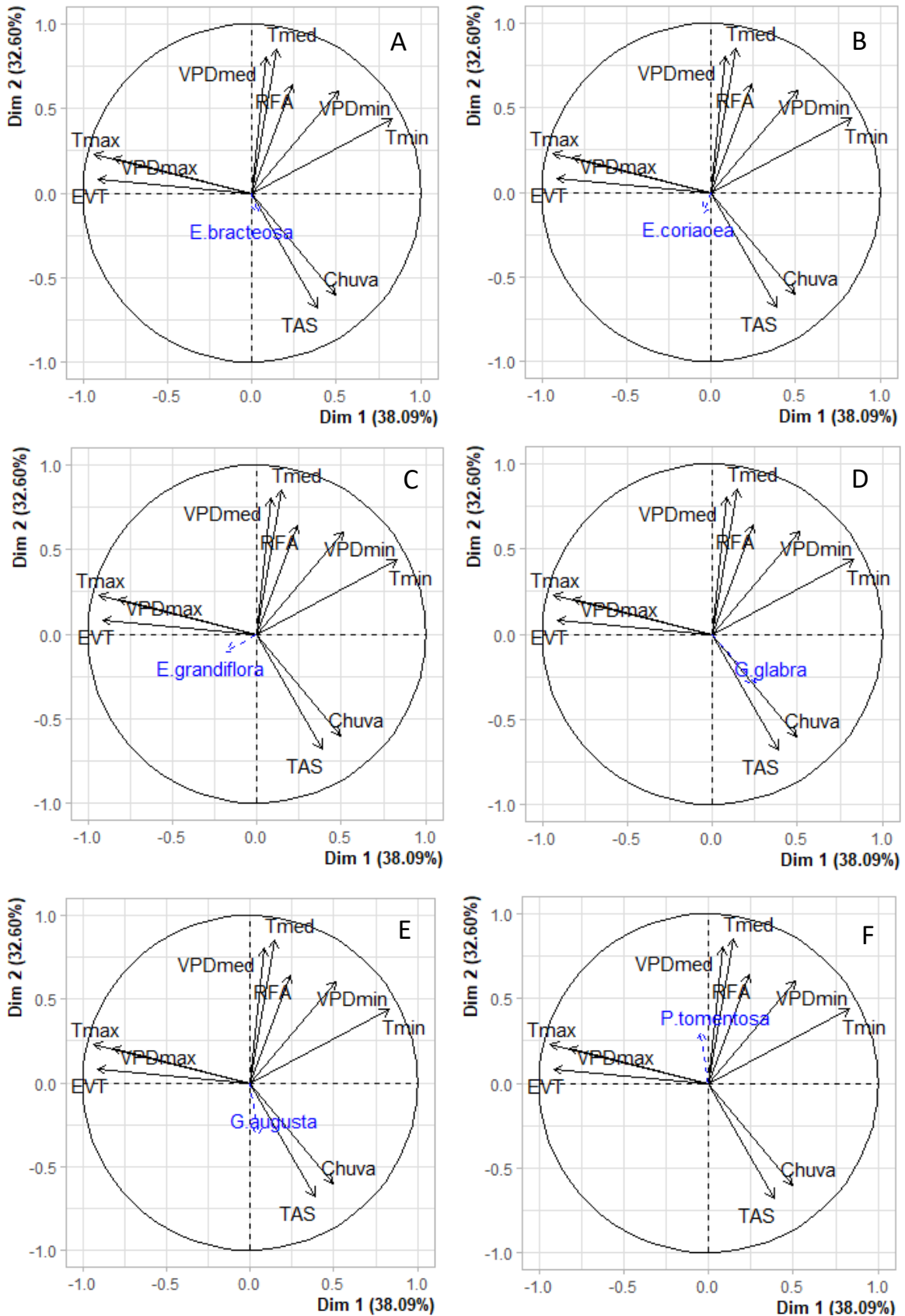
### **Relação entre o incremento em diâmetros das árvores e os parâmetros micrometeorológicos**

Os dados deste estudo mostram contribuição individual de cada variável climática sobre o diâmetro das árvores de terra-firme da Amazônia Central (Tabela 4). Removendo a colinearidade (efeitos correlacionados) entre as variáveis pode-se observar que, dentre as cinco (5) variáveis micrometeorológicas avaliadas, as principais preditoras de crescimento em diâmetro foi a principalmente a precipitação (chuva), além do TAS (teor de umidade do solo) para a maioria das espécies. Em contrapartida o DPV (mínimo e médio) foi o principal precursor do decréscimo em diâmetro.

A Análise de Componentes Principais ou PCA (Principal Component Analysis) que resultou da análise da inter-relações entre as dez variáveis analisadas (radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar mínima, média e máxima, precipitação, déficit de pressão de vapor mínima, média e máxima, evapotranspiração e teor de umidade do solo) resultou na apresentação de dois eixos fatoriais (Dim 1 e Dim 2) que explicaram 70,69 % do total da variância (Figura 19). A partir do mapa perceptual bidimensional, pode-se notar que a primeira componente (eixo X) explica 38,09 % da variabilidade dos dados, enquanto a segunda (eixo Y) explica 32,60 %. Levando em consideração que geralmente se busca uma explicação maior que 50% somando as duas primeiras componentes, a análise dos dados por PCA se mostrou adequado para avaliar as relações entre as variáveis micrometeorológicas, visto que explicou grande parte da variabilidade dos dados.

Se considerarmos apenas as variáveis micrometeorológicas (setas pretas no gráfico), pode-se observar que, para todos os gráficos de PCA (Figura 17), as variáveis Chuva e TAS (teor de água do solo) são correlacionados positivamente entre si, ou seja, significa dizer que maiores quantidade de chuva na área de estudo, tendem a apresentar

também maiores concentrações de teor de água do solo. Ao mesmo tempo, é possível também observar que essas variáveis (Chuva e TAS) são negativamente correlacionados com os demais, principalmente com Tmax, DPV (médio e máximo) e EVT.



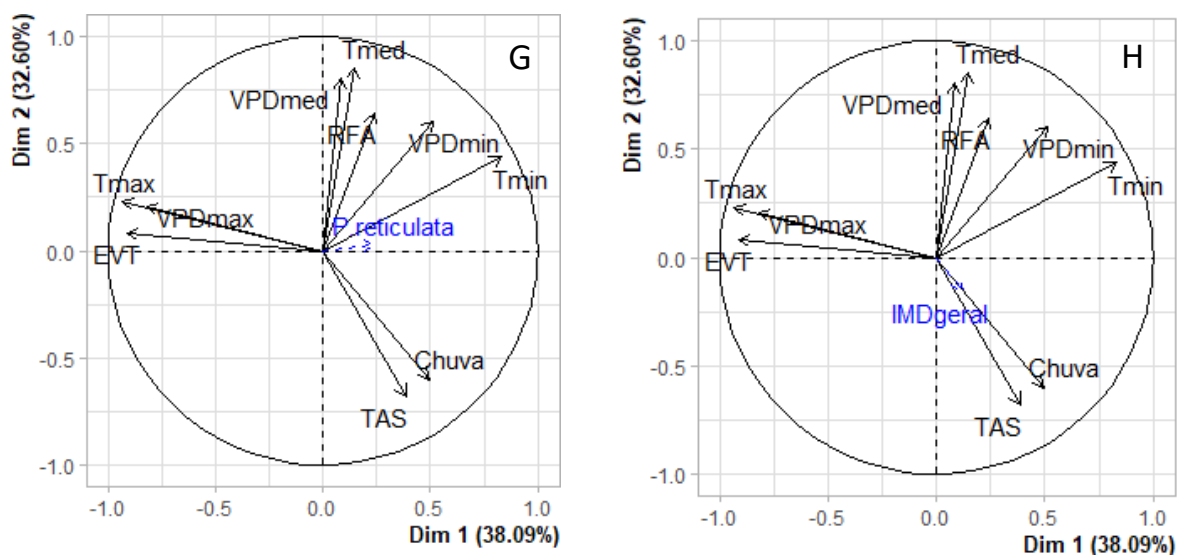


Figura 17 – Gráficos da análise por componentes principais (PCA) representando a associação individual entre as variáveis meteorológicas (seta preta) e a média do crescimento das 7 espécies e geral (seta pontilhada em azul). Em que, DPVmin, DPVmed, DPVmax = Déficit de pressão de vapor mínimo, médio e máximo respectivamente; Tmin, Tmed, Tmax = Temperaturas mínima, média e máxima respectivamente; TAS = teor de água do solo; RFA = Radiação fotossinteticamente ativa e EVT = Evapotranspiração de referência.

Dentre as 7 espécies de estudo, 4 (*Eschweilera bracteosa*, *Goupia glabra*, *Gustavia augusta* e *Pouteria reticulata*) tiveram o IMD significativamente influenciado pela Chuva e TAS ( $p \leq 0.05$ ). Conforme mostra a Figura 17 (A, D, E e G), foi observado uma relação positiva (setas entre variáveis apontando na mesma direção) da chuva e do teor de água no solo (TAS) em relação ao IMD (seta e nome azul no gráfico), ou seja, o incremento mensal em diâmetro destas 4 espécies aumentou proporcionalmente ao efeito destas 2 variáveis micrometeorológicas. As demais espécies também tendenciaram à uma relação positiva para chuva e umidade do solo, exceto a *Pourouma tomentosa* que teve o ângulo de reta linear no gráfico negativo, ou seja, seu IMD respondeu inversamente proporcional ao efeito da chuva e umidade do solo, como pode ser observado na figura 17F. As variáveis micrometeorológicas com correlação negativa (setas entre variáveis apontando em direção opostas) ao crescimento foram DPVmin (para *Eschweilera coriacea* e *Eschweilera grandiflora*), DPVmed (para *Eschweilera grandiflora* e *Gustavia augusta*), DPVmax (*Goupia glabra*), Tmed (*Gustavia augusta*), Tmax (*Goupia glabra*) e EVT (*Goupia glabra*). As variáveis que tiveram menor influência sobre o incremento em diâmetro foram temperatura mínima (Tmin), temperatura máxima (Tmax) e déficit de pressão de vapor máximo (DPVmax). No âmbito da média do IMD geral (análise conjunta das 7 espécies) da área de estudo, apenas o DPV (mínimo e médio) apresentou correlação significativamente negativa com o crescimento ( $p < 0.05$ ). Já a RFA ( $p = 0.009$ ), Tmed ( $p = 0.031$ ), Chuva ( $p = 0.006$ ), TAS

( $p= 0.026$ ) e EVT ( $p= 0.037$ ), por sua vez, relacionaram-se positivamente com o IMD, tendo a chuva e a RFA apresentado os maiores coeficientes de correlação (Tabela 4).

A Tabela 4 apresenta os valores de  $p$  (valor amostral crítico) e  $\beta$  (coeficiente beta da regressão). Os resultados foram considerados significativos quando o valor crítico de  $p$  foi menor ou igual a 0,05. O coeficiente beta de regressão demonstra o grau de mudança na variável de resultado para cada mudança na variável de previsão, podendo ter coeficientes negativos ou positivos; se positivo mostra que para cada aumento na variável preditora haverá também aumento na variável de resultado pelo valor do coeficiente beta; se negativo mostra que para cada aumento na variável preditora haverá diminuição na variável de resultado pelo valor do coeficiente beta.

**Tabela 4.** Resultado da análise entre as variáveis climáticas sobre o incremento mensal em diâmetro (IMD) das árvores de cada espécie e média geral das espécies analisados por regressão por componentes principais (PCR). Em que,  $p$  = valor amostral crítico;  $\beta$  = Coeficiente beta. Diferenças significativas foram aceitas quando  $p \leq 0,05$  (valor em negrito para valores de  $p$ ).

Variável Climática		<i>Eschweilera bracteosa</i>	<i>Eschweilera coriacea</i>	<i>Eschweilera grandiflora</i>	<i>Goupia glabra</i>	<i>Gustavia augusta</i>	<i>Pourouma tomentosa</i>	<i>Pouteria reticulata</i>	Média Geral
RFA	$p$	<b>0.043</b>	0.055	<b>0.013</b>	0.144	0.051	0.066	<b>0.021</b>	<b>0.009</b>
	$\beta$	0.015	0.025	0.028	-0.007	-0.005	0.007	0.036	0.017
Tmin	$p$	0.204	0.450	0.799	0.648	0.409	0.422	<b>0.007</b>	0.057
	$\beta$	0.004	0.004	0.001	0.002	-0.002	0.003	0.019	0.005
Tmed	$p$	0.081	0.134	0.086	0.070	<b>0.037</b>	<b>0.050</b>	<b>0.014</b>	<b>0.031</b>
	$\beta$	0.009	0.014	0.014	-0.011	-0.007	0.010	0.027	0.010
Tmax	$p$	0.166	0.188	0.101	<b>0.021</b>	0.327	0.379	0.300	0.244
	$\beta$	0.005	0.009	0.009	-0.014	-0.003	0.004	0.008	0.004
Chuva	$p$	<b>0.015</b>	0.090	0.375	<b>0.006</b>	<b>0.046</b>	0.065	<b>0.003</b>	<b>0.006</b>
	$\beta$	0.018	0.022	0.009	0.015	0.006	-0.008	0.046	0.018
TAS	$p$	<b>0.041</b>	0.218	0.935	<b>0.008</b>	<b>0.034</b>	0.051	<b>0.009</b>	<b>0.026</b>
	$\beta$	0.013	0.013	0.000	0.015	0.007	-0.008	0.034	0.012
DPVmin	$p$	0.117	<b>0.048</b>	<b>0.001</b>	0.526	0.124	0.144	0.770	<b>0.031</b>
	$\beta$	-0.009	-0.020	-0.030	-0.003	-0.005	0.006	-0.003	-0.011
DPVmed	$p$	0.209	0.093	<b>0.003</b>	0.054	<b>0.034</b>	<b>0.047</b>	0.971	<b>0.050</b>
	$\beta$	-0.007	-0.017	-0.026	-0.011	-0.007	0.009	-0.000	-0.010
DPVmax	$p$	0.832	0.625	0.226	<b>0.020</b>	0.317	0.368	0.947	0.319
	$\beta$	-0.000	-0.003	-0.007	-0.012	-0.003	0.003	-0.000	-0.003
EVT	$p$	<b>0.044</b>	0.063	<b>0.029</b>	<b>0.043</b>	0.532	0.585	0.085	<b>0.037</b>
	$\beta$	0.010	0.017	0.017	-0.011	-0.002	0.002	0.018	0.009

No geral, quando analisados mensalmente ao longo dos 4 anos, a variação no incremento mensal em diâmetro (IMD) do conjunto de espécies foi relacionada

diretamente proporcional com a precipitação (chuva) e EVT. Pode-se observar que o incremento em diâmetro do tronco das árvores aumentou com a precipitação, apresentando um acompanhamento de acréscimo nos meses com maior incidência da chuva e decréscimo nos meses com as menores taxas de chuva (Figura 18). Em 2020, ano com a menor taxa de precipitação, o IMD apresentou uma das menores taxas de crescimento, principalmente nos meses de Agosto e Setembro, época de seca mais intensa na Amazônia. Em contrapartida, em 2021 foi considerado um ano atípico na relação IMD-Chuva, pois mesmo considerado o ano com a maior taxa de precipitação geral, pôde-se observar que no início deste ano, houve uma perda de diâmetro significativa para a maioria das árvores estudadas. Tendo seus IMDs recuperados praticamente só após a época de seca. No geral, as taxas do IMD tenderam a ser mais baixas ( $< 0.08$  mm/mês) quando a precipitação foi abaixo de 141.95 mm ao mês, já as os valores de IMD foram mais altos ( $> 0.19$  mm/mês) quando a precipitação foi superior a 261.10 mm ao mês, conforme pode ser visualizado na Figura 18. No entanto, para todos os anos, o incremento do tronco só foi crescente (julho a outubro)(de  $0,06 - 0,23$  mm mês<sup>-1</sup>) (Figura 12) para níveis de precipitação mensal entre 58 e 179,85 mm.

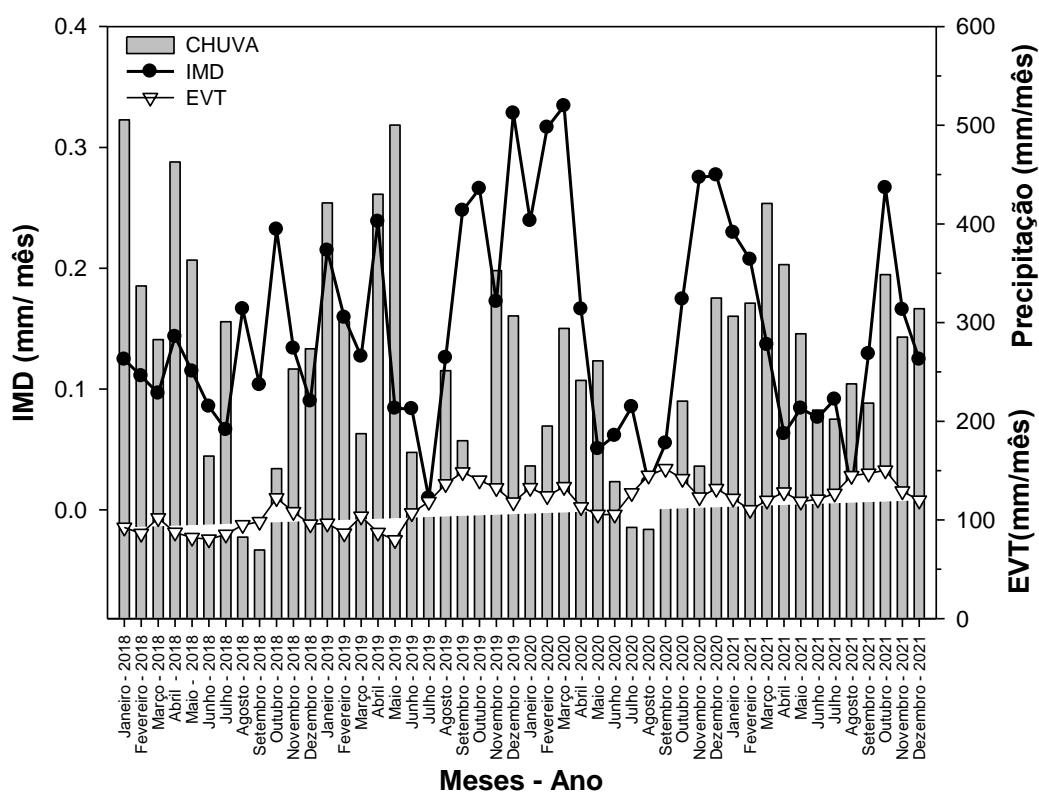


Figura 18 – Relação do incremento mensal em diâmetro (IMD) (mm/mês) das árvores de estudo (círculos fechados), da precipitação (barras) e evapotranspiração (EVT; triângulo invertido) de 2018 a 2021. O valor de IMD corresponde à média de 33 árvores.

O IMD quando relacionado com o déficit de pressão de vapor, observa-se que ao longo dos anos, os valores de incremento aparecem relacionados negativamente com o DPV (Figura 19). No geral, foi verificado os maiores valores de DPV nos meses mais secos (julho, agosto e setembro), tendo o pico em setembro com uma média mensal de 8,89 hPa. Durante esses meses mais secos, o aumento no DPV foi observado nas árvores com menor incremento em diâmetro do tronco. Em contrapartida, comparando com os meses de estação chuvosa (dezembro, janeiro e fevereiro) foram encontrados baixos valores de DPV e maiores valores de IMD, no entanto o menor valor foi encontrado nos meses de maio, final da estação chuvosa, com média mensal de 5,56 hPa. Durante os anos estudados, os maiores valores de DPV foram observados em agosto, setembro e outubro de 2018, com respectivamente 11,08, 10,30 e 11,07 hPa, justamente os meses de menor precipitação neste ano, como observado na Figura 5A.

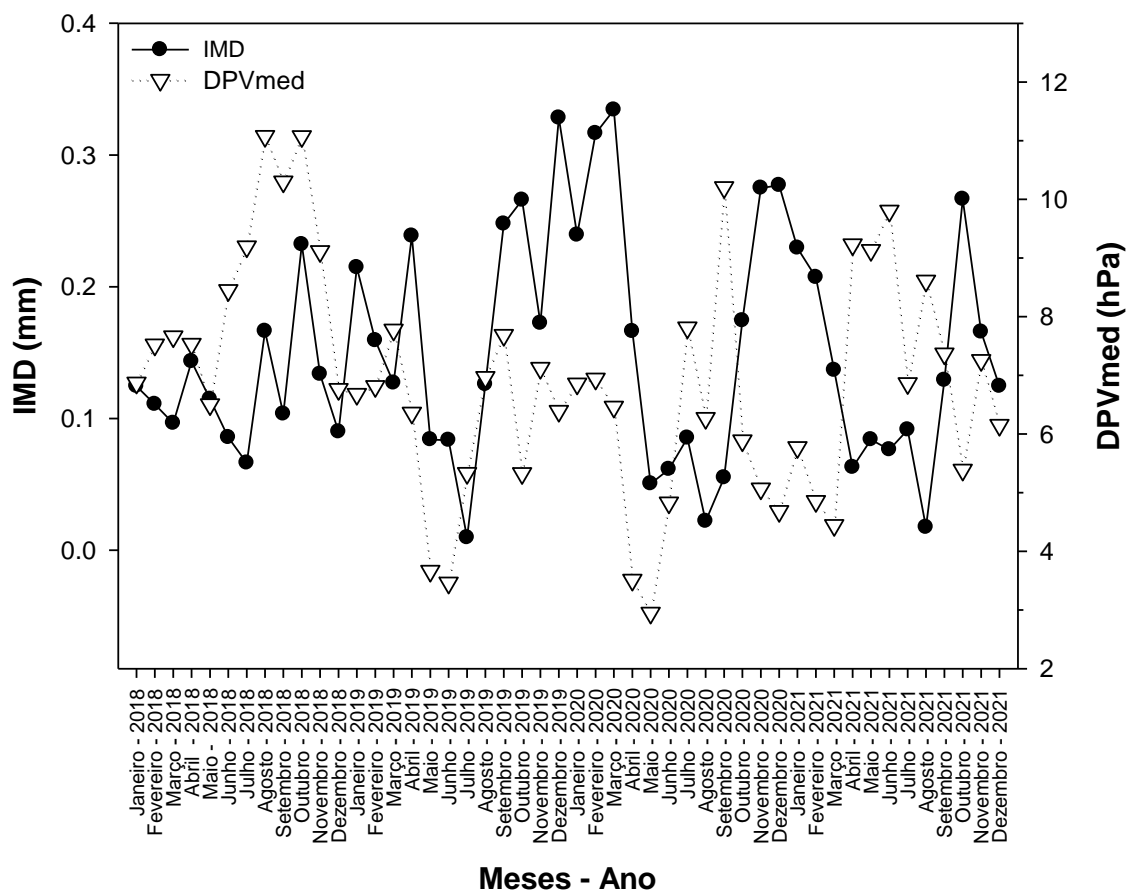


Figura 19 – Relação do incremento mensal em diâmetro (IMD) (mm/mês) das árvores de estudo (círculos fechados), e déficit de pressão de vapor (DPV; triângulo invertido) de 2018 a 2021. O valor de IMD corresponde à média de 33 árvores.

## Fenofase

Durante os dois anos (durante julho/20 a junho/22) foram observadas mudanças foliares em árvores da área de estudo. Conforme observado na Figura 20, neste período, a diversidade da perda e a renovação foliar das copas das árvores foi de 78,13% de “copa cheia e somente com folhas velhas”, 16,22 % de “copa cheia com folhas novas aparecendo”, 3,11% “copa com poucas folhas e somente velhas”, 2,01% “copa somente com folhas novas” e 0,53% “copa sem folhas”. As análises fenológicas quanto à mudança foliar foram observadas em 71,30 % das espécies entre os meses de Julho e Novembro, período entre seca e início de transição para estação chuvosa da região.



Figura 20 – Fenofase durante julho/20 a junho/22.

Dentre as categorias analisadas, a concentração da categoria de “copa com poucas folhas e somente velhas” e “copa sem folhas” quase não foi observada para a maioria dos indivíduos durante o período do estudo (incluindo período de seca e chuvoso), exceto para *Eschweilera bracteosa* em junho a agosto/2020 (copa com poucas folhas e somente velhas) e para *Goupia glabra* que a “copa sem folhas” ocorreu duas vezes, sempre no mês de agosto e setembro/2020.

A fenofase mais frequente foi a categoria com “copa cheia com folhas novas aparecendo” e “copa cheia e somente com folhas velhas”. Copa cheia com folhas novas aparecendo foi preponderante no mês de Novembro. A floração das árvores quase sempre seguiu a mesma tendência inicial das folhas novas, antecedendo ou ocorrendo simultaneamente a esta. Os frutos, por sua vez, só amadureceram entre dezembro e janeiro, sendo possível observar apenas para *Goupia glabra*.

Dentre as espécies analisadas, todas foram consideradas como perenifólias, ou seja, mantem as folhas durante todo o ano, sendo o tipo mais frequente no local de estudo, exceto a *Goupia glabra* que não seguiu a mesma tendência das demais e foi considerada como semi-caducifólias, ou seja, as folhas das copas foram perdidas por um período muito curto, em torno de um mês. Quanto à relação da fenologia com o IMD, as análises estatísticas mostraram que a fenofase não foi significativa no incremento médio mensal das árvores ( $p > 0.05$ ). As variáveis micrometeorológicas que mais apresentaram relação significativa com a fenologia ( $p < 0.05$ ) foram a radiação, temperatura (mínima e máxima) e evapotranspiração (Tabela 5).

**Tabela 5.** Correlação de Pearson entre a média do código fenológico e incremento médio clima de 33 indivíduos de sete espécies e o clima. Em que,  $p$  = valor amostral crítico;  $r$  = coeficiente de Pearson.

Diferenças significativas foram aceitas quando  $p \leq 0,05$  (valor em negrito para valores de  $p$ ).

Variável Climática		<i>E. bracteosa</i>	<i>E. coriacea</i>	<i>E. grandiflora</i>	<i>G. glabra</i>	<i>G. augusta</i>	<i>P. tomentosa</i>	<i>P. reticulata</i>	Média Geral
IMD	p	0.79	0.83	0.78	0.14	0.14	0.50	0.25	0.10
	r	-0.26	-0.07	0.09	0.12	0.12	-0.22	0.36	0.01
RFA	p	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	0.45	0.44	0.66	0.10	0.28	0.23
	r	-0.59	-0.73	-0.24	-0.38	-0.44	-0.50	-0.34	-0.55
Tmin	p	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	0.58	0.26	0.38
	r	0.58	0.60	0.58	0.72	0.69	0.18	0.35	0.57
Tmed	p	<b>0.05</b>	0.17	0.76	0.73	0.35	0.32	0.26	0.73
	r	-0.59	-0.42	-0.10	-0.46	-0.34	-0.32	-0.35	-0.46
Tmax	p	<b>0.01</b>	<b>0.04</b>	0.18	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	0.28	0.12	<b>0.01</b>
	r	-0.72	-0.61	-0.41	-0.65	-0.55	-0.34	-0.47	-0.62
Chuva	p	0.45	0.20	0.15	0.40	0.45	0.75	0.24	0.46
	r	0.38	0.40	0.44	0.36	0.38	0.10	0.37	0.39
TAS	p	0.63	0.17	0.52	0.35	0.29	0.73	0.23	0.42
	r	0.43	0.42	0.20	0.34	0.30	0.11	0.37	0.37
DPVmin	p	0.16	0.71	0.63	0.15	0.25	1.00	0.91	0.12
	r	0.15	0.12	-0.15	0.15	0.03	0.00	0.04	0.08
DPVmed	p	0.91	0.10	0.16	0.42	0.10	0.59	0.35	0.63
	r	-0.49	-0.50	-0.43	-0.37	-0.41	-0.18	-0.30	-0.43
DPVmax	p	0.41	0.36	0.87	0.17	0.13	0.91	0.54	0.21
	r	-0.37	-0.29	-0.05	-0.18	-0.10	-0.04	-0.19	-0.23
EVT	p	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	0.24	<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	0.08	0.14	<b>0.01</b>
	r	-0.80	-0.67	-0.37	-0.79	-0.69	-0.52	-0.46	-0.71



## Índices e Análise da competição

Para a análise da competição entre espécies foi preciso primeiramente testar qual dos 5 índices de competição (IC) melhor se ajustou para as espécies de estudo (33 árvores). Para isso, as árvores foram divididas em três grupos visando formar, em cada grupo, espécies de taxas significativamente similares de crescimento anual ( $p < 0.05$ ), sendo: grupo 1 (*E. bracteosa* + *G. augusta* com crescimento anual entre 0.6 - 1.18 mm/ano), grupo 2 (*E. grandiflora* + *E. coriacea* + *P. reticulata* com crescimento anual entre 1.26 - 1.89 mm/ano) e grupo 3 (*G. glabra* + *P. tomentosa* com crescimento anual entre 2.42 - 3.5 mm/ano). Buscou-se então o índice de melhor desempenho com o diâmetro, buscando-se identificar qual mais se aplica para a formação do incremento em diâmetro na área estudada. No entanto dentre os 5 índices dependentes da distância (IDD) selecionados para inferir a competição para as espécies estudadas, nenhum dos índices de competição apresentou bom desempenho. Todos os índices não foram correlacionados significativamente com o incremento do diâmetro ( $p > 0,05$ ), como observado na tabela 6.

**Tabela 6.** Coeficientes de correlação de Pearson entre a taxa de aumento do incremento e os índices de competição avaliados para cada grupo espécies de taxas significativamente similares de crescimento anual.

Coeficientes de correlação				
Índices		<i>Eschweilera bracteosa</i>	<i>Eschweilera grandiflora</i>	<i>Goupia glabra</i>
		+ <i>Gustavia augusta</i>	+ <i>Eschweilera coriacea</i> + <i>Pouteria reticulata</i>	+ <i>Pourouma tomentosa</i>
IC1	p	0.628	0.137	0.724
	r	0.131	0.478	0.186
IC2	p	0.327	0.268	0.837
	r	-0.262	-0.366	0.109
IC3	p	0.511	0.068	0.759
	r	-0.177	-0.568	0.162
IC4	p	0.131	0.361	0.987
	r	-0.394	-0.305	0.009
IC5	p	0.465	0.260	0.614
	r	-0.197	-0.372	0.264

Como nenhum índice foi considerado significativo com o melhor desempenho para modelar a relação entre o crescimento em função dos efeitos competitivos para cada espécie, não foi possível analisar o status competitivo dos indivíduos. Ou seja, não foi possível observar a relação crescimento-competição por meio do modelo dendrométrico ajustado por meio de análise de regressão, considerando os valores do erro padrão estimado em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ) e o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ).

### **Diâmetro do tronco e características funcionais**

Analisando a correlação as características funcionais com diâmetro do tronco (DAP) através do método de Pearson, foi observado a existência de uma alta correlação de forma distribuída entre o DAP e a altura das árvores ( $r^2= 0.8084$ ;  $p<0.0001$ ) (Figura 21). O comportamento observado mostra que à medida em que as árvores engrossam em diâmetro, linearmente aumenta-se também a altura na floresta natural, evidenciando que, pela distribuição dos dados, há maior aumento de altura (m) do que de diâmetro (cm) e as árvores tendem a se tornarem mais estáveis na faixa dos 30 metros de altura, mesmo para as árvores de menor diâmetro atual. A altura foi maior para a *E. grandiflora* em relação às demais espécies estudadas, em contrapartida a *G. glabra* foi a menor (Tabela 3).

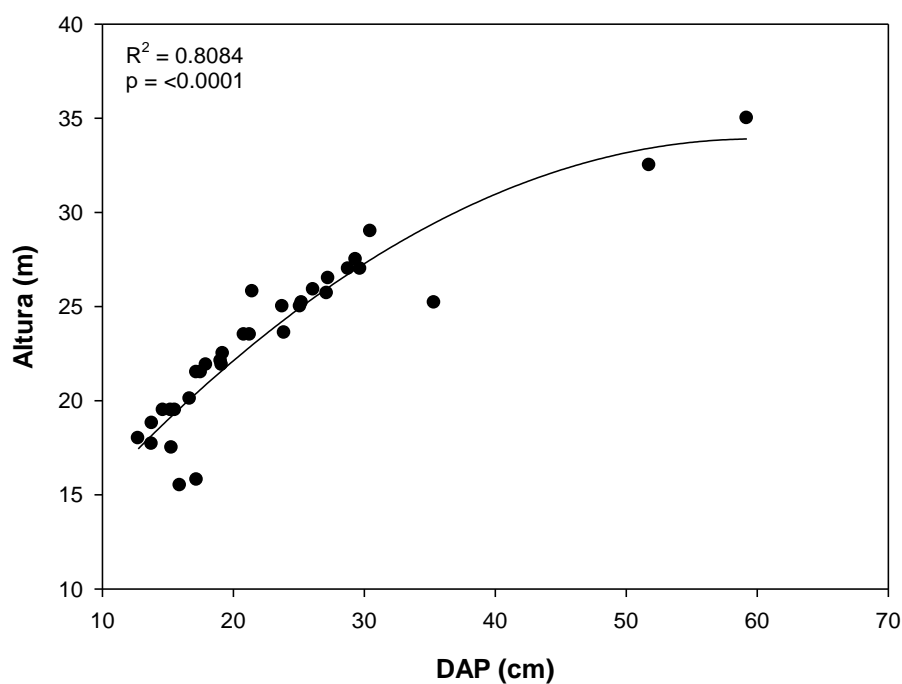


Figura 21 – Relação do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das árvores de estudo. Cada ponto representa uma árvore de um total de 33 árvores.

O diâmetro da copa ( $d_c$ ) apresentou uma estreita correlação positiva com o DAP ( $r = 0,42$ ;  $p = 0,0134$ ) (Figura 22), não seguindo um padrão linear ao longo do tempo. A relação DAP/diâmetro de copa mostra que à medida que as árvores crescem em diâmetro até em torno de 30 cm, sinuosamente aumenta-se o diâmetro de copa, porém sem estabilidade em determinado momento.

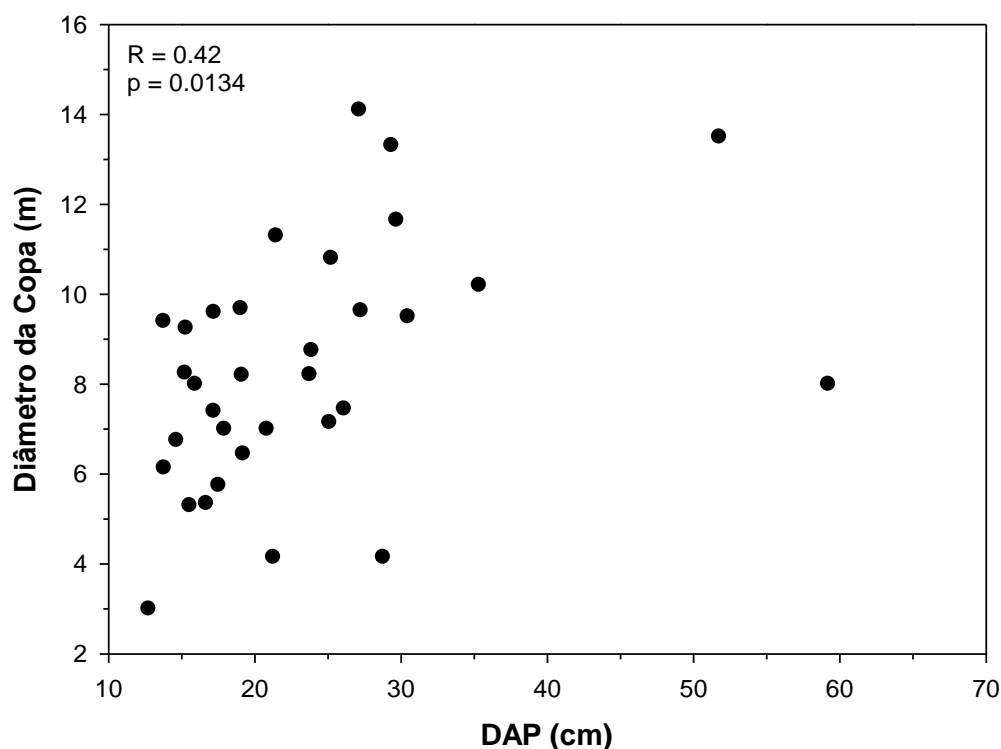


Figura 22 – Relação do diâmetro da copa (dc) e DAP. Cada ponto representa uma árvore de um total de 33 árvores.

## DISCUSSÃO

### Incremento em diâmetros das árvores

Os dados do incremento médio geral em diâmetro (IMD) coletados das 33 árvores deste estudo foi de  $0,15 \text{ mm mês}^{-1}$  ao longo dos quatro anos avaliados, corroboram dados de trabalhos anteriores nesta mesma área de estudo (Camargo e Marengo 2017, Antezana-Vera e Marengo 2021). Além disso, a média do incremento periódico anual em diâmetro (IPAD) de  $1,80 \text{ mm ano}^{-1}$ , considerado dentro do intervalo para a Amazônia brasileira, seguiu um padrão de crescimento parecido com os dados encontrados entre *Vieira et al.* (2004) com  $1,70 \text{ mm ano}^{-1}$  e Dias (2009) com  $1,99 \text{ mm ano}^{-1}$ , ambos usando a banda dendrométrica como metodologia de coleta. Apesar do grande porte de florestas tropicais, a Amazônia é caracterizada por possuir uma alta diversidade e frequência de espécies, de variados tamanhos e diâmetros. O baixo incremento em diâmetro da Amazônia Central pode estar diretamente relacionada às

características climáticas e posição social das árvores (Remeš *et al.* 2015). Impactos como a seca ou baixa precipitação contribuem para o desacelerado crescimento de árvores na região e prejudica o sequestro de carbono. Estudo mostra que, apesar da Amazônia se mostrar resiliente às mudanças do clima, mudanças no ecossistema por variáveis climáticas vem reduzindo significativamente o armazenamento de carbono no local, matando muitas árvores e impedindo o crescimento em diâmetro daquelas que sobreviveram (Feldpausch *et al.* 2016). Ademais, ao longo dos anos, o carbono estocado nas florestas dos trópicos através da fotossíntese tem sido baixo ou até mesmo considerado nulo, visto que é muitas vezes equivalente ao emitido para a atmosfera, principalmente pela seca e desmatamentos (Denman *et al.* 2007, Longo *et al.* 2020). As variações sazonais de água armazenada no tronco da madeira mostram a dinâmica da relação solo-planta-atmosfera, possibilitando indicar períodos de déficit hídrico. Na época de seca, quando a demanda evaporativa da atmosfera excede a capacidade de absorção e transporte das raízes ocorre uma redução da capacidade fotossintética, limitando a taxa de incremento em diâmetro de árvores (Dias e Marengo 2016). Ao longo do presente estudo, a menor taxa de crescimento nas árvores foi encontrada em 2018 com média de 0,12 mm mês<sup>-1</sup>, justamente o ano com a maior temperatura média (26 °C) e com os meses com as menores taxas de precipitação mensal (58,00 mm/mês), principalmente entre julho e setembro. Além disso, o baixo incremento também pode se relacionar com a competição de recurso, como nutrientes e luminosidade, principalmente árvores de sub-dossel, pelo efeito direto da restrição da capacidade fotossintética (Körner 2004).

Conforme mostram os resultados, as taxas de incremento mensal em diâmetro (IMD) variaram entre espécies, uma expectativa já esperada, visto que as árvores variam muito de espécie por espécie, não possuindo um crescimento constante entre indivíduos e durante todo o ciclo de vida, principalmente em locais com alta diversidade, tamanhos e forma das árvores (Chassot *et al.* 2018). As espécies que tiveram o maior IMD foram *Goupia glabra* com 0,29 mm mês<sup>-1</sup> e *Pourouma tomentosa* com 0,20 mm mês<sup>-1</sup>, enquanto o menor valor foi observado na *Gustavia augusta* com 0,05 mm mês<sup>-1</sup>. Os efeitos da riqueza genética entre espécies associado ao ambiente e condição climática alteram as características funcionais e padrão natural de crescimento individual entre a mesma família, afetando na biomassa arbórea em nível de povoamento (Bongers *et al.* 2020). *Goupia glabra* foi a espécie que mais apresentou variação do incremento em diâmetro do tronco ao longo do tempo, não mostrando um

padrão de crescimento/decréscimo constante, mas sempre com uma diminuição marcante do IMD nos meses de julho a setembro. Um estudo avaliando 30 espécies de terra-firme da região central da Amazônia também constatou esta espécie com uma alta variação, além de concordar os achados da *Gustavia augusta* com seu IMD relativamente baixo em quase todos os meses do ano (Camargo 2018).

### **Relação entre o incremento em diâmetros das árvores e os parâmetros micrometeorológicos**

A precipitação (chuva), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e o TAS (teor de umidade do solo) se mostraram as principais preditoras de crescimento em diâmetro das espécies estudadas na floresta de terra-firme da Amazônia Central. Esses dados concordam com a literatura, na qual a precipitação é tida como uma das principais percussoras do incremento em diâmetro na região (Vieira *et al.* 2004, Antezana-Vera e Marengo 2021). A disponibilidade de chuva é muitas vezes considerada como o principal impulsionador da dinâmica florestal, visto que a produtividade primária líquida anual geralmente se correlaciona proporcionalmente com a quantidade anual de precipitação (Tian *et al.* 1998).

Essa correlação positivamente entre incremento no diâmetro (IMD) e chuva ( $p=0.006$ ) no presente estudo indica que a precipitação é o principal fator limitante para o crescimento em diâmetro das árvores. Esse crescimento se apresentou marcado pela sazonalidade, com maior IMD ( $> 0,19$  mm/mês) na estação chuvosa ( $> 261,10$  mm/mês,) e menor ( $< 0,08$  mm/mês) na estação seca ( $< 141,95$  mm ao mês), retornando a crescer em outubro durante as primeiras chuvas, onde começam a se tornar mais concentradas. A maior disponibilidade água facilita o processo da fotossíntese para as árvores, produzindo assim mais fonte de energia para processos fisiológicos como o crescimento em diâmetro (Stirbet *et al.* 2020). No entanto, apesar da precipitação se mostrar a principal variável micrometeorológica neste estudo, vale ressaltar que, como observado, em 2021 foi o ano de maior precipitação, possivelmente pode ter sido influenciado pelo fenômeno climático La Niña que, por sua vez, ocasiona chuvas mais abundantes e intensas na Amazônia. Anos de mudanças, como influência de eventos como La Nina, podem enfraquecer a estatísticas, pois não temos um padrão de

comportamento para fazer comparativa com o já conhecido. No entanto, durante esse evento pode-se notar uma covariabilidade e possíveis anomalias significativas de precipitação que pode estar impressa no crescimento das árvores (Stahle *et al.* 2020).

Nossos resultados mostram que, o teor de água no solo (TAS) acompanhou a variação da chuva e nos meses de seca, a taxa de precipitação foi menor que a evapotranspiração, isso faz com que a umidade do solo (TAS) fosse gradualmente esgotada, aumentando as tensões na seiva do xilema que podem eventualmente desencadear o fechamento estomático e outras respostas fisiológicas, como a diminuição do IMD (Nepstad *et al.* 2002). Isso confirma os dados do experimento atual, no qual foram encontrados um aumento no DPV (aumento da secura do ar e fechamento estomático) nas árvores com menor incremento em diâmetro do tronco durante essa época de seca e altas temperaturas, ou seja, a maioria das plantas fecha parcialmente seus estômatos (pequenos poros na superfície da folha) para evitar o risco de falha hidráulica, reduzindo consequentemente a fotossíntese e a transpiração. Em contrapartida, comparando com os meses de estação chuvosa (dezembro, janeiro e fevereiro) foram encontrados baixos valores de DPV e maiores valores de IMD. Nesse sentido, observa-se que ao longo dos anos, os valores de incremento aparecem relacionado negativamente com o DPV. Contudo o efeito individual da temperatura relacionou-se positivamente com o IMD ( $p= 0.031$ ), não apresentando um efeito negativo sobre a vegetação local. Essa limitação da capacidade fotossintética durante os períodos mais secos e em mais alta temperaturas mostra que a floresta tropical pode ser vulnerável às mudanças climáticas, reduzindo a condutância do ecossistema (a troca de gases entre a vegetação e a atmosfera).

Segundo previsões futuras, a absorção fotossintética de carbono da Amazônia sofrerá intensamente com a elevação da temperatura, não só pela ação direta nas restrições bioquímicas como também uma resposta indireta através das mudanças associadas ao déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV), limitando a recuperação do crescimento da vegetação, ou seja, produtividade primária líquida (Konings e Gentine 2017, Machado-Silva *et al.* 2021). Se as previsões se concretizarem, os efeitos de temperatura sobre o DPV mostram uma sensibilidade negativa que afetará a produtividade bruta do ecossistema tropical, mas pouca resposta direta à temperatura (Smith *et al.* 2020).

Já o efeito individual da RFA foi um dos que mais se mostraram influentes no crescimento das espécies ( $p= 0.009$ ), no entanto relacionaram-se positivamente com o IMD. Contrariando o esperado, o efeito da RFA no crescimento das árvores não foi provavelmente um mero reflexo do DPV, visto que ambas as variáveis foram inversamente correlacionadas. Possivelmente, o aumento da radiação não foi suficiente para causar limitação da fotossíntese na maioria de nossas espécies, que são de sub-dossel. Esses resultados contrastam com pesquisas anteriores que mostram a RFA como uma variável negativa no crescimento das árvores (Bauman *et al.* 2022) ou mostram oscilações que não foram o suficiente para afetar o crescimento da árvore e consequentemente no ganho de carbono (Antezana-Vera e Marengo 2021). Os efeitos da radiação nos indivíduos arbóreos dependem dos estratos da floresta, no estrato superior, as árvores de dossel tendem a absorver maior quantidade de luz no exterior das folhas da copa, enquanto nas camadas inferiores do sub-dossel há uma limitação da luz, com baixos níveis radiantes. Esses níveis de maior RFA absorvida pelas árvores de dossel induzem um maior estresse fisiológico e transpiração, diferentemente das espécies de sub-dossel, onde os menores níveis provocam menos estresse, possibilitando-as desenvolverem estratégias para a captura da luz disponível (Mulkey *et al.* 1996, Smith *et al.* 2019). Os dados do presente estudo sugerem que as espécies estudadas de sub-dossel podem ter apresentado mecanismos capazes de limitar o decréscimo em diâmetro em função do efeito da radiação.

## **Fenofase**

As mudanças foliares dos indivíduos mostraram grandes perdas e renovações foliares das copas das árvores, principalmente “copa cheia com folhas velhas” e “copa cheia com folhas novas” aparecendo. As análises fenológicas quanto à mudança foliar foram observadas em 71,30 % das espécies entre os meses de julho e novembro, período de transição da estação seca para chuvosa da região. Estudo realizado por Alencar *et al.* (1979), em floresta de terra-firme, mostrou dados similares, onde foram observados mudanças foliares entre os meses de julho e dezembro. Segundo Aleixo (2019), a alternância de períodos seco e úmido é determinante para troca, crescimento e floração das folhas das espécies tropicais. A observação dos estágios fenológicos, como queda foliar, floração e frutificação, serve como indicador da adaptação que muda de



acordo com as variações das condições climáticas do ambiente (Cardoso 1991). Esses indicadores possibilitam avaliar como as alterações na atividade cambial influencia na formação do xilema e anéis de crescimento dos indivíduos, auxiliando a definir a dinâmica na comunidade (Jacoby 1989). No entanto, as análises estatísticas mostraram que a fenofase não foi significativa no incremento médio mensal das árvores estudadas.

Durante os quatro anos, além de apresentar desfolhamento e folhamento contínuo, a concentração da categoria de “copa com poucas folhas e somente velhas” e “copa sem folhas” quase não foi observada, mostrando uma alta longevidade foliar para a grande maioria das espécies estudadas. De acordo Lopes *et al.* (2016) é comum que, em algumas espécies arbóreas da Amazônia Central, as folhas não caem abruptamente e apresentem uma concentração de folhas novas durante a estação seca. Segundo Baas e Wheeler (2011), existem espécies no qual a longevidade foliar é determinada geneticamente, mostrando-se resistentes, independente das variações ano a ano. Já espécies como *Eschweilera bracteosa* e *Goupia glabra* foram as únicas com “copa com poucas folhas e somente velhas” e “copa sem folhas”. Estudo de Janssen *et al.* (2021) na floresta tropical mostrou que espécies expostas pela sazonalidade climática perdem suas folhas durante a estação seca, limitadas pelo consumo de água.

Este estudo observou que a temperatura influenciou na fenologia da maioria das espécies, mostrando também uma correlação negativa significativa com a evapotranspiração. Conforme observado a mudança foliar ocorreu no período de transição da estação seca para chuvosa da região. Durante o início da estação seca, a fenologia (perda e renovação foliar) se torna mais sensível, com as temperaturas se elevando e um mais rápido esgotamento da água por evapotranspiração faz que exacerbaram as perdas de grande parte das árvores, e conseqüente ocorra períodos de maiores trocas, crescimento e floração das folhas, tornando assim, a fenologia mais fortemente sincronizada (Reich 1995; Nunes *et al.* 2022).

Para algumas espécies, a fenologia foi influenciada pela radiação. A correlação positiva da temperatura mínima e da radiação é sinal que está chegando pouca radiação e não agredindo a planta severamente, mais evidentes no período de chuva, onde a fenologia se mostra com a copa de folhas mais novas.

Segundo Bradley *et al.* (2011), a maior parte da floresta de terra firme da Amazônia parece ter a radiação como condutora da fenologia, no entanto, a

sazonalidade da cobertura do dossel amazônico e a extensão em que as flutuações sazonais na radiação fotossinteticamente disponível fazem que as árvores tenham respostas de fenologia distinta do dossel, justamente por variações sazonais tanto na disponibilidade de água quanto na radiação solar (Jones *et al.* 2014). O que não é inesperado em vista a complexa diversidade de fatores envolvidos na dinâmica deste ecossistema.

### **Características funcionais, índices e análise de competição entre árvores**

De modo geral, os índices dependentes da distância avaliados se mostraram preditores de crescimento não significativos para as espécies estudadas de terra-firme da Amazônia, por isso foram descartados dos modelos de análise da competição do presente estudo. O trabalho mostrou baixa correlação entre os índices de competição de distância (IDD) avaliados e o IMD, o que não era esperado, visto que apesar da distribuição espacial das árvores não ser uma razão natural de que a concorrência pare de repente à certa distância e, conseqüentemente afete suas atividades fisiológicas, é considerado que a competição diminui à medida que a distância da árvore objetivo aumenta (Vettenranta 1999, da Cunha e Finger 2013). Segundo Daniels *et al.* (1986), os IDs não descrevem todos os complexos processos biológicos envolvidos na competição entre árvores individuais, no entanto fornecem medidas dos resultados destes processos, descrevendo o status competitivo de uma determinada árvore em relação às árvores competidoras (vizinhas). Tais índices baseados na distância têm sido úteis como variáveis nos modelos de predição do crescimento individual de árvores com o objetivo de predição de crescimento, que podem ou não levar em consideração a evolução da copa das árvores (Wimberly e Bare 1996).

Nos IDs avaliados, as árvores competidoras foram identificadas levando em consideração apenas sua altura, DAP e sua distância em relação a uma árvore objetivo, não levando em consideração a influência relativa da área de copa das árvores, o que pode justificar as fracas correlações com o incremento à altura do peito. Na Amazônia, a taxa do incremento em diâmetro dos indivíduos arbóreos é determinada pela densidade do povoamento de acordo com o espaço de crescimento de que a árvore dispõe, sendo o espaço de cada árvore limitado pelas árvores competidoras, levando a competição direta tanto pelo espaço aéreo (ao nível das copas) quanto pelo solo (raízes) (Hiley 1959), através da disponibilidade dos fatores produtivos como água, luz e nutrientes, e a

qualidade do sítio. Trabalho anterior na mesma porção do povoamento contemplado de terra firme do presente estudo mostra que a concentração do número de árvores ( $\geq 10$  cm de diâmetro) em um único hectare é elevado, já a zona da camada do estrato vertical das copas das árvores possui uma grande variação (Rankin-de-Mérona *et al.* 1992).

Essa distribuição espacial elevada por hectare e a fraca correlação do crescimento com todos os índices analisados sugere que todas as árvores de estudo estão sob efeitos similares de competição quando se considera a distância entre os fustes. Quando há uma maior quantidade de árvores por hectare, menor é o espaço médio do solo disponível para o crescimento de uma árvore individual em um povoamento, em contrapartida com um aumento do DAP das árvores, o tamanho médio das copas também aumenta e conseqüentemente, o espaço aéreo requerido para o crescimento aumenta (Assmann 1970). Isso sugere que a competição na área de estudo parece responder mais diretamente com o diâmetro da copa do que com a distância entre a árvore objeto e a competidora.

Se observarmos a relação DAP-diâmetro da copa e IMD-diâmetro da copa, os menores valores de DAP e diâmetro de copa foram encontrados em maior frequência para as espécies de IMD baixo, exceto *Goupia Glabra* que teve um DAP baixo e apresentou o maior incremento médio em diâmetro. A estreita correlação positiva do DAP com diâmetro da copa (dc) ( $r= 0,42$ ;  $p=0,0134$ ) apresentada neste estudo pode ter influenciado os níveis de competição através da sobreposição de copas entre indivíduos. Segundo Oheimb *et al.* (2011), em povoamentos superestocados, como na área de estudo, onde as interações entre as copas são excepcionalmente intensas o grau de competição depende das características das copas. A inclusão de dados da área da copa (diâmetro, tamanho e largura) diretamente nos índices dependentes da distância pode melhorar substancialmente o desempenho da predição da competição. Isto porque, duas árvores competidoras podem ter o mesmo DAP e estar à mesma distância de uma árvore alvo, porém podem apresentar diferentes áreas de copa, que por sua vez exercem influências diferentes na árvore alvo (O'Neal *et al.* 1994). Nesse sentido, os índices baseados unicamente em DAP e distância entre árvores, resultaria valores de concorrência idêntica, limitando predizer quais as árvores superam os indivíduos menos vigorosos, por meio de maior atividade fisiológica, como observado neste estudo. Por isso, mais estudos incluindo as variáveis espaciais entre a área de projeção da copa das

árvores amazônicas precisam ser desenvolvidos para a comparação entre os demais índices.

Com isso, os modelos de índices aplicados para considerar os efeitos competitivos em nossa área de estudo mostraram que DAP e distância entre os concorrentes não foram preditores de crescimento consistentemente significativos, assim como a altura. Segundo Scolforo (2005), apesar da razão altura-DAP ser um indicativo preponderante para caracterizar a estabilidade das árvores, usar índices que usam como variáveis apenas DAP e altura como indicadores podem não ser bons descritores da dinâmica competitiva, pois mesmo se comparando as árvores com maiores diferenças de diâmetro, muitos estudos se tratam em povoamento maduro, onde a altura já atingiu seu ponto máximo, e os maiores incrementos anuais em altura são observados quando os indivíduos estão na fase jovem. Isso demonstra a vantagem da não utilização do IC4, por exemplo, já que há necessidade de atributos das árvores como a altura que são caras e/ou trabalhosas para adquirir de forma precisa. Segundo Schneider (2008), o excesso da competição não tem efeito significativo sobre o crescimento longitudinal das árvores, pois na maioria das vezes o seu máximo crescimento é determinado principalmente pela qualidade do sítio. Logo, percebe-se que a alta correlação entre altura e DAP ( $r^2= 0.8084$ ;  $p<0.0001$ ) encontrado neste trabalho, é efeito individual de cada árvore sem relação direta com as árvores vizinhas (Figura 24).

O desenvolvimento dos efeitos através dos índices é dependente da distribuição espacial do povoamento, podendo apresentar diversos comportamento tornando a sua habilidade explicativa dependente destas variações (da Cunha and Finger 2013). Em florestas temperadas, com povoamentos puros e relativamente uniformes, os índices o IC2 e IC4 reproduziram com precisão os efeitos da competição (Contreras *et al.* 2011), todavia não se mostraram capazes de definir competição para o padrão característico de florestas tropicais inequiano com diferentes classes de idade misturadas no mesmo povoamento.

## CONCLUSÃO

Nossos resultados mostram que, o crescimento das árvores de terra firme na floresta tropical não é limitado por recursos espaciais (local) através da competição

interespecífica entre o tronco, mas principalmente por fatores temporais (clima) através das variáveis micrometeorológicas. Nossos dados revelam que a determinação do efeito individual das variáveis micrometeorológicas mostrou que variáveis são mais significativas que outras no crescimento das árvores na Amazônia central. Esses fatores não atuam apenas de forma direta no crescimento das árvores, mas por meio de interações indiretas, resultando em efeitos interativos mediados.

O crescimento em diâmetro mostra uma sensibilidade positiva a aumentos de precipitação e teor de água do solo e uma sensibilidade negativa sistemática a aumentos de DPV. A relação positiva entre o incremento do diâmetro e precipitação indica que a chuva tem um papel importante no crescimento de árvore do trópico úmido. O incremento se mostrou inversamente proporcional ao aumento do DPV, e o DPV é diretamente dependente da temperatura média ambiental. Se elevada a limitação estomática induzida por DPV através do aumento da temperatura futura, a eficiência do processo de fotossíntese da floresta tropical pode ter uma intolerância ao aquecimento futuro. Isso mostra que as respostas das variáveis climáticas podem não só aumentar a taxa de perda de incremento em diâmetro da floresta por meio da limitação estomática, mas também pode retardar a taxa de absorção dióxido de carbono e, portanto, desacelerar o crescimento de árvores.

Além disso, não há correlações significativas na relação entre o incremento em diâmetro e os índices de competição avaliados, que consideram apenas o DAP, altura e distância entre as árvores, logo são inviáveis para estabelecer a relação competição-crescimento de indivíduos no fragmento de floresta inequívoco de elevada densidade local. A inclusão de variáveis de obtenção mais complexas, como a área de copa, parece ser mais justificada para obtenção de um melhor resultado para descrever a competição e entender a significância ecológica da competição entre indivíduos amazônicos em relação ao crescimento. A compreensão desses processos ecológicos nas variações na dinâmica e estrutura das florestas tropicais contribui para determinar o potencial desse ecossistema para obtenção de estimativa e de projeções para o contexto das modelagens e para entender como eles se recuperam de distúrbios previstos em projeções futuras.

## **REFERÊNCIAS**

- Aleixo, I.F. 2019. Padrões fenológicos e mortalidade de árvores de terra firme na Amazônia Central. : 201.
- Alencar, J. da C.; Almeida, R.A. de; Fernandes, N.P. 1979. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. *Acta Amazonica* 9: 163–199.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; De Moraes Gonçalves, J.L.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711–728.
- Alvino, F. de O.; Silva, M.F.F. da; Rayol, B.P. 2005. Potencial de uso das espécies arbóreas de uma floresta secundária, na Zona Bragantina, Pará, Brasil. *Acta Amazonica* 35: 413–420.
- Antezana-Vera, S.A.; Marengo, R.A. 2021. Intra-annual tree growth responds to micrometeorological variability in the central amazon. *IForest* 14: 242–249.
- Aschehoug, E.T.; Brooker, R.; Atwater, D.Z.; Maron, J.L.; Callaway, R.M. 2016. The Mechanisms and Consequences of Interspecific Competition among Plants. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 47: 263–281.
- Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Studies. : 0–504.
- Baas, P.; Wheeler, E.A. 2011. Wood anatomy and climate change. *Climate Change, Ecology and Systematics*: 141–155.
- Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; et al. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10: 545–562.
- Bauman, D.; Fortunel, C.; Cernusak, L.A.; Bentley, L.P.; McMahon, S.M.; Rifai, S.W.; et al. 2022. Tropical tree growth sensitivity to climate is driven by species intrinsic growth rate and leaf traits. *Global Change Biology* 28: 1414–1432.
- Begon, M.; Harper, J.L.; Townsend, C.R. 1986. *Ecology: individuals, populations and communities*. Oxford: Blackwell Science, 945p.
- Bergamo, D.; Zerbini, O.; Pinho, P.; Moutinho, P. 2022. The Amazon bioeconomy: Beyond the use of forest products. *Ecological Economics* 199: 107448.

- Berry, J.; Bjorkman, O. 1980. Photosynthetic Response and Adaptation to Temperature in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31: 491–543.
- Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science* 320: 1444–1449.
- Bongers, F.J.; Schmid, B.; Durka, W.; Li, S.; Bruelheide, H.; Hahn, C.Z.; et al. 2020. Genetic richness affects trait variation but not community productivity in a tree diversity experiment. *New Phytologist* 227: 744–756.
- BRADLEY, A. V.; GERARD, F.F.; BARBIER, N.; WEEDON, G.P.; ANDERSON, L.O.; HUNTINGFORD, C.; et al. 2011. Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. *Global Change Biology* 17: 2245–2260.
- Buck, A.L. 1981. New Equations for Computing Vapor Pressure and Enhancement Factor. *Journal of Applied Meteorology* 20: 1527–1532.
- Camargo, M.A.B.; Marengo, R.A. 2017. Tree growth over three years in response to monthly rainfall in central Amazonia. *Dendrobiology* 78: 10–17.
- Camargo, M.Â.B. 2018. *Variação em diâmetro do tronco de 30 espécies de árvores florestais em função de variáveis ambientais em floresta de terra firme na Amazônia central*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 94p.
- Cardoso, N. da S. 1991. *Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (Tectona grandis L.) – Verbenaceae*. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo., 117p.
- Castro, R.; Soares, C.; Leite, H.; Souza, A.; Martins, F.; Nogueira, G.; et al. 2014. Competition indices in individual tree level in a Semideciduous Montana forest. *Silva Lusitana* 22: 43–66.
- Chassot, Tatiane ; Fleig, Frederico Dimas ; Finger, C.A.G.; L.; Jonas, S. 2011. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. 2. In: *Ciência Florestal*, Vol. 21, Santa Maria, p.303–313.
- Chave, J.; Muller-Landau, H.; Baker, T.; Easdale, T.A.; Steege, H.; Webb, C.O. 2006.

- Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Society of America* 16: 2356–2367.
- Condé, T.M.; Tonini, H.; Silva, F. Da; Barni, P.E.; Souza Celes, C.H.; Araujo, R.F. De; et al. 2016. Padrão espacial de espécies madeireiras da Amazônia pelo método de coordenadas cartesianas e espaciais. *Pesquisa Florestal Brasileira* 36: 115.
- Contreras, M.A.; Affleck, D.; Chung, W. 2011. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. *Forest Ecology and Management* 262: 1939–1949.
- Corrêa, M.P. 1984. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, .
- Costa, F.A.; Ciasca, B.S.; Castro, E.C.C.; Barreiros, R.M.M.; Folhes, R.T.; Bergamini, L.L.; et al. 2021. Bioeconomia da sociobiodiversidade no estado do Pará. : 264.
- da Cunha, T.A.; Finger, C.A.G. 2013. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia occidental. *Acta Amazonica* 43: 9–18.
- Daniels, R.F. 1976. Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth. *Forest Science* 22: 454–456.
- Daniels, R.F.; Burkhardt, H.E.; Clason, T.R. 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 1230–1237.
- Denman, K.L.; Brasser, G.; Chidthaisong, A.; Clais, P.; Cox, P.M.; Dickinson, R.E.; Hauglustaine, D.; Heize, C.; Holland, E.; Jacob, D.; Lohmann, U.; Ramachandran, S.; da Silva Dias, P.L.; Wofsy, S.C.; Zhang, X. 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. *Carbon* 21: 499–587.
- Dias, D.P. 2009. Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na Amazônia central. *Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais*. INPA: 277–281.
- Dias, D.P.; Marengo, R.A. 2016. Tree growth, wood and bark water content of 28 Amazonian tree species in response to variations in rainfall and wood density.



*IForest* 9: 445–451.

- Donagemma, G.K.; Campos, D.V.B. de; Calderano, S.B.; Teixeira, W.G.; Viana, J.H.M. 2011. Manual de Métodos de Análise de Solo. ISSN 1517-2627. In: *Embrapa*, 2nd ed. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, p.230.
- Duke, J.A.; Martinez, R.V. 1994. *Amazonian ethnobotanical dictionary*. CRC, 215p.
- EMBRAPA. 2006. A Embrapa nos Biomas Brasileiros. : 16.
- Fearnside, P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica* 36: 395–400.
- Fearnside, P.M. 2008. As Mudanças Climáticas Globais e a Floresta Amazônica. In: Buckeridge, M. (Ed.), *A Biologia e as Mudanças Climáticas Globais No Brasil*, Sao Paulo, p.131–150.
- Feldpausch, T.R.; Phillips, O.L.; Brienen, R.J.W.; Gloor, E.; Lloyd, J.; Lopez-Gonzalez, G.; et al. 2016. Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles* 30: 964–982.
- Gatti, L. V.; Basso, L.S.; Miller, J.B.; Gloor, M.; Gatti Domingues, L.; Cassol, H.L.G.; et al. 2021. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595: 388–393.
- de Godoy, J.R.L.; Marabesi, M.A.; Mortari, L.C. 2009. A Dinâmica da Floresta Neotropical e as Mudanças Climáticas Globais João Ruffin Leme de Godoy<sup>1</sup>, Mauro Alexandre Marabesi<sup>2</sup>, Leila Cristina Mortari<sup>2</sup>, Marcos Pereira Marinho Aida<sup>1</sup> e Marcos Silveira Buckeridge<sup>2</sup>, Seção de Fisiologia e Bioquímica de Plantas, I. *Naturalia, Rio Claro* 32: 53–66.
- Gurgel, E.S.; Gomes, J.I.; Groppo, M.; Souza, A.S. De; Margalho, L.; Carvalho, L.T. De. 2015. Conhecendo Espécie de Plantas da Amazônia: Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl. – Goupiaceae). *Embrapa Amazônia Oriental*.
- Hargreaves G. H.; Samani Z. A. 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1: 96–99.
- Hegyí, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stand simulation. In: *Growth Models for Tree and Stand Simulation*, Royal College of Forestry, p.74–

90.

- Higuchi, N.; Chambers, J.Q.; Silva, R.P. da; Miranda, É.V. de; Santos, J. dos; Iida, S.; et al. 2003. Uso de bandas metálicas e dendrômetros automáticos para a definição de padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil. In: Higuchi, N. (Ed.), *Projeto Jacaranda Fase II: Pesquisas Florestais Na Amazônia Central*, p.55–68.
- Hiley, W.E. 1959. *Conifers : South African methods of cultivation*. London : Faber and Faber, London, 123p.
- Jacoby, G.C. 1989. Overview of Tree-Ring Analysis in Tropical Regions. *IAWA Journal* 10: 99–108.
- Janssen, T.; Van Der Velde, Y.; Hofhansl, F.; Luysaert, S.; Naudts, K.; Driessen, B.; et al. 2021. Drought effects on leaf fall, leaf flushing and stem growth in the Amazon forest: Reconciling remote sensing data and field observations. *Biogeosciences* 18: 4445–4472.
- Jolliffe, I.T. 2002. *Principal component analysis*. 2 ed. ed. Springer: New York, 513p.
- Jones, M.O.; Kimball, J.S.; Nemani, R.R. 2014. Asynchronous Amazon forest canopy phenology indicates adaptation to both water and light availability. *Environmental Research Letters* 9.
- Konings, A.G.; Gentine, P. 2017. Global variations in ecosystem-scale isohydricity. *Global Change Biology* 23: 891–905.
- Körner, O. 2004. Evaluation of crop photosynthesis models for dynamic climate control. *Acta Horticulturae* 654: 295–302.
- Larcher, W. 2006. *Ecofisiologia vegetal*. In: RiMa, D. (Ed.) 3rd ed. São Carlos, 529p.
- Lecoecur, J.; Sinclair, T.R. 1996. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Science* 36: 331–335.
- Lopes, A.P.; Nelson, B.W.; Wu, J.; Graça, P.M.L. de A.; Tavares, J.V.; Prohaska, N.; et al. 2016. Leaf flush drives dry season green-up of the Central Amazon. *Remote Sensing of Environment* 182: 90–98.
- Lopez, A.; Hudson, J.B.; Towers, G.H.N. 2001. Antiviral and antimicrobial activities of

- Colombian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology* 77: 189–196.
- Machado-Silva, F.; Peres, L.F.; Gouveia, C.M.; Enrich-Prast, A.; Peixoto, R.B.; Pereira, J.M.C.; et al. 2021. Drought Resilience Debt Drives NPP Decline in the Amazon Forest. *Global Biogeochemical Cycles* 35.
- Machado, S. do A. 2009. *Dendrometria*. 2nd ed. UNICENTRO, Guarapuava, 316p.
- Marenco, R.A.; Antezana-Vera, S.A. 2021. Principal component regression analysis demonstrates the collinearity-free effect of sub estimated climatic variables on tree growth in the central amazon. *Revista de Biologia Tropical* 69: 482–493.
- Martin, G.L.; Ek, A.R. 1984. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *Forest Science* 30: 731–743.
- McDowell, N.; Allen, C.D.; Anderson-Teixeira, K.; Brando, P.; Brienen, R.; Chambers, J.; et al. 2018. Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests. *New Phytologist* 219: 851–869.
- Mendes, K.R.; Marenco, R.A. 2017. Stomatal opening in response to the simultaneous increase in vapor pressure deficit and temperature over a 24-h period under constant light in a tropical rainforest of the central Amazon. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 29: 187–194.
- Mevik, B.-H.; Wehrens, R. 2015. Introduction to the pls Package. *Help section of the “pls” package of RStudio software*: 1–23.
- Monteiro, M.H.D.A.; Neves, L. de J.; Andreato, R.H.P. 2007. *Taxonomia e anatomia das especies de Pouteria Aublet (Sapotaceae) do estado do Rio de Janeiro, Brasil*. In: Instituto Anchietao de Pesquisas (Ed.) Instituto Anchietao de Pesquisas, São Leopoldo, 7–118p.
- Montgomery, D.C.; Peck, E.A.; Vining, G.G. 2012. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Hoboken, 672p.
- Moore, J.A.; Budelsky, C.A.; Schlesinger, R.C. 1973. A New Index Representing Individual Tree Competitive Status. *Canadian Journal of Forest Research* 3: 495–500.

- Moravie, M.A.; Durand, M.; Houllier, F. 1999. Ecological meaning and predictive ability of social status, vigour and competition indices in a tropical rain forest (India). *Forest Ecology and Management* 117: 221–240.
- Mulkey, S.S.; Kitajima, K.; Wright, S.J. 1996. Plant physiological ecology of tropical forest canopies. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 436–437.
- Muller-Landau, H.C.; Wright, S.J.; Calderón, O.; Condit, R.; Hubbell, S.P. 2008. Interspecific variation in primary seed dispersal in a tropical forest. *Journal of Ecology* 96: 653–667.
- Nepstad, D.C. 2002. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. *Journal of Geophysical Research* 107: 1–18.
- Nogueira, E.M.; Fearnside, P.M.; Nelson, B.W. 2008. Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 256: 990–996.
- Nunes, M.H.; Luís, J.; Camargo, C.; Vincent, G.; Calders, K.; Oliveira, R.S.; et al. 2022. Forest fragmentation impacts the seasonality of Amazonian evergreen canopies. : 1–10.
- O’Neal, D.D.; Houston, A.E.; Buckner, E.R.; Meadows, J.S. 1994. An index of competition based on relative crown position and size. *Eighth Biennial Southern Silvicultural Research Conference* Houston, A: 172–175.
- von Oheimb, G.; Lang, A.C.; Bruelheide, H.; Forrester, D.I.; Wäsche, I.; Yu, M.; et al. 2011. Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighbourhood competition. *Forest Ecology and Management* 261: 499–507.
- Oliveira, A.N. de; Amaral, I.L. do. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica* 34: 21–34.
- Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Laurance, W.F.; Núñez, P. V.; Vásquez, R.M.; et al. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science* 282: 439–442.
- Prance, G.T.; Mori, S.A. 1979. *Flora Neotropica Lecythydaceae Part I*. Vol. 31. 211–211p.

- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. *Medição florestal*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), San Jose, Costa Rica, 586p.
- Pukkala, T.; Kolström, T. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica* 21.
- Rankin-de-Mérona, J.M.; Prance, G.T.; Hutchings, R.W.; Silva, M.F. da; Rodrigues, W.A.; Uehling, M.E. 1992. Preliminary Results of a Large-Scale Tree Inventory of Upland Rain Forest in the Central Amazon. *Acta Amazonica* 22: 493–534.
- Reich, P.B. 1995. Phenology of tropical forests: patterns, causes, and consequences. *Canadian Journal of Botany* 73: 164–174.
- Reis, L.P.; Silva, J.N.M.; Dos Reis, P.C.M.; Carvalho, J.O.P. de; Queiroz, W.T. De; Ruschel, A.R. 2013. Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de Sapotaceae no leste da Amazônia. *FLORESTA* 43: 395.
- dos Reis, M.; Graça, P.M.L. de A.; Yanai, A.M.; Ramos, C.J.P.; Fearnside, P.M. 2021. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. *Journal of Environmental Management* 288: 112310.
- Remeš, J.; Bílek, L.; Novák, J.; Vacek, Z.; Vacek, S.; Putalová, T.; et al. 2015. Diameter increment of beech in relation to social position of trees, climate characteristics and thinning intensity. *Journal of Forest Science* 61: 456–464.
- Ribeiro, A.S.S.; Palha, M.D.D.C.; Tourinho, M.M.; Whiteman, C.W.; Da Silva, A.D.S.L. 2007. Utilização dos recursos naturais por comunidades humanas do Parque Ecoturístico do Guamá, Belém, Pará. *Acta Amazonica* 37: 236–240.
- Ribeiro, J.E.L. da S. 2000. *Flora da Reserva Ducke*. Vol. 87.433p.
- Da Rocha, H.R.; Goulden, M.L.; Miller, S.D.; Menton, M.C.; Pinto, L.D.V.O.; De Freitas, H.C.; et al. 2004. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological Applications* 14: 22–32.
- Rouvinen, S.; Kuuluvainen, T. 1997. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature scots pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 890–902.

- Rüger, N.; Wirth, C.; Wright, S.J.; Condit, R. 2012. Functional traits explain light and size response of growth rates in tropical tree species. *Ecology* 93: 2626–2636.
- Schneider, P.R. 2008. *Manejo Florestal: Planejamento da Produção Florestal*. Santa Maria, 501p.
- Schons, C.T.; Filho, A.F.; Santos, T.L.; Nascimento, R.G.M. 2021. Competition indices at the individual tree level in a mixed ombrophylous forest. *Scientia Forestalis/Forest Sciences* 48: 1–14.
- Scolforo, J.R.S. 2005. *Biometria Florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca*. Lavras: UFLA/FAEPE, 352p.
- Shanley, P.; Rosa, N.A. 2004. Eroding knowledge: An ethnobotanical inventory in eastern Amazonia's logging frontier. *Economic Botany* 58: 135–160.
- Smith, M.N.; Stark, S.C.; Taylor, T.C.; Ferreira, M.L.; de Oliveira, E.; Restrepo-Coupe, N.; et al. 2019. Seasonal and drought-related changes in leaf area profiles depend on height and light environment in an Amazon forest. *New Phytologist* 222: 1284–1297.
- Smith, M.N.; Taylor, T.C.; van Haren, J.; Rosolem, R.; Restrepo-Coupe, N.; Adams, J.; et al. 2020. Empirical evidence for resilience of tropical forest photosynthesis in a warmer world. *Nature Plants* 6: 1225–1230.
- Souza, A.; Rocha, A.; Pinheiro, M.; Andrade, C.; Galotta, A.L.; Santos, M. 2001. Constituintes Químicos de *Gustavia augusta*. *Química Nova* 24: 439–442.
- Stahle, D.W.; Torbenson, M.C.A.; Howard, I.M.; Granato-Souza, D.; Barbosa, A.C.; Feng, S.; et al. 2020. Pan American interactions of Amazon precipitation, streamflow, and tree growth extremes. *Environmental Research Letters* 15.
- Stirbet, A.; Lazár, D.; Guo, Y.; Govindjee, G. 2020. Photosynthesis: Basics, history and modelling. *Annals of Botany* 126: 511–537.
- Tenzin, J.; Tenzin, K.; Hasenauer, H. 2017. Individual tree basal area increment models for broadleaved forests in Bhutan. *Forestry* 90: 367–380.
- Tian, H.; Melillo, J.M.; Kicklighter, D.W.; David McGuire, A.; Helfrich, J.V.K.;

- Moore, B.; et al. 1998. Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. *Nature* 396: 664–667.
- Tribuzy, E.S. 2005. Variações da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> na Amazônia Central. *Tese de doutorado*: 102.
- Turton, S.M. 2005. Tropical Forests and Global Atmospheric Change. *Austral Ecology* 30: 708–709.
- Vanclay, J.K.; Lamb, D.; Erskine, P.D.; Cameron, D.M. 2013. Spatially explicit competition in a mixed planting of *Araucaria cunninghamii* and *Flindersia brayleyana*. *Annals of Forest Science* 70: 611–619.
- Vatraz, S.; Silva, J.N.M.; Alder, D. 2018. Competição versus crescimento de árvores em floresta ombrófila densa no estado do Amapá - Brasil. *Ciência Florestal* 28: 1118.
- Vettenranta, J. 1999. Distance-dependent models for predicting the development of mixed coniferous forests in Finland. *Silva Fennica* 33: 51–72.
- Victor Hugo Pereira Moutinho; Mariana de Oliveira Gonçalves Nogueira; José Tarcísio Lima; Osmar José Romeiro de Águiar. 2010. Caracterização Física Da Madeira De Matá-Matá Branco. .
- Vieira, S.; De Camargo, P.B.; Selhorst, D.; Da Silva, R.; Hutyra, L.; Chambers, J.Q.; et al. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia* 140: 468–479.
- Wagner, F.; Rossi, V.; Aubry-Kientz, M.; Bonal, D.; Dalitz, H.; Gliniars, R.; et al. 2014. Pan-tropical analysis of climate effects on seasonal tree growth. *PLoS ONE* 9: 20–22.
- Weiskittel, A.R.; Hann, D.W.; Kershaw, J.A.; Vanclay, J.K. 2011. *Forest Growth and Yield Modeling*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, .
- Willerding, A.L.; Da Silva, L.R.; Da Silva, R.P.; De Assis, G.M.O.; De Paula, E.V.C.M. 2020. Estratégias para o desenvolvimento da bioeconomia no estado do Amazonas. *Estudos Avancados* 34: 143–165.
- Wimberly, M.C.; Bare, B.B. 1996. Distance-dependent and distance-independent models of douglas-fir and western hemlock basal area growth following

silvicultural treatment. *Forest Ecology and Management* 89: 1–11.

Yáñez, P. 1999. ETNOBOTÁNICOS DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Pourouma* (“UVA DE MONTE”),. *Revista Forestal Venezolana* 43: 103–109.

Zhao, D.; Borders, B.; Wilson, M. 2004. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. *Forest Ecology and Management* 199: 307–322.

Zhao, J.; Hartmann, H.; Trumbore, S.; Ziegler, W.; Zhang, Y. 2013. High temperature causes negative whole-plant carbon balance under mild drought. *New Phytologist* 200: 330–339.

## APÊNDICE

Tabela 7. Coeficientes de correlação de Pearson das 10 variáveis micrometeorológicas durante os 48 meses de estudo.

Método de Pearson	RFA	Tmin	Tmed	Tmax	Chuva	TAS	DPVmed	DPVmin	DPVmax	EVT
RFA	1	0.421	0.561	-0.083	-0.257	-0.347	0.333	0.332	-0.209	-0.053
Tmin	0.421	1	0.628	-0.635	0.186	0.028	0.344	0.592	-0.560	-0.706
Tmed	0.561	0.628	1	0.129	-0.314	-0.506	0.583	0.416	0.042	-0.003
Tmax	-0.083	-0.635	0.129	1	-0.476	-0.396	0.138	-0.307	0.848	0.938
Chuva	-0.257	0.186	-0.314	-0.476	1	0.830	-0.269	-0.020	-0.342	-0.359
TAS	-0.347	0.028	-0.506	-0.396	0.830	1	-0.283	0.001	-0.269	-0.260
DPVmed	0.333	0.344	0.583	0.138	-0.269	-0.283	1	0.822	0.323	0.007
DPVmin	0.332	0.592	0.416	-0.307	-0.020	0.001	0.822	1	-0.144	-0.384
DPVmax	-0.209	-0.560	0.042	0.848	-0.342	0.269	0.323	-0.144	1	0.751
EVT	-0.053	-0.706	-0.003	0.938	-0.359	-0.260	0.007	-0.384	0.751	1



Tabela 8. Média e desvio padrão ( $\pm$ ) do incremento médio mensal durante 48 meses (2018-2021) das 7 espécies estudadas neste estudo

Ano	Meses	Média Geral	<i>E. bracteosa</i>	<i>E. coriacea</i>	<i>E. grandiflora</i>	<i>G. glabra</i>	<i>G. augusta</i>	<i>P. tomentosa</i>	<i>P. reticulata</i>
2018	Jan	0.12 $\pm$ 0.06	0.13 $\pm$ 0.11	0.15 $\pm$ 0.07	0.14 $\pm$ 0.16	0.15 $\pm$ 0.11	0.02 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.12	0.11 $\pm$ 0.05
2018	Fev	0.11 $\pm$ 0.07	0.12 $\pm$ 0.10	0.06 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.12	0.16 $\pm$ 0.15	0.01 $\pm$ 0.00	0.11 $\pm$ 0.12	0.10 $\pm$ 0.09
2018	Mar	0.10 $\pm$ 0.07	0.12 $\pm$ 0.14	0.05 $\pm$ 0.04	0.10 $\pm$ 0.15	0.15 $\pm$ 0.08	0.01 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.06	0.16 $\pm$ 0.14
2018	Abr	0.14 $\pm$ 0.10	0.17 $\pm$ 0.20	0.07 $\pm$ 0.06	0.15 $\pm$ 0.23	0.22 $\pm$ 0.12	0.00 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.08	0.25 $\pm$ 0.21
2018	Mai	0.11 $\pm$ 0.06	0.08 $\pm$ 0.06	0.07 $\pm$ 0.06	0.13 $\pm$ 0.14	0.12 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.06	0.22 $\pm$ 0.32	0.11 $\pm$ 0.08
2018	Jun	0.09 $\pm$ 0.06	0.05 $\pm$ 0.05	0.02 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.07	0.12 $\pm$ 0.11	0.03 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.24	0.13 $\pm$ 0.01
2018	Jul	0.07 $\pm$ 0.06	0.03 $\pm$ 0.04	0.01 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.06	0.07 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.01	0.19 $\pm$ 0.35	0.08 $\pm$ 0.07
2018	Ago	0.17 $\pm$ 0.24	0.15 $\pm$ 0.42	0.03 $\pm$ 0.08	0.15 $\pm$ 0.29	0.08 $\pm$ 0.05	0.01 $\pm$ 0.03	0.26 $\pm$ 0.31	0.04 $\pm$ 0.10
2018	Set	0.10 $\pm$ 0.11	0.06 $\pm$ 0.06	-0.01 $\pm$ 0.13	0.07 $\pm$ 0.10	0.14 $\pm$ 0.04	0.03 $\pm$ 0.05	0.29 $\pm$ 0.31	0.04 $\pm$ 0.01
2018	Out	0.23 $\pm$ 0.24	0.17 $\pm$ 0.27	0.08 $\pm$ 0.13	-0.01 $\pm$ 0.09	0.26 $\pm$ 0.03	-0.06 $\pm$ 0.03	0.37 $\pm$ 0.53	0.08 $\pm$ 0.05
2019	Nov	0.13 $\pm$ 0.17	0.07 $\pm$ 0.09	0.02 $\pm$ 0.17	0.17 $\pm$ 0.17	0.36 $\pm$ 0.05	-0.08 $\pm$ 0.06	0.20 $\pm$ 0.14	0.13 $\pm$ 0.09
2019	Dez	0.09 $\pm$ 0.18	0.01 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.02	0.50 $\pm$ 0.04	0.00 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.09	0.19 $\pm$ 0.09
2019	Jan	0.21 $\pm$ 0.19	0.08 $\pm$ 0.20	0.09 $\pm$ 0.08	0.05 $\pm$ 0.13	0.58 $\pm$ 0.08	0.05 $\pm$ 0.02	0.18 $\pm$ 0.47	0.25 $\pm$ 0.09
2019	Fev	0.16 $\pm$ 0.20	0.06 $\pm$ 0.07	-0.04 $\pm$ 0.09	0.06 $\pm$ 0.06	0.53 $\pm$ 0.18	0.01 $\pm$ 0.04	0.19 $\pm$ 0.13	0.30 $\pm$ 0.18
2019	Mar	0.13 $\pm$ 0.25	-0.05 $\pm$ 0.10	-0.01 $\pm$ 0.15	-0.04 $\pm$ 0.10	0.56 $\pm$ 0.16	-0.02 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.04	0.27 $\pm$ 0.04
2019	Abr	0.24 $\pm$ 0.31	0.10 $\pm$ 0.09	0.08 $\pm$ 0.12	0.08 $\pm$ 0.13	0.49 $\pm$ 0.14	-0.02 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.28	0.30 $\pm$ 0.06
2019	Mai	0.08 $\pm$ 0.17	-0.02 $\pm$ 0.09	-0.12 $\pm$ 0.06	0.06 $\pm$ 0.15	0.35 $\pm$ 0.19	-0.04 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.09	0.34 $\pm$ 0.16
2019	Jun	0.08 $\pm$ 0.08	0.02 $\pm$ 0.12	-0.08 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.03	0.11 $\pm$ 0.11	0.04 $\pm$ 0.08	0.15 $\pm$ 0.29	0.19 $\pm$ 0.12
2019	Jul	0.01 $\pm$ 0.09	0.06 $\pm$ 0.14	-0.01 $\pm$ 0.17	0.01 $\pm$ 0.14	0.16 $\pm$ 0.11	-0.01 $\pm$ 0.10	0.06 $\pm$ 0.25	0.14 $\pm$ 0.02
2019	Ago	0.13 $\pm$ 0.13	0.02 $\pm$ 0.07	0.13 $\pm$ 0.19	0.27 $\pm$ 0.19	0.21 $\pm$ 0.16	-0.07 $\pm$ 0.04	0.19 $\pm$ 0.33	0.10 $\pm$ 0.20
2019	Set	0.25 $\pm$ 0.17	0.08 $\pm$ 0.20	0.12 $\pm$ 0.25	0.44 $\pm$ 0.34	0.26 $\pm$ 0.20	0.01 $\pm$ 0.09	0.45 $\pm$ 0.56	0.40 $\pm$ 0.16
2019	Out	0.27 $\pm$ 0.17	0.14 $\pm$ 0.29	0.24 $\pm$ 0.27	0.57 $\pm$ 0.50	0.31 $\pm$ 0.14	0.15 $\pm$ 0.06	0.36 $\pm$ 0.29	0.16 $\pm$ 0.15
2020	Nov	0.17 $\pm$ 0.09	0.11 $\pm$ 0.25	0.31 $\pm$ 0.18	0.39 $\pm$ 0.43	0.41 $\pm$ 0.22	0.05 $\pm$ 0.08	0.23 $\pm$ 0.26	0.06 $\pm$ 0.01
2020	Dez	0.33 $\pm$ 0.24	0.22 $\pm$ 0.38	0.41 $\pm$ 0.10	0.22 $\pm$ 0.40	0.69 $\pm$ 0.30	0.17 $\pm$ 0.11	0.48 $\pm$ 0.56	0.09 $\pm$ 0.02

2020	Jan	$0.24 \pm 0.32$	$0.12 \pm 0.19$	$0.11 \pm 0.17$	$0.39 \pm 0.50$	$0.80 \pm 0.17$	$0.01 \pm 0.05$	$0.26 \pm 0.36$	$-0.09 \pm 0.06$
2020	Fev	$0.32 \pm 0.29$	$0.25 \pm 0.46$	$0.32 \pm 0.22$	$0.40 \pm 0.39$	$0.74 \pm 0.23$	$0.17 \pm 0.05$	$0.27 \pm 0.31$	$-0.09 \pm 0.19$
2020	Mar	$0.33 \pm 0.19$	$0.24 \pm 0.21$	$0.18 \pm 0.30$	$0.29 \pm 0.41$	$0.48 \pm 0.37$	$0.13 \pm 0.06$	$0.26 \pm 0.31$	$-0.05 \pm 0.07$
2020	Abr	$0.17 \pm 0.08$	$0.11 \pm 0.24$	$0.13 \pm 0.27$	$0.27 \pm 0.15$	$0.44 \pm 0.30$	$0.10 \pm 0.08$	$0.21 \pm 0.39$	$0.06 \pm 0.10$
2020	Mai	$0.05 \pm 0.13$	$0.14 \pm 0.17$	$0.08 \pm 0.10$	$0.16 \pm 0.14$	$0.23 \pm 0.13$	$0.01 \pm 0.02$	$0.22 \pm 0.38$	$0.05 \pm 0.15$
2020	Jun	$0.06 \pm 0.09$	$-0.01 \pm 0.18$	$0.09 \pm 0.08$	$0.18 \pm 0.13$	$0.06 \pm 0.04$	$-0.03 \pm 0.03$	$0.24 \pm 0.36$	$0.10 \pm 0.19$
2020	Jul	$0.09 \pm 0.08$	$0.10 \pm 0.20$	$0.03 \pm 0.11$	$0.04 \pm 0.20$	$0.04 \pm 0.02$	$0.03 \pm 0.05$	$0.23 \pm 0.20$	$0.12 \pm 0.20$
2020	Ago	$0.02 \pm 0.08$	$-0.03 \pm 0.09$	$-0.04 \pm 0.09$	$0.15 \pm 0.15$	$0.10 \pm 0.04$	$0.00 \pm 0.07$	$0.12 \pm 0.14$	$-0.07 \pm 0.17$
2020	Set	$0.05 \pm 0.06$	$0.05 \pm 0.12$	$0.08 \pm 0.13$	$0.07 \pm 0.22$	$0.16 \pm 0.09$	$0.00 \pm 0.07$	$-0.01 \pm 0.21$	$0.03 \pm 0.13$
2020	Out	$0.17 \pm 0.05$	$0.20 \pm 0.20$	$0.13 \pm 0.12$	$0.21 \pm 0.16$	$0.22 \pm 0.06$	$0.12 \pm 0.07$	$0.21 \pm 0.04$	$0.12 \pm 0.08$
2020	Nov	$0.27 \pm 0.19$	$0.15 \pm 0.30$	$0.22 \pm 0.12$	$0.25 \pm 0.16$	$0.48 \pm 0.06$	$0.20 \pm 0.13$	$0.32 \pm 0.43$	$0.00 \pm 0.05$
2020	Dez	$0.28 \pm 0.17$	$0.30 \pm 0.30$	$0.13 \pm 0.20$	$0.29 \pm 0.18$	$0.54 \pm 0.11$	$0.23 \pm 0.14$	$0.26 \pm 0.27$	$0.07 \pm 0.15$
2021	Jan	$0.23 \pm 0.20$	$0.08 \pm 0.24$	$-0.01 \pm 0.02$	$-0.01 \pm 0.04$	$0.43 \pm 0.01$	$0.26 \pm 0.17$	$0.31 \pm 0.32$	$0.40 \pm 0.41$
2021	Fev	$0.21 \pm 0.19$	$0.08 \pm 0.12$	$0.03 \pm 0.07$	$0.11 \pm 0.21$	$0.34 \pm 0.04$	$0.21 \pm 0.18$	$0.08 \pm 0.14$	$0.26 \pm 0.21$
2021	Mar	$0.14 \pm 0.13$	$0.05 \pm 0.14$	$0.04 \pm 0.10$	$0.15 \pm 0.11$	$0.27 \pm 0.05$	$0.00 \pm 0.10$	$0.24 \pm 0.35$	$0.11 \pm 0.14$
2021	Abr	$0.06 \pm 0.12$	$-0.01 \pm 0.19$	$0.00 \pm 0.03$	$-0.05 \pm 0.11$	$0.17 \pm 0.19$	$-0.01 \pm 0.06$	$0.11 \pm 0.31$	$0.28 \pm 0.23$
2021	Mai	$0.08 \pm 0.06$	$0.01 \pm 0.09$	$0.03 \pm 0.08$	$0.09 \pm 0.11$	$0.08 \pm 0.08$	$0.14 \pm 0.05$	$0.19 \pm 0.29$	$0.10 \pm 0.16$
2021	Jun	$0.08 \pm 0.10$	$0.07 \pm 0.12$	$0.02 \pm 0.08$	$-0.02 \pm 0.17$	$0.23 \pm 0.23$	$-0.04 \pm 0.03$	$0.20 \pm 0.25$	$0.08 \pm 0.22$
2021	Jul	$0.09 \pm 0.11$	$-0.01 \pm 0.09$	$0.00 \pm 0.08$	$0.10 \pm 0.05$	$0.18 \pm 0.10$	$-0.04 \pm 0.13$	$0.21 \pm 0.26$	$0.20 \pm 0.05$
2021	Ago	$0.02 \pm 0.09$	$0.09 \pm 0.13$	$-0.04 \pm 0.10$	$0.06 \pm 0.14$	$0.02 \pm 0.15$	$-0.06 \pm 0.07$	$0.12 \pm 0.32$	$0.05 \pm 0.27$
2021	Set	$0.13 \pm 0.11$	$0.13 \pm 0.22$	$0.00 \pm 0.03$	$0.27 \pm 0.24$	$0.19 \pm 0.16$	$0.01 \pm 0.05$	$0.25 \pm 0.23$	$0.13 \pm 0.25$
2021	Out	$0.27 \pm 0.16$	$0.29 \pm 0.55$	$0.21 \pm 0.15$	$0.19 \pm 0.22$	$0.32 \pm 0.22$	$-0.01 \pm 0.02$	$0.25 \pm 0.32$	$0.14 \pm 0.26$
2021	Nov	$0.17 \pm 0.06$	$0.19 \pm 0.32$	$0.12 \pm 0.17$	$0.11 \pm 0.15$	$0.23 \pm 0.15$	$0.06 \pm 0.10$	$0.21 \pm 0.26$	$0.19 \pm 0.29$
2021	Dez	$0.12 \pm 0.07$	$0.16 \pm 0.22$	$0.20 \pm 0.15$	$0.06 \pm 0.10$	$0.14 \pm 0.10$	$0.08 \pm 0.10$	$0.25 \pm 0.22$	$0.04 \pm 0.13$

---

Tabela 9. Análise de variância repetida (ANOVA) observando o incremento mensal em diâmetro do tronco de 33 árvores das 7 espécies estudadas durante os anos de 2018 a 2021 (48 meses). Cada espécie com no mínimo 3 e no máximo 13 repetições. Os números significativos estão em negrito com ( $p \leq 0.05$ ).

	<b>Grau de liberdade</b>	<b>Quadrado Médio</b>	<b>Valor (F)</b>	<b>Valor (p)</b>
Espécies (E)	6	0.144870	2.27392	0.068
Erro	26	0.063710		
<b>Anos (A)</b>	3	0.032156	4.32928	<b>0.007</b>
(A) × (E)	18	0.018938	2.54975	<b>0.002</b>
Erro	78	0.007428		
<b>Meses (M)</b>	11	0.030508	9.33256	<b>&lt; 0,001</b>
(M) × (E)	66	0.005168	1.58078	<b>0.006</b>
Erro	286	0.003269		
(A) × (M)	33	0.007794	2.91658	<b>&lt; 0,001</b>
(A) × (M) × (E)	198	0.004159	1.55614	<b>&lt; 0,001</b>
Erro	858	0.002672		